

## Феномен газовых шлейфов острова Беннетта

© Ю. П. Масуренков<sup>1</sup>, А. Л. Собисевич<sup>1</sup>, В. В. Петрова<sup>2</sup>,  
Ю. Б. Слезин<sup>3</sup>, Р. А. Шувалов<sup>3</sup>, 2013

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН,  
Москва, Россия

<sup>2</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, Россия

Поступила 24 сентября 2012 г.

Представлено членом редколлегии В.И. Старостенко

Виверження потужних газових шлейфів біля о-ва Беннетта (Арктика, Росія, архіпелаг Де Лонга), які спостерігали протягом 1973—1986 рр., вивчено на основі комплексних експедиційних і лабораторних досліджень. Установлено місце ймовірних джерел, представлених відводними конусами згодом базальтових вивержень, появу яких датовано інтервалом від 1974 до 1983 р. Залізоманганові конкреції, які піднято поблизу конусів, є гідротермальними утвореннями. Ритмічність газових вивержень зів'язана із змінами швидкості обертання Землі й подібна до ритмічності вулканічного процесу, а потужність вивержень є адекватною середній потужності утворення базальтових конусів. Підтверджено раніше висловлену вулканічну гіпотезу походження беннетських газових шлейфів.

Eruptions of strong gas plumes near the Bennett Island (Arctic, Russia, De Long Archipelago) observed during 1973—1986 were studied on the base of complex field and laboratory works. The site of probable sources has been found as presented by submarine cones of presumably basaltic outflows dated as a period from 1974 to 1983. Iron-manganese nodules picked up near the cones are hydrothermal products. Rhythmic character of gas explosions is comparable with the change of the Earth rotation velocity and similar to rhythm of volcanic process and the strength of eruptions is adequate to average strength of basalt cones production. The volcanic hypothesis of the Bennett gas plumes origin, expressed before, is confirmed.

### Феномен газовых шлейфов о-ва Беннетта.

В связи с возрождением государственного, общественного, экономического и научного интереса к Арктике представляется полезным вспомнить о некогда сенсационном, но вскоре позабытом событии в ее пределах, произошедшем в феврале 1983 г. Речь идет о появлении у о-ва Беннетта (76° 41' 21" N, 148° 56' 14" E) газовых шлейфов необыкновенной мощности и протяженности. Первыми обратили на это внимание американские ученые, высказавшие вулканическую и газогидратную гипотезы происхождения шлейфов [Kienle et al., 1983]. В том же году была организована и успешно проведена на острове и в прилегающей акватории экспе-

диция Института вулканологии ДВНЦ АН СССР, собравшая обширный научный материал. В последующие годы Институтом при содействии организаций, связанных с освоением этого региона, осуществлялись систематические наблюдения за объектом, постоянно генерирующим газовые выделения у острова. В 1986 г. наблюдения были прерваны по независящим от Института обстоятельствам. Некоторые материалы исследований указанного явления и геологии острова были опубликованы [Федотов и др., 1985; Масуренков, Флеров, 1989; Федоров и др., 2005]. Ниже представлены результаты более обстоятельного изучения феномена газовых шлейфов у о-ва Беннетта, выполненного в Институ-

те физики Земли РАН на основании материалов, собранных в 1983—1986 гг.

**1. Спутниковые данные о газовых шлейфах 1983 г.** В мае 1983 г. в издании Американского геофизического союза [Kienle et al., 1983] были опубликованы спутниковые инфракрасные снимки газовых шлейфов с источником, расположенным у о-ва Беннетта. События развивались следующим образом.

1. В 04 : 04 : 27 (здесь и далее местное время) 18 февраля над островом был зафиксирован слабый газовый шлейф длиной 90 км (8531, NOAA-7). На снимке, сделанном спустя 4 часа, этого шлейфа не было (18938, NOAA-6).

2. В 10 : 48 : 46, т. е. через два с лишним часа, у о-ва Беннетта хорошо прослеживался двойной или даже тройной источник газовых истечений (8535, NOAA-7). Один из них, основной, располагался у восточного берега острова, два других, сильно сближенных и более слабых, — примерно в 7—18 км от восточного берега над полыньей или льдом (рис. 1).

3. Еще спустя 6 часов в 16 : 15—16 : 17 событие достигло, по-видимому, максимума. Источники локализовались в виде одного шлейфа, расположенного у восточного берега, где находился основной источник в сеансе предыдущего наблюдения. Длина шлейфа достиг-



Рис. 2. Максимальная стадия извержения 18 февраля 1983 г., 16 : 17 (NOOA-7, 18943). Пульсирующий характер извержения запечатлен в дискретном строении шлейфа.

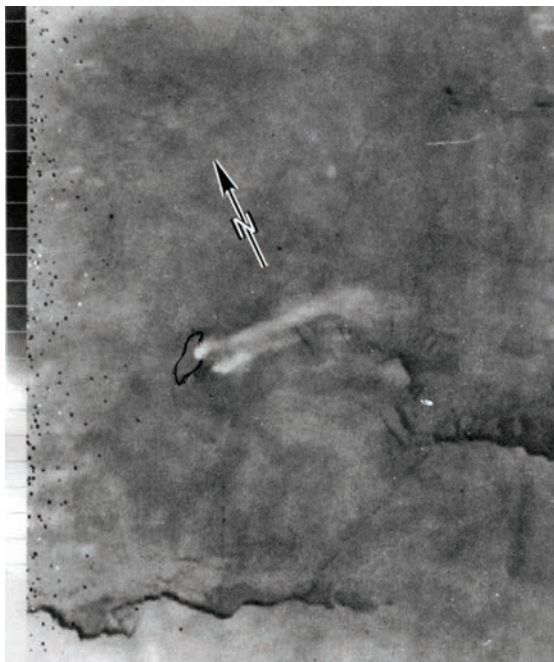


Рис. 1. Начальная стадия извержения 18 февраля 1983 г., 10 : 47 (NOOA-7, 8535). Выделены при- близительные контуры о-ва Беннетта.

ла 300 км при ширине от 10 км у основания до 50 км в конце шлейфа (рис. 2, 3). Газовый шлейф имел характерную четкообразную структуру, свойственную пульсирующему источнику. Всего в облаке насчитывалось восемь вытянутых клубов, увеличивающихся от источника к концу шлейфа. Качество снимка давало возможность сделать однозначный вывод: источник не был связан с гипсометрической вершиной острова и, скорее всего, находился не на самом острове, а вблизи его восточного берега в акватории океана.

Как это характерно для всех вулканических шлейфов, равновесных с окружающей средой в максимальной точке подъема, т. е. в области шлейфообразования (перегиб вертикального газового столба в горизонтальный шлейф), температура наблюдаемых шлейфов соответствовала температуре атмосферы на этой высоте.

4. На следующем витке спутника погоды NOAA-7 никаких признаков газового извержения у о-ва Беннетта не наблюдалось (снимок 8545, 03 : 52 : 56 от 19 февраля 1983 г.).

5. Анализ некоторых более ранних и последующих материалов космических съемок

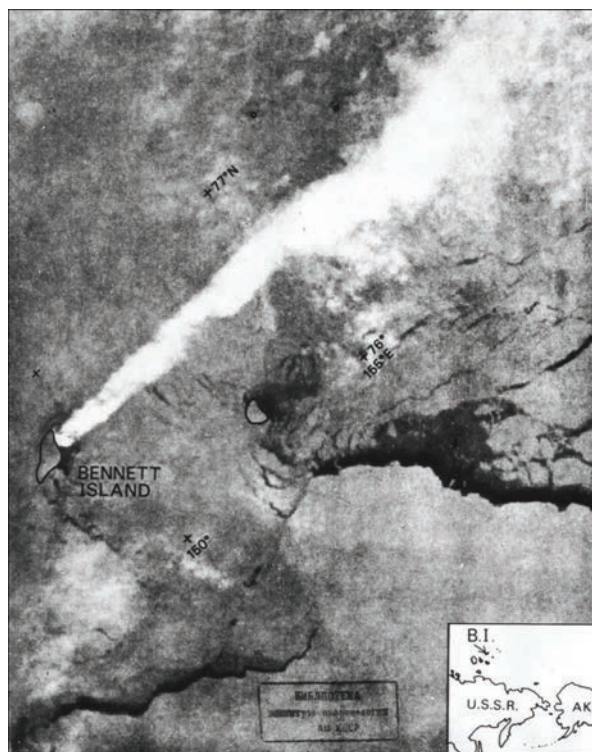


Рис. 3. Фото максимальной стадии извержения [Kienle et al., 1983]. Отчетливо видно, что формирование газового шлейфа происходит в акватории вблизи восточного берега о-ва Беннетта.

района острова показал, что события, подобные имевшему место в феврале 1983 г., наблюдались и ранее, и позднее (рис. 4). Благодаря Тиксинскому (А. П. Ананьев, Г. И. Тягунов) и Певекскому (В. И. Козин, К. Чагулов) территориальным управлениям по гидрометеорологии и контролю окружающей среды, предоставившим нам материалы, отслежен интервал времени с 17.03.73 по 30.12.86 г., в течение которого зарегистрировано 152 таких событий.

Просмотр многочисленных инфракрасных космических снимков Арктики показал, что среди разнообразных форм облаков иногда встречаются формы, подобные газовым шлейфам, зафиксированным над о-вом Беннетта. Однако эти облака никогда не характеризуются таким постоянством локализации, как газовые шлейфы Беннетта. Их можно встретить в любом месте Арктики вне какой-либо связи с постоянным объектом: над разными формами рельефа островов, в прилегающих к акватории участках материка, над льдами и открытым водным бассейном. Такие облака всегда являются закономерной частью региональной системы

облаков, всегда изменяются и перемещаются согласно изменению и движению облачной системы. После просмотра части космических снимков за 1973—1986 гг. можно утверждать, что в Российской части Арктики нет больше мест, на снимках которых с таким постоянством, как на о-ве Беннетта, совпадали бы периодически возникающие газовые шлейфы. На этом основании напрашивается естественный вывод: о-в Беннетта — уникальный объект, который характеризуется периодическим появлением над ним (?) и (или) вблизи него газовых шлейфов, иногда гигантской мощности, аналогичных газовым шлейфам при вулканических извержениях.

**2. Определение места нахождения источника газового шлейфа 1983 г., оценка его тепловой мощности и энергии.** Космический снимок мощного газового шлейфа у о-ва Беннетта, присланный в Институт американскими учеными (см. рис. 3), помимо своей сенсационной сущности, оказался крайне важным источником информации о некоторых принципиальных особенностях этого уникального явления, в частности, о месте, механизме, мощности и энергии истечения газа. Температура горизонтальной части шлейфа была определена по данным инфракрасной космической съемки в  $-46^{\circ}\text{C}$  [Kienle et al., 1983]. Приняв, что горизонтальная часть шлейфа имеет ту же температуру, что и окружающая ее атмосфера, можно оценить высоту его верхней кромки, зная температурный разрез атмосферы в момент события. Ближайшая станция, на которой выполнялся полный комплекс метеонаблю-

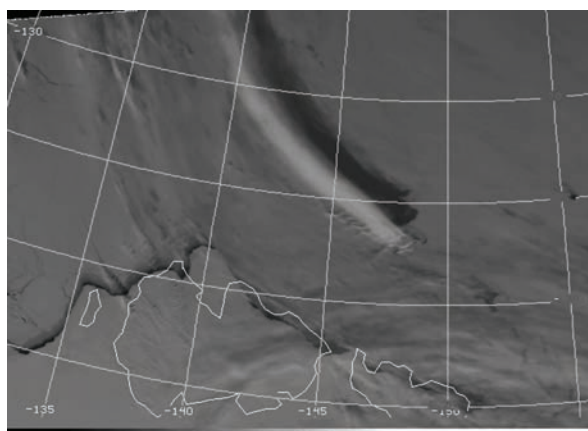


Рис. 4. Шлейф над о-вом Беннетта, зарегистрированный 12 марта 2008 г. (NOOA-18, AVHRR, 03:15 UTC) [CIMSS Satellite Blog, 2011].



дений, находится на о-ве Жохова, на расстоянии несколько десятков километров от ближайшей части шлейфа.

По данным метеостанции о-ва Жохова в 00 ч СГВ (среднее Гринвичское время), 18.02.1983 г. температура – 46 °С имела место на высотах 6400 и около 16 000 м над уровнем моря. Тропопауза находилась на высоте 10 км. Учитывая размеры шлейфа, можно предполагать малую вероятность высоты его верхней кромки на уровне 16 км. Чтобы преодолеть область положительного температурного градиента между 10 и 16 км, нужна очень большая мощность, и видимый шлейф должен был быть значительно шире и длиннее. Очевидно, следует принять высоту верхней кромки шлейфа равной 6400 м.

Согласно данным табл. 1, 17.02—19.02.83 атмосфера имела весьма устойчивую стратификацию (градиент температуры по абсолютной величине в 2 раза меньше стандартного), почти не изменялось направление и слабо изменялась скорость ветра на всех высотах. Подобная стабильность должна способствовать успешному применению полуэмпирических формул, описывающих конвективный подъем газовых струй в атмосфере. Применительно к вулканическим извержениям такие формулы анализировались в [Федотов, 1982], причем результаты расчета сравнивались с оценками мощности конкретных извержений, выполненными независимыми и более точными способами.

Выбор формулы, наиболее приемлемой в каждом данном случае, — непростая задача,

но здесь нам помогает близость параметров шлейфа в районе о-ва Беннета к таковым, имевшим место при Толбачинском извержении в 1975 г. Действительно, высота верхней кромки шлейфа на Толбачике была 6000 м при скорости ветра на его оси 26,4 м/с [Федотов, 1982]. Для вулкана Толбачик в этих условиях наилучшее совпадение с результатом независимых измерений дала формула CONCAWE при подстановке в нее скорости ветра на оси шлейфа. Эту формулу можно применить и в нашем случае, приняв во внимание более устойчивое состояние атмосферы и, следовательно, относительно большую необходимой мощности источника для подъема газового шлейфа:

$$Q = 0,136 \Delta h^2 u^{1,5}, \quad (1)$$

где  $Q$  — мощность теплового источника, кВт;  $\Delta h$  — высота оси шлейфа, м;  $u$  — скорость ветра на этой высоте, м/с.

Приняв для высоты оси шлейфа значение 4000 м и для скорости ветра на этой высоте — 22 м/с, по формуле (1) получим:  $Q = 224 \cdot 10^6$  кВт, что соответствует стандартному температурному градиенту в атмосфере (– 6,5 °С/км). При градиенте – 3,2 °С/км величину  $Q$  следует увеличить до значения  $600 \cdot 10^6$  кВт.

Судя по последовательности снимков при повторном прохождении спутников, главная фаза события вблизи о-ва Беннета продолжалась не менее 6 и не более 10 ч. Снимок, обработанный нами, по-видимому, соответствует максимальной наблюдавшейся интенсивности. При-

**Т а б л и ц а 1. Основные характеристики разреза атмосферы в интересующем нас слое, по данным радиозондирования в день события, а также в предшествующие и последующие дни на 00 ч СГВ**

Дата	Высота уровня шлейфа с температурой – 46 °С, м	Температура на уровне моря, °С	Средний градиент температуры между уровнем моря и уровнем шлейфа, °С/км	Направление и скорость (м/с) ветра на высотах, м				Зоны инверсии по высоте, м
				0	3000	5600	7200	
17.02.83	6450	– 26,5	– 3,0	СЗ 10	СЗ 27	СЗ 32	СЗ 40	1000—2000
18.02.83	6400	– 25,7	– 3,2	ЮЗ 12	З 20	З 25	З 27	0—300, 500—800, 3000—3300
19.02.83	6400	– 24,8	– 3,3	З 10	З 20	З 15	З 17	0—200, 1800—2200

няв продолжительность события равной 6 ч, получим полную энергию предполагаемого извержения  $1,3 \cdot 10^{16}$  Дж ( $1,3 \cdot 10^{23}$  эрг).

О возможном положении источника шлейфа можно судить по следующим фактам и соображениям.

Шлейф начинается у восточного берега о-ва Беннетта, причем контур шлейфа в его начале представляет собой полуокружность радиусом 4,8 км, касающуюся берега острова. Далее шлейф распространяется строго на восток в направлении ветра, равномерно расширяясь с углом между осью и образующими для первых 70 км, равным  $3,3^\circ$ , а для первых 150 км — в среднем  $2,3^\circ$ . Шлейф несколько неравномерен по плотности. Он разделяется на отдельные "облака", соединенные в непрерывную цепь несколько менее плотными участками. Хорошо видны три таких полных облака длиной приблизительно по 60 км каждое и облако половинной длины непосредственно у начала шлейфа. Каждое облако вполне однородно и, по-видимому, отражает пульсацию интенсивности источника продолжительностью 45—50 мин. Снимок сделан, очевидно, в середине очередной пульсации и соответствует наиболее стабильным условиям.

Равномерный светлый тон всего шлейфа на инфракрасном снимке свидетельствует о равномерной его температуре, и, значит, видно только горизонтальную его часть. На это же указывают круговой контур и большая ширина шлейфа в его начале. Если бы была видна восходящая часть султана, угол расхождения образующих в начале шлейфа был бы гораздо больше наблюдаемого. Поскольку восходящая часть султана не видна, вероятно, средняя скорость ветрового сноса шлейфа не больше средней скорости расширения струи при подъеме, и источник должен находиться между проекциями на поверхность Земли у западной границы начала шлейфа и центра полуокружности, оконтуривающей эту границу. Точно на границе шлейфа источник будет находиться, если скорость горизонтального расширения султана при подъеме равна средней скорости ветра — приблизительно 20 м/с.

В связи с тем что высота верхней кромки шлейфа определена нами в 6,4 км, а полуширина его вблизи начала равна 4,8 км, полуугол расширения султана при подъеме равен  $37^\circ$ . Величина угла в 1,5 раза превышает аналогичную величину, измеренную на вулкане Суффриер для султана близкого масштаба [Sparks, Wilson, 1982]. Большой угол расширения в на-

шем случае естественно связать с более устойчивой стратификацией атмосферы (средний градиент температуры вдвое меньше стандартного).

Как определено выше, минимальная скорость расширения султана равна средней скорости ветра:  $V_S = 20$  м/с. Следовательно, минимальная средняя скорость подъема султана должна быть:  $V_P = 20 \cdot 6,4 / 4,8 \approx 27$  м/с.

В устойчиво стратифицированной атмосфере вероятнее всего постоянное замедление всплывания султана. Предположив в первом приближении линейное замедление, найдем для максимальной скорости в начале всплывания значение 54 м/с. Примерно такая же (58 м/с) максимальная скорость всплывания была измерена Р. Спарксом и Л. Вильсоном на вулкане Суффриер при тепловой мощности струи на порядок большей, чем в нашем случае [Sparks, Wilson, 1982]. Если процессы, порождающие шлейф, в обоих случаях идентичны, скорость всплывания султана 54 м/с должна быть близкой к максимально возможной для события на о-ве Беннетта. Эта же скорость соответствует минимальной допустимой, исходя из формы шлейфа — извержение из относительно малого отверстия на поверхности Земли. Султан должен быть расположен вблизи видимой западной границы шлейфа, скорее всего на дне моря не далее нескольких километров от берега.

**3. Газовые шлейфы 1973—1986 гг.** Как отмечено выше, в интервале 1973—1986 гг. на 152 космических снимках зафиксированы события у о-ва Беннетта, подобные тому, которое наблюдалось в феврале 1983 г., что послужило сенсационным толчком к привлечению к нему внимания научной общественности США и России [Matson, 1986; Clarke et al., 1990]. Ниже приведены некоторые из этих снимков (рис. 5, 6), а также спутниковые снимки извержений настоящего вулкана. Как видно, вулканические шлейфы не отличимы по форме, размерам и температуре от шлейфа вблизи о-ва Беннетта и, тем самым, снимают скептический тезис о том, что "раз холодные шлейфы, значит не вулканические" [Купецкий, 2005].

В период с 1973 по 1986 г. отмеченные события (извержения) в районе о-ва Беннетта распределились следующим образом: 1973 г. — 1 событие, 1974 г. — 4; 1975 г. — 5; 1976 г. — 2; 1977 г. — 4; 1978 г. — 5; 1979 г. — 1; 1980 г. — 8; 1981 г. — 11; 1982 г. — 4; 1983 г. — 16; 1984 г. — 29; 1985 г. — 45; 1986 г. — 17 событий. При этом следует отметить, что да-

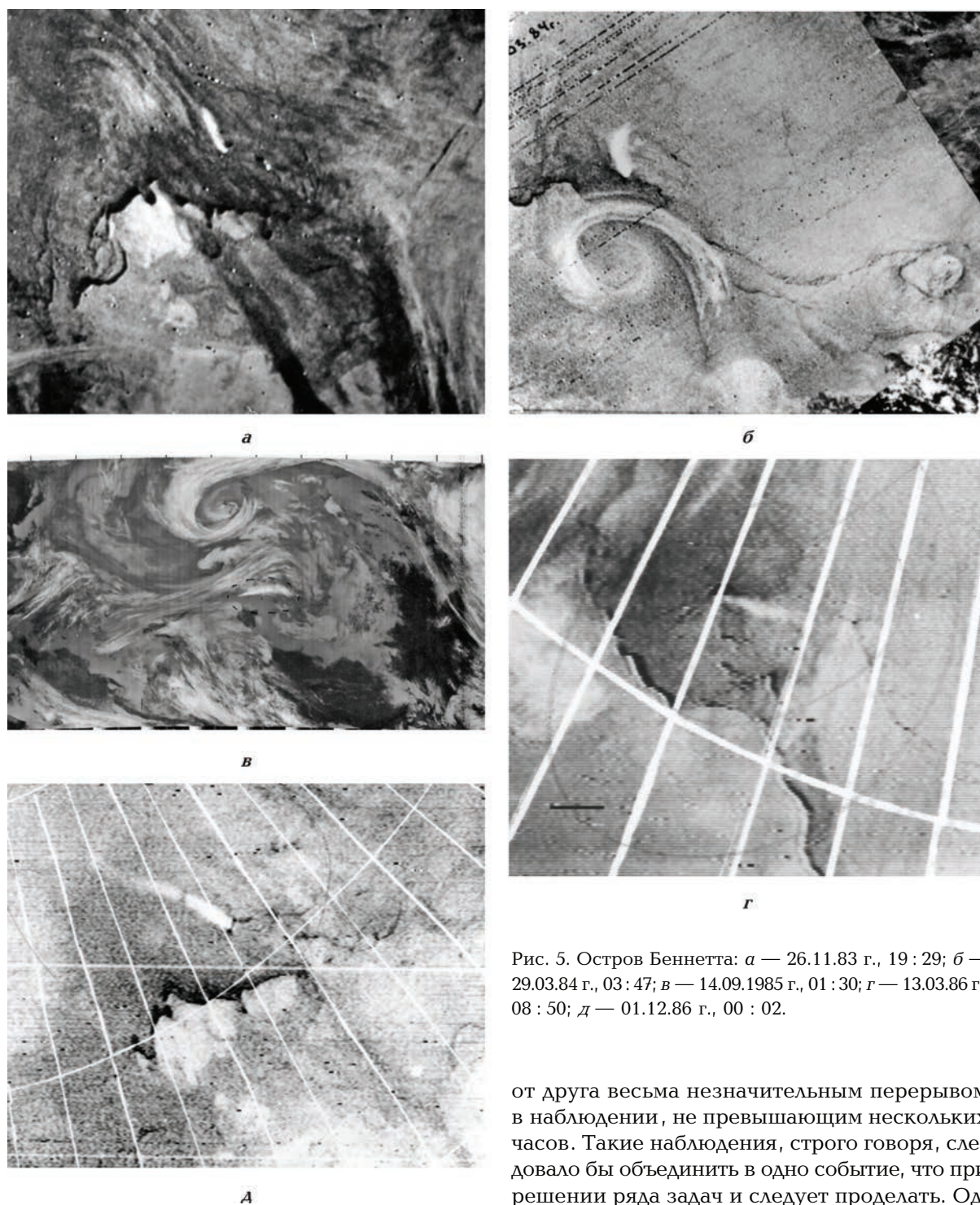


Рис. 5. Остров Беннетта: а — 26.11.83 г., 19 : 29; б — 29.03.84 г., 03 : 47; в — 14.09.1985 г., 01 : 30; г — 13.03.86 г., 08 : 50; д — 01.12.86 г., 00 : 02.

леко не каждое зафиксированное на снимке наблюдение отражает самостоятельное событие, т. е. соответствует явлению, отделенному от другого подобного неким существенным интервалом времени. Часто снимки регистрируют лишь разные стадии одного и того же процесса извержения. Обычно они отделены друг

от друга весьма незначительным перерывом в наблюдении, не превышающим нескольких часов. Такие наблюдения, строго говоря, следовало бы объединить в одно событие, что при решении ряда задач и следует проделать. Однако для решения задач, связанных с корреляцией частоты и энергии извержений с какими-то иными природными процессами, полезно пользоваться именно количеством выявленных наблюдений, не группируя их в отдельные самостоятельные события. Следует учитывать, что при использовании просто наблюденных фактов, когда на события разной продолжительности приходится разное количество наблюде-



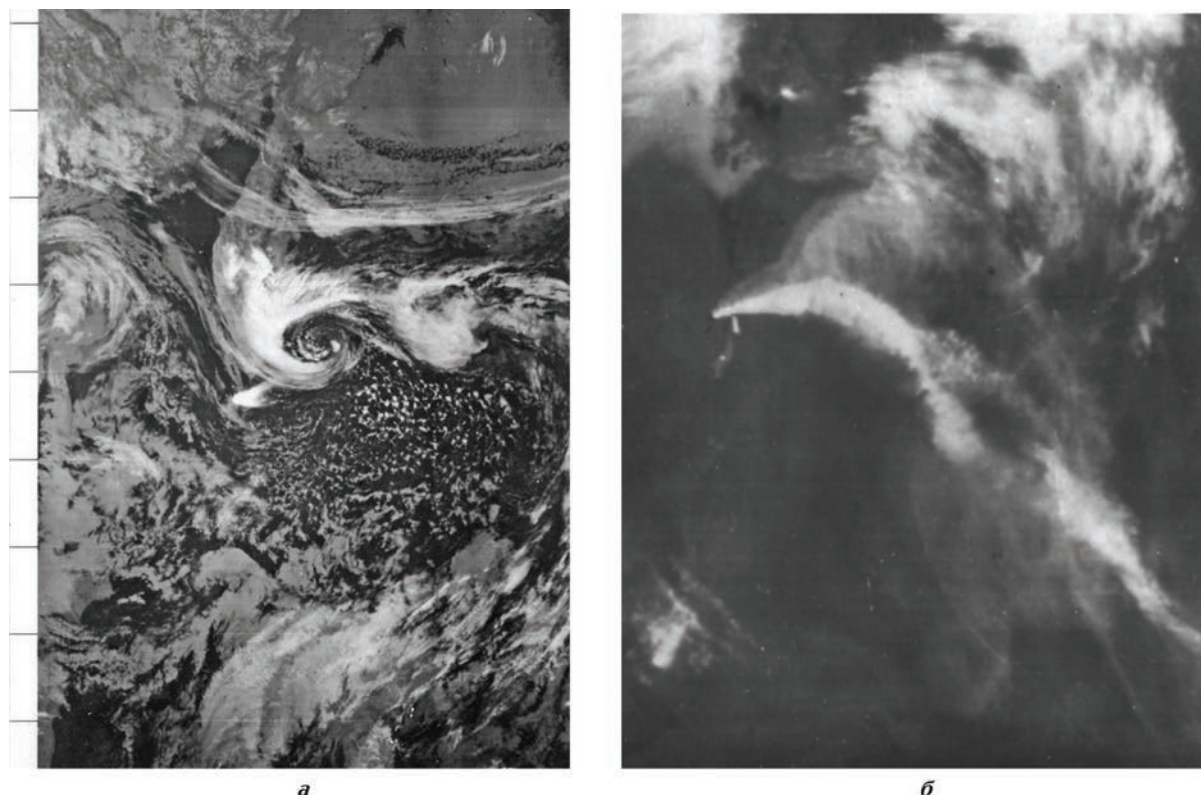


Рис. 6. Вулкан Чикурачки: а — 19.11.1986 г.; б — Алаид?

ний, автоматически включается фактор оценки продолжительности события, т. е. события разной продолжительности не уравниваются, а характеризуются каждое количеством приходящихся на него наблюдений. Это имеет большое значение как объективная количественная информация не только о частоте событий, но и об их весе в ряду одноименных явлений (разумеется, при равных интервалах опробования, что и имеет место при использовании космических снимков, например в нашем случае). Именно поэтому далее использовано количество зафиксированных снимками наблюдений без объединения их в события, поскольку и их объединение в законченные события само по себе не однозначно.

Как видно на рис. 7, зафиксированные события расположены во времени не хаотично и случайно, а вполне закономерно. Сначала в их положении угадывается 3-летняя ритмичность, в которую укладывается 10 из 14 лет наблюдений. Ритмы построены закономерно, а именно по нарастанию числа событий в каждом последующем году. На начало каждого ритма приходится меньшее количество событий, чем их насчитывается в последнем году предыду-

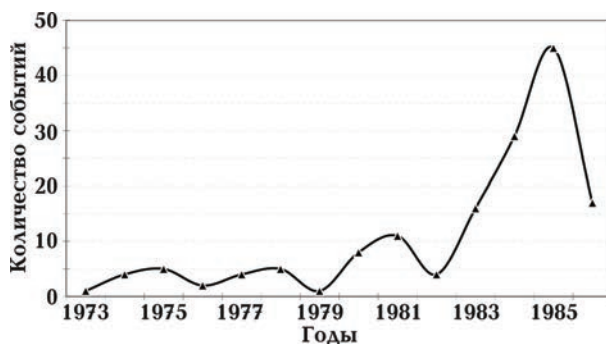


Рис. 7. Изменение количества событий (извержений) в районе о-ва Беннетта за 14-летний период наблюдений.

щего ритма: 1973—1975, 1976—1978, 1979—1981. Так же начинается и 4-й ритм в 1982 г., но продолжается он не 3, а 4 года, до 1985 г. Можно предполагать, что следующий ритм начался в 1986 г. с относительно небольшого числа событий, за которыми последуют события по нарастающей, но наблюдения, как уже указывалось, были прерваны. Тем не менее и полученный ряд наблюдений выявил не случайный, а закономерный ход явлений.

Небезынтересно проверить положение и соответствие полученных данных о распределении наблюдаемых извержений в районе о-ва Беннетта (в прослеженном интервале времени) каким-либо фундаментальным особенностям жизни планеты за это же время, поскольку наблюдаемое нами явление, как представляется, тоже относится к фундаментальным событиям земной жизни. Наш выбор пал на временные вариации в скорости вращения Земли, так как указанное обстоятельство определенно влияет на многие факторы развития планеты, в том числе на вулканизм [Гущенко, 1985].

На рис. 8 показано развитие процесса извержений в районе о-ва Беннетта в период 1973—1986 гг. на фоне происходивших среднемесячных отклонений продолжительности земных суток от эталонных, отражающих изменение скорости вращения Земли. Видно, что данный интервал времени характеризуется постепенным нарастанием скорости вращения Земли, и лишь, примерно, с 1987 г. происходит резкое ее снижение (рис. 8, кривая 1). Извержения почти буквально повторяют нарастание скорости вращения Земли соответствующим увеличением их количества (рис. 8, кривая 2). Резкое снижение количества извержений в 1986 г. на год опережает снижение скорости вращения Земли, по-видимому, отражая естественную флуктуацию сложного природного процесса.

Выявленное подобие кривой частоты извержений кривой изменения скорости вращения

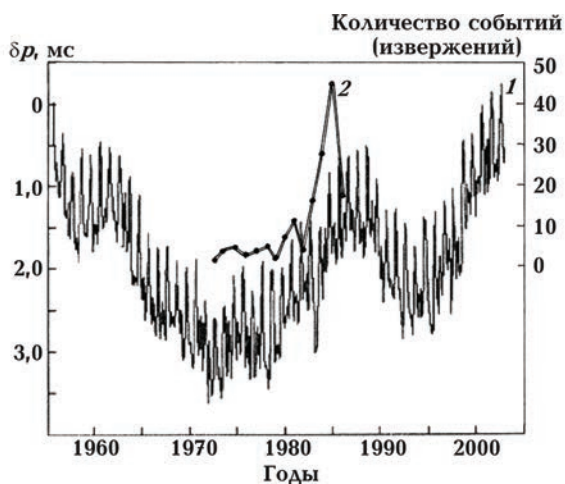


Рис. 8. Совмещение годового хода среднемесячных отклонений земных суток от эталонных (кривая 1), по Н. С. Сидоренкову [2002], с годовым количеством наблюдаемых извержений у о-ва Беннетта (2).

Земли не является чем-то исключительным. Так, И.И. Гущенко в работе "Цикличность извержений вулканов мира" указывает [1985]: "... вулканы чутко реагируют на изменение угловой скорости вращения Земли" (с. 35); "... как извержения, так и заложение вулканических поясов с субширотной ориентацией ... связано с ускорением вращения Земли" (с. 36). "Ротационный режим Земли можно рассматривать как основной фактор, предопределяющий размещение и деятельность вулканов внутри вулканических цепей, дуг и отдельных регионов" (там же, с. 46). И что особенно важно — структура островов Де Лонга, к которым относится о-в Беннетта, является частью Чукотского сейсмовулканотектонического пояса широтного простираения. Таким образом, выводы, сделанные И.И. Гущенко относительно связи вулканизма с неравномерностью вращения Земли, напрямую относятся и к шлейфообразованию у о-ва Беннетта.

В связи с изложенным целесообразно рассмотреть изучаемую проблему несколько более подробно. Для этого обратимся к рис. 9. Кривая 1, отражающая ход отклонений средней длительности суток за каждый месяц от эталонных значений, построена по ходу суточных отклонений сглаживанием [Сидоренков, 2002]. С этой кривой, отражающей изменение длины земных суток и, следовательно, изменение скорости вращения Земли, сравнивается кривая, иллюстрирующая помесечное распределение наблюдаемых событий (извержений) у о-ва Беннетта (кривая 2). Нельзя не обратить внимание на подобие данных кривых, несколько, впрочем, "подпорченное" числом наблюдений в феврале и октябре: их не хватает для полного, почти идеального совпадения кривых.

Если предположить, что некоторые события не удалось зафиксировать по каким-то причинам (например, густая облачность, плохое качество снимков, отсутствие снимков и т. д.), то количество выявленных событий может отличаться от числа реальных событий только в меньшую сторону. Следовательно, февральский и октябрьский минимумы вполне могут быть браком наблюдений, и их возможно рассматривать как технический недобор. В таком случае кривая 2 может быть "исправлена", как это показано на графике пунктирной линией (рис. 9, кривая 2), и в действительности вполне вероятно более точное совпадение кривых 1 и 2. Это означало бы, что события у о-ва Беннетта в 1973—1986 гг. непосредственно связа-



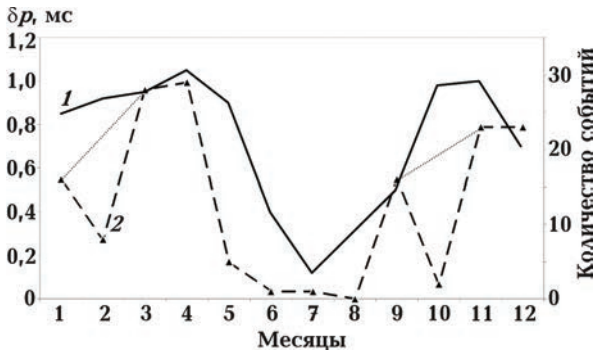


Рис. 9. Сравнение месячного хода изменений количества наблюдаемых событий (извержений) в районе о-ва Беннетта в 1973—1986 гг. (кривая 2) со среднемесячными значениями отклонений ( $-\delta P$ , мс) длительности суток (кривая 1) от эталонных [Сидоренков, 2002].

ны с изменением скорости вращения Земли. Вместе с тем сохранение хода кривой 2 на рис. 9 вовсе не отрицает эту связь, а лишь усложняет какими-то дополнительными местными факторами.

**4. Рельеф дна акватории в месте извержений.** Батиметрические исследования морского дна у о-ва Беннетта были выполнены при совместной работе с командой гидрографического судна "Дмитрий Стерлегов" (капитан А.И. Шляпин, капитан-наставник В.Г. Навруцкий, ст. помощник В.С. Ливенцов, 2-й помощник Е.И. Харюшин, 3-й помощник А.Г. Артеменко, электрорадионавигатор И. А. Пономарев, боцман О.П. Раков, 3-й механик С.Л. Веденьков, электрик В.П. Мелешкин, начальник гидрологической экспедиции НИИАА В. Ю. Бенземан). Со стороны Института в батиметрии и драгировании (см. ниже) принимали участие Ю. Д. Кузьмин и А.А. Овсянников.

Эхолотирование дна моря у восточного берега острова осуществлялось 16 сентября 1983 г. с катера. Он был оборудован гидролокатором бокового обзора (KELVIN HUGHES, тип MS.43. МКI, Англия): дальность обзора 0—275 м, и промерным эхолотом ПЭЛ-3 с диапазоном 0—40 и 0—200 м. Всего было выполнено 9 галсов общей длиной около 75 км. В начале промерных работ, когда волнение было незначительным, удалось получить эхограммы бокового обзора на участке длиной  $\approx 30$  км. Они представили весьма интересные данные о структуре морского дна. 17 сентября промер глубин осуществлялся с судна — эхолотом ATLAS-DESO-10 EQV, PMENT AN 1021 было сделано два галса длиной  $\approx 40$  км.

В результате выполненных работ составлена батиметрическая схема на участке площадью около 85 км<sup>2</sup>, с густотой точек наблюдений, значительно превышающей таковую при исследованиях 1974 г.

Для выявления вероятной динамики донного рельефа в связи с фактом мощных подводных извержений нами использованы батиметрические данные периода времени, предшествующего исследуемому (рис. 10).

Эти данные исчерпываются 22 точками определений глубин в районе, где вероятнее всего и происходили извержения (см. разд. 2). На их основе построена схема подводного рельефа в горизонталях поверхности дна (изобатах), что необходимо для сравнения с рельефом, соответствующим времени наших экспедиционных работ и наблюдений (рис. 11). На схеме нанесены участки (точечный крап), которые по вы-

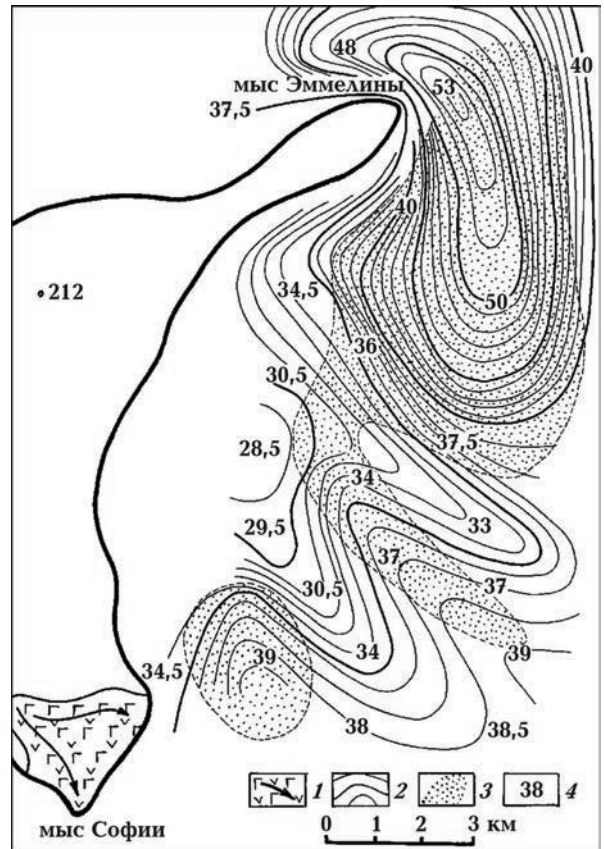


Рис. 10. Схема рельефа дна у восточного берега о-ва Беннетта (контур острова показан жирной линией), по данным 1974 г.: 1 — базальты п-ова Чернышова; 2 — изобаты, м; 3 — поверхность изменившегося рельефа к 1983 г., по данным нашей съемки; 4 — отметки глубин, по данным 1974 г., м.

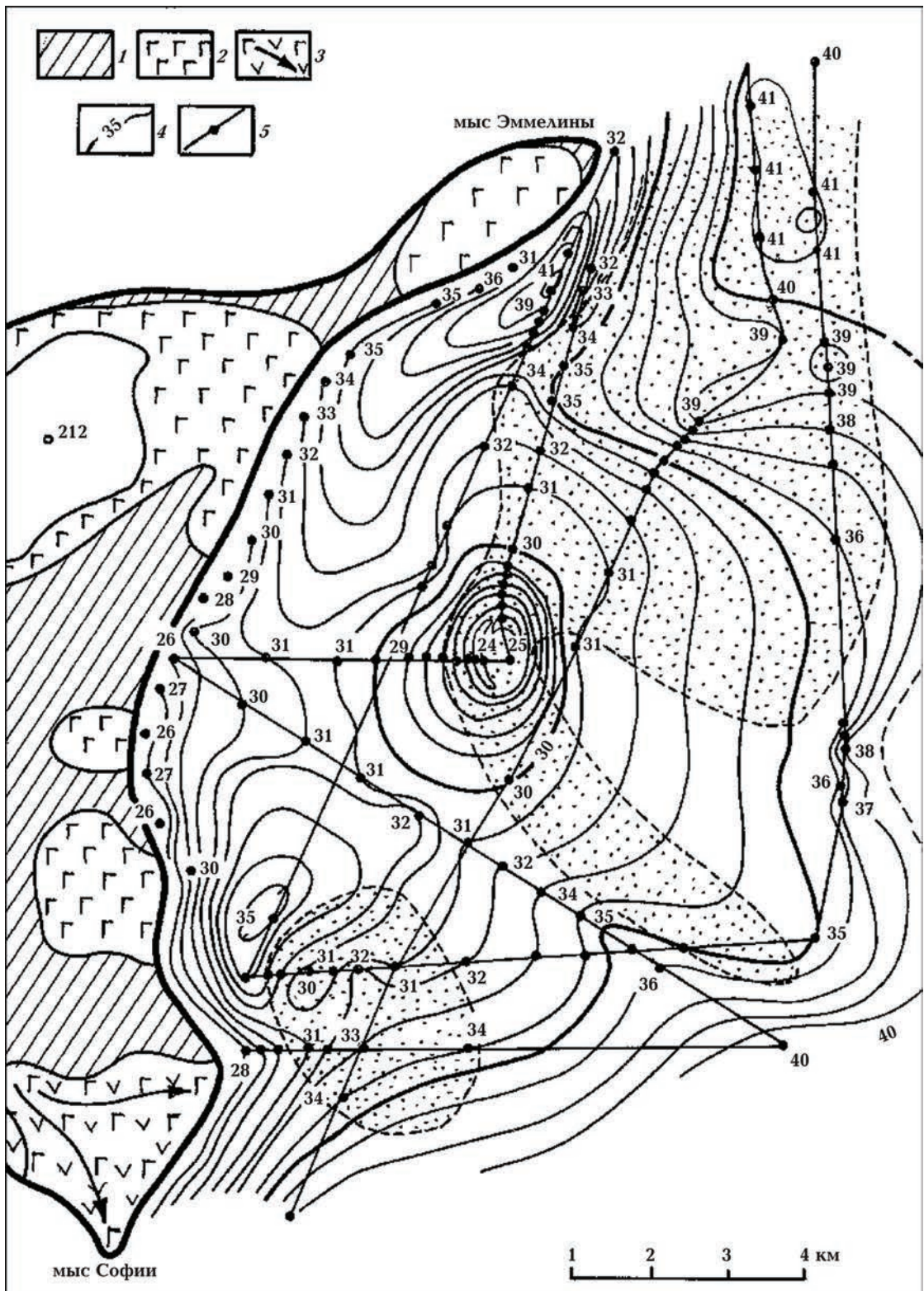


Рис. 11. Рельеф дна у восточного берега о-ва Беннетта на 17 сентября 1983 г., по данным экспедиционных работ и команды гидрографического судна "Дмитрий Стерлегов": 1 — меловые отложения на острове; 2 — базальтовые покровы доостровного периода; 3 — более молодые базальты с сохранившимися реликтами аппаратов извержения и направлением потоков; 4 — изобаты, м; 5 — галсы катера и судна с непрерывными записями эхолотирования морского дна.



соте и строению рельефа резко отличаются от рельефа предшествующего периода (1974 г.). Назовем эти участки условно "мобильными", так как именно они претерпели изменения. Выделение указанных участков на схеме сделано для того, чтобы увидеть и осмыслить те формы рельефа, которые претерпели последующие изменения.

По 10 предшествующим промерам нами получены принципиально новые результаты, а именно уменьшение глубин от 1 до 12 м. Таким образом, точки промеров определили положение "мобильных" участков. Замечательная особенность данных участков — их совпадение с отрицательными формами предшествующего рельефа, что указывает на самый вероятный механизм преобразования рельефа (его повышение над впадинами) — заполнение впадин каким-то твердым веществом.

Были подтверждены 12 промеров глубин предшествующего периода (на 1974 г.), и в целом по довольно густой сети наблюдений воссоздан рельеф дна с детальностью, позволяющей выделять сравнительно мелкие формы рельефа. Среди них особого внимания заслуживают два новообразования изометричной формы, весьма напоминающие пологие вулканические конусы диаметрами около 2 и 4 км и относительными высотами 5 и 16 м (рис. 11). Их положение вполне может соответствовать предполагаемому местонахождению источников газовых шлейфов, и, что также немаловажно, они располагаются в местах вероятных источников вещества, заполнившего пониженные формы рельефа. Это обстоятельство особенно наглядно представлено на рис. 12 при его сравнении с рис. 13.

Контуры и мощность приращенного рельефа позволяют приблизительно оценить объем приращения, а если оно действительно обусловлено извержением вещества, то и объем изверженного вещества. Для сравнительно малого южного конуса эти площадь и объем соответственно составляют:  $\approx 10 \text{ км}^2$  и  $\approx 0,03 \text{ км}^3$ ; для крупного северного конуса:  $\approx 60 \text{ км}^2$  и  $\approx 0,33 \text{ км}^3$ . Мы полагаем, что этим веществом могли быть базальты, столь характерные для предшествующих извержений на о-ве Беннетта. Размеры и объемы предполагаемых базальтовых конусов и потоков обычны для вулканических образований подобного типа [Мақдональд, 1975].

На рис. 13 приведен фрагмент записи эхолота через вершину конуса, где просматриваются даже уступы кратера. Конус и отходящие от него потоки в отличие от прилегающего дна,

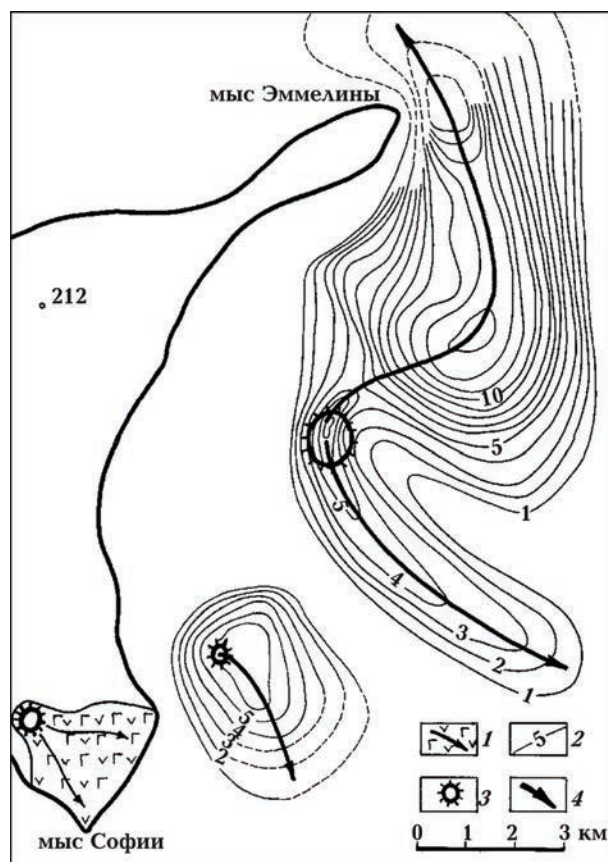


Рис. 12. Контуры и мощность приращения рельефа дна у восточного побережья о-ва Беннетта, по данным на 17 сентября 1983 г.: 1 — базальтовые потоки п-ова Чернышова; 2 — изопахиты (приращенные мощности рельефа) предполагаемых базальтовых потоков, м; 3 — предполагаемые аппараты извержения; 4 — направление течения лав.

выровненного ледниковой эрозией и, возможно, донными осадками, имеют неровную поверхность свежего базальтового покрова.

**5. Железомарганцевые конкреции в месте подводного извержения.** Железомарганцевые конкреции (ЖМК) были подняты драгами и дночерпателем на восточной и северо-восточной окраинах исследованной площади. Химическими, спектральными и минералогическими методами изучено около 40 конкреций. Содержание оксидов марганца в конкрециях колеблется от 0,76 до 23,0% массы, оксидов железа от 7,07 до 20,60% массы. При этом установлены:

- 1) обратная корреляционная связь содержания оксидов марганца и оксидов кремния ( $-0,818 \pm 0,092$ ) и алюминия ( $-0,950 \pm 0,027$ );
- 2) прямая корреляционная связь содержания оксидов марганца с оксидами натрия ( $0,709 \pm$



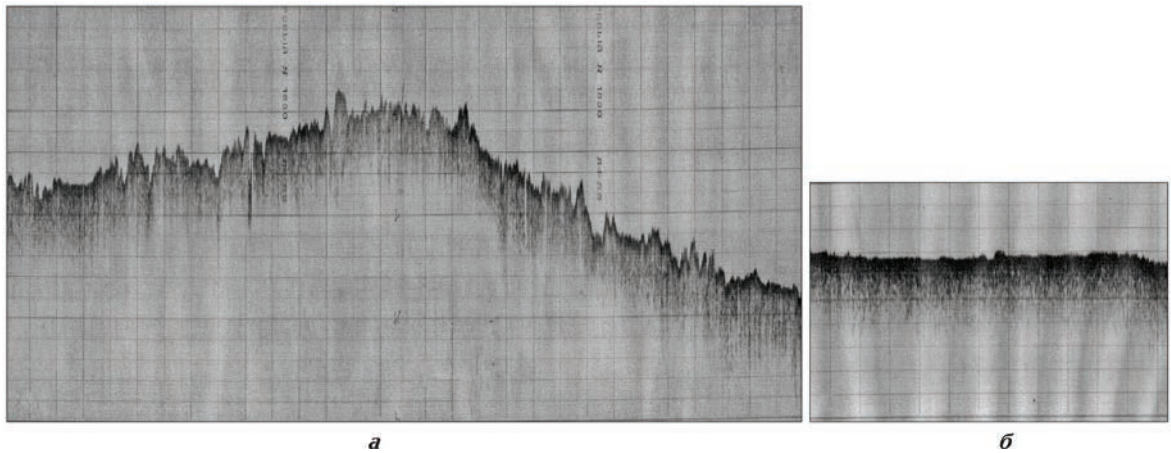


Рис. 13. Предполагаемый базальтовый конус (северный) с кратером, зафиксированный эхолотом на глубине 24—34 м (а) и ровное дно за пределами конуса и базальтовых потоков на глубине 38 м (б). Цена вертикального деления 1 м, горизонтального  $\approx 200$  м.

$\pm 0,138$ ),  $\text{H}_2\text{O}^+$  ( $0,514 \pm 0,204$ ),  $\text{H}_2\text{O}^-$  ( $0,687 \pm 0,146$ ), кобальтом ( $0,514 \pm 0,132$ ) и никелем ( $0,609 \pm 0,113$ ).

Самые высокие концентрации марганца обнаружены в конкрециях, наиболее близко расположенных к северному большому конусу.

В образцах, поднятых при драгировании, выделено два типа конкреционных образований: а) собственно ЖМК; б) конкрециеподобные стяжения, состоящие из зерен породообразующих минералов песчаной размерности, сцементированных глинисто-гидрослюдистым материалом, гидроксидами железа и, реже, гидроксидами марганца. И те, и другие образования наблюдаются в каждой пробе, но количественно преобладают последние.

Конкрециеподобные стяжения, как правило, имеют размеры от нескольких миллиметров до 2,5 см. Чем меньше размеры стяжений, тем более угловатой формой они обладают. Более крупные стяжения характеризуются округлыми очертаниями. Поверхность выделений неровная, микрогранулярная или слегка шероховатая, иногда кавернозная. Цвет зеленовато-серый, реже землисто-коричневый. Стяжения состоят из плотносцементированных окатанных зерен кварца, плагиоклаза (олигоклаз-андезин), реже калиевого полевого шпата, оливина и обломков базальтов с трахитовой структурой основной массы. Кварц корродирован и несет следы растворения. Плагиоклаз и особенно калиевый полевой шпат замещены частично, а иногда полностью смектитом и гидрослюдой. Эти же вторичные минералы составляют цемент стяжений. Чем плотнее сцементирован первичный

материал и чем выше степень разложения исходных компонентов, тем большее количество гидрослюды содержится в цементе. Гидроксиды железа более поздние, чем смектит и гидрослюда, они заполняют микротрещинки или в виде рыхлых корочек и примазок наблюдаются на поверхности стяжений. В редких случаях в ассоциации с гидроксидами железа по поверхности стяжений наблюдаются черные рыхлые примазки гидроксидов марганца. В этом случае проявляются "зачатки" скорлуповатой отдельности. Таким образом, данные стяжения не являются ЖМК в общепринятом смысле, их отличают отчетливо проявляющиеся: а) структура исходного мелкозернистого песчаного материала; б) отсутствие концентрической слоистости и скорлуповатой отдельности; в) очень низкое содержание рудного вещества, распределенного как цемент среди песчаных зерен.

Собственно ЖМК имеют размеры от 2,5 до 6 см. Это округлые, диско- или эллипсоидные образования. Как правило, одна сторона конкреции более плоская, шероховатая и кавернозная, другая несколько выпуклая, гладкая, реже микрогранулярная. Цвет поверхности темно-коричневый или черный с матовым, жирным и металлическим блеском, реже конкреции покрыты рыхлой коркой рыжего или красновато-коричневого цвета. На поперечном срезе конкреций четко видно их концентрически-зональное строение, обусловленное чередованием зон, выполненных гидроксидами Fe и Mn, обволакивающих силикатный материал. Мощность зон от долей миллиметра до 1 мм, редко больше. В центральной части кон-

креций находится, как правило, расплывчатое по очертаниям ядро из силикатного материала. Ближе к периферическим частям конкреций чередуются зоны, обогащенные Mn- и Fe-материалом, причем степень "кристалличности" в них постепенно нарастает по направлению к краевым частям как каждой зоны в отдельности, так и конкреции в целом. В этом же направлении уменьшается количество силикатного материала, включенного в конкрецию, мощность отдельных слоев от долей миллиметра до 2 мм. Строение конкреции достаточно симметричное.

Точная диагностика рудных минералов проведена методом просвечивающей электронной микроскопии, микродифракция электронов и анализ частиц минералов и их сростков — с помощью приставки "Кавекс Рэй". Эти исследования в сочетании с расшифровкой рентгенограмм привели к выводу о том, что рыхлые темно-коричневые Mn-слои состоят в основном из вернадита, в подчиненном количестве отмечаются тодорокит, бернессит и фероксигит. Плотный черный Mn-слой также содержит все перечисленные минералы, однако преобладают тодорокит и бернессит. Рыжий железистый минерал представлен фероксигитом.

Таким образом, все изученные конкреции и конкрециеподобные стяжения относятся к молодым образованиям, составляющим непрерывный ряд формирующихся рудных тел. Ядра ЖМК содержат силикатный материал, аналогичный по составу и строению конкрециеподобным стяжениям. Переход от ядра к соб-

ственно конкреции постепенный. Он происходит с нарастанием степени преобразования вещества ядра и увеличением количества смектита, гидрослюды и рудных компонентов в нем. Это позволяет рассматривать конкрециеподобные стяжения как "затравку" и начальную стадию для роста конкреции и рудообразования. Формирование стяжений идет при растворении кварца и замещении полевого шпата и других силикатных компонентов смектитом и гидрослюдой.

Наличие характерных признаков растворения такого устойчивого минерала, как кварц, преобразование полевых шпатов и других минералов, значительное количество аутигенной гидрослюды (минерала, редкого для низкотемпературных обстановок дна океана) и образование тодорокита (с хорошо упорядоченной структурой) дают основание предположить, что конкреции формировались в условиях повышенных температур.

Этот вывод подтверждается и данными о распределении в конкрециях и стяжениях некоторых элементов, в том числе железа и марганца. Так, по данным Г.Н. Батурина [[http://vivo-voco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/05\\_02/OCEAN.HTM](http://vivo-voco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/05_02/OCEAN.HTM)], средние содержания (% массы) ряда элементов в рудных корках (ЖМК) гидротермальных осадков Тихого океана и корках гидротермального происхождения существенно различаются (табл. 2).

Если взять эти данные за основу для генетического расчленения осадков, то рассматриваемые ЖМК и конкрециеподобные стяжения,

**Т а б л и ц а 2. Химический состав рудных (I) и гидротермальных (II) корок Тихого океана, %**

Элемент	I		II	
	Пределы	Среднее	Пределы	Среднее
Mn	1—40	22,5	10,5—55,01	36,97
Fe	2—25	15	0,019—59,1	18,70
Ni	0,1—1,5	0,45	0,0001—0,(?)	0,0287
Cu	0,001—1,0	0,12	0,0018—0,32	0,0228
Co	0,1—2,5	0,68	0,0002—0,11	0,0072
Zn	0,044—0,47	0,066	0,0009—0,142	0,0238
Pb	0,01—0,47	0,16	0,0001—0,067	0,0045
Mo	0,005—0,11	0,043	0,0027—0,1840	0,0327
V	0,005—0,3	0,06	0,0005—0,0926	0,0225
Ti	0,2—2,2	0,98	0,0085—0,43	0,1466

т. е. вся совокупность железомарганцевых образований (ЖМО), попадают в группу гидротермальных, так как в них содержание (%) сравниваемых элементов на 1—2 порядка меньше, чем у гидrogenных осадков и существенно ближе к гидротермальным осадкам: кобальт — 0,0280; никель — 0,0099; медь — 0,0072; ванадий — 0,010; молибден — 0,0072 (рис. 14).

Еще более убедительные свидетельства гидротермального происхождения ЖМК о-ва Беннетта отражены на рис. 15. Как видно, все точки, соответствующие конкрециям и конкрециеподобным стяжениям о-ва Беннетта, целиком лежат в поле гидротермальных осадков. Это не оставляет никаких сомнений в их происхождении: оно непосредственно связано с подводной гидротермальной деятельностью вблизи острова, а именно там, где вероятнее всего и происходят систематические выделения газовых шлейфов и где батиметрическими работами выявлены недавно возникшие конусы предположительно базальтового состава.

Помимо приведенных данных нами выполнено сравнение беннеттских ЖМО с гидротермальными осадками современных действующих вулканов Камчатки. Они оказались подобными друг другу по ряду признаков и существенно отличными от гидrogenных ЖМО Тихого океана:

- 1) между оксидами железа и кремния в ЖМО о-ва Беннетта и гидротермальных осадков Камчатки установлена сильная отрицательная корреляция, чего не наблюдается для ЖМО Тихого океана;
- 2) в отличие от ЖМО Тихого океана, практически лишенных фосфора, беннеттские ЖМО содержат фосфор; его соотношение с другими компонентами полностью

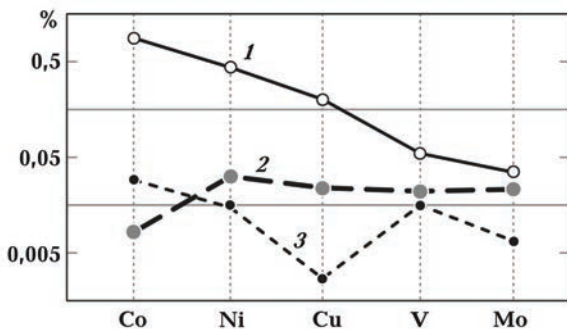


Рис. 14. Распределение малых элементов (% массы) в осадках (ЖМК) гидrogenного (1), гидротермального (2) происхождения и в ЖМК о-ва Беннетта (3).



Рис. 15. Распределение Fe–Mn–(Ni+Co+Cu) в металлоносных осадках разного генезиса океанов и морей (по данным [Bonatti et al., 1976], с добавлением наших материалов по ЖМК о-ва Беннетта).

подобно таковому для гидротермальных осадков Камчатки;

3) минеральный состав беннеттских ЖМО и гидротермальных осадков Камчатки аналогичен, характеризуется наличием тодорита, чего практически не наблюдается в ЖМО Тихого океана.

Таким образом, весь комплекс данных о минералогии и геохимии ЖМО о-ва Беннетта однозначно свидетельствует об их гидротермальном-осадочном происхождении

**6. Геологические данные о вулканизме о-ва Беннетта и прилегающих территорий.** Первые геологические сведения об о-ве Беннетта связаны с экспедицией Джорджа В. Де Лонга. От места гибели шхуны "Жаннетта", затертой льдами, экспедиция направилась к устью р. Лена и 11 июля 1881 г. случайно обнаружила остров, названный в честь издателя Г. Беннетта, финансировавшего экспедицию. Участники экспедиции пробыли на острове с 29 июля по 6 августа 1881 г. и сделали интересные и важные наблюдения, в том числе геологические. Среди последних особого внимания заслуживает упоминание В. Де Лонгом потухшего вулкана: "Оказалось, что потухший вулкан, который мы видели до высадки с правой стороны, находится, вопреки нашему предположению, не на берегу, а в трех четвертях мили от берега и в 4,5 милях от лагеря" [Де Лонг, 1936]. Доктор Амблер, выполнявший геологическое описание острова, отметил широкое раз-



витие на нем вулканических пород, образующих горизонтально залегающие покровы.

Современные представления о геологии и вулканизме острова основываются главным образом на материалах экспедиции Института геологии Арктики: в 1956 г. в течение нескольких месяцев Д. А. Вольновым и Д. С. Сороковым была выполнена геологическая съемка острова [Вольнов, Сороков, 1961; Вольнов и др., 1970]. Согласно этим данным, общая мощность вулканогенных образований острова достигает 360 м. Они состоят из двух субгоризонтально залегающих толщ, относимых к нижнему—верхнему (?) отделам мела.

В дальнейшем некоторые вопросы геологии о-ва Беннетта были пересмотрены [Драчев, 1999; Косьюко и др., 2002; Федоров и др., 2005]. В частности, подвергался ревизии возраст вулканических покровов. В соответствии с данными абсолютного возраста вулканитов о-ва Жохова, базальты о-ва Беннетта сначала были отнесены к миоцену, затем снова к мелу уже по определениям возраста самих базальтов острова [Федоров и др., 2005]. Высказывалась вероятность и более молодого возраста некоторых базальтовых вулканических форм на острове [Масуренков, Флеров, 1989]. Последний вариант геологической карты острова [Геологическое ..., 1984; Косьюко и др., 2002] с нашими добавлениями представлен на рис. 16.

Для оценки вероятности современных извержений на о-ве Беннетта или вблизи него имеют значение данные о новейших проявлениях вулканизма на прилегающих территориях Арктики и Восточной Сибири. Достоин упоминания сведение о вероятном подводном извержении на хребте Ломоносова ( $88^{\circ} 16' \text{ с. ш.}, 65^{\circ} 35' \text{ в. д.}$ ) в 1957 г., поступившее от Советской дрейфующей станции [Hantke, 1962]. Но наиболее обстоятельными являются данные о вулканах Анюйского хребта и Момского рифта (вулкан Балаган-Тас). Первые описаны Е. К. Устиевым [1959], вторые — К. Н. Рудичем [1964].

Вулкан Балаган-Тас представляет собой серию базальтовых покровов, венчающихся эффузивно-пирокластическим конусом отличной сохранности. Возраст его оценивается в 200 лет. Анюйский вулкан расположен в центральной части Южно-Анюйского хребта. Вулканический аппарат его невелик (диаметр 0,5 км, высота 0,1 км), но излившийся из него и из трещин лавовый поток покрывает дно долины реки на протяжении десятков километров. Возраст вулкана определяется как современный. Представляется существенным, что время последнего изверже-

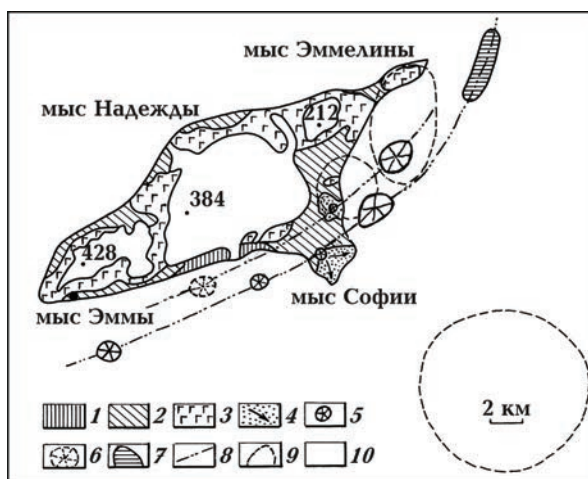


Рис. 16. Геологическое строение о-ва Беннетта, места вероятных извержений: 1 — кембрий—ордовик; 2 — мел; 3 — базальтовые покровы; 4 — базальтовые вулканы с реликтами кратеров и потоками лав; 5 — конусы подводных вулканических аппаратов; 6 — приблизительное положение "потухшего" вулкана, обнаруженного членами экспедиции Де Лонга в 1881 г.; 7 — впадина на дне акватории, по данным 1974 г., частично заполненная к 1983 г. предположительно продуктами вулканических извержений; 8 — разломы (?); 9 — места наиболее вероятного положения источников газовых шлейфов 1973—1986 гг.; 10 — ледники с отметками наивысших точек, м. Черный кружок на южном берегу острова у мыса Эммы — предполагаемое место высадки членов экспедиции Де Лонга (если их высадка состоялась на самом мысу, то место "потухшего вулкана" следует сместить несколько к западу).

ния датируется, примерно так же, как и извержение вулкана Балаган-Тас, т. е. около 1780 г.

В связи с интересующими нас событиями на о-ве Беннетта полезно упомянуть основные закономерности распределения новейших сейсмо- и вулканотектонических событий на рассматриваемой территории. В первую очередь обращает на себя внимание пояс глубинной активности, протягивающийся от подводного хребта Гаккеля через Момский рифт к Алеутской островной дуге. Это Великий Сибирский сеймовулканотектонический пояс.

По данным каталога инструментальных наблюдений NEIC (за весь период наблюдений), в окрестностях о-ва Беннетта зарегистрировано 8 событий (табл. 3, рис. 17). В каталог попали события с магнитудами более 4. Слабые землетрясения, связанные в том числе с вулканической деятельностью, в каталоге не представлены по объективным причинам (отсутствие ре-

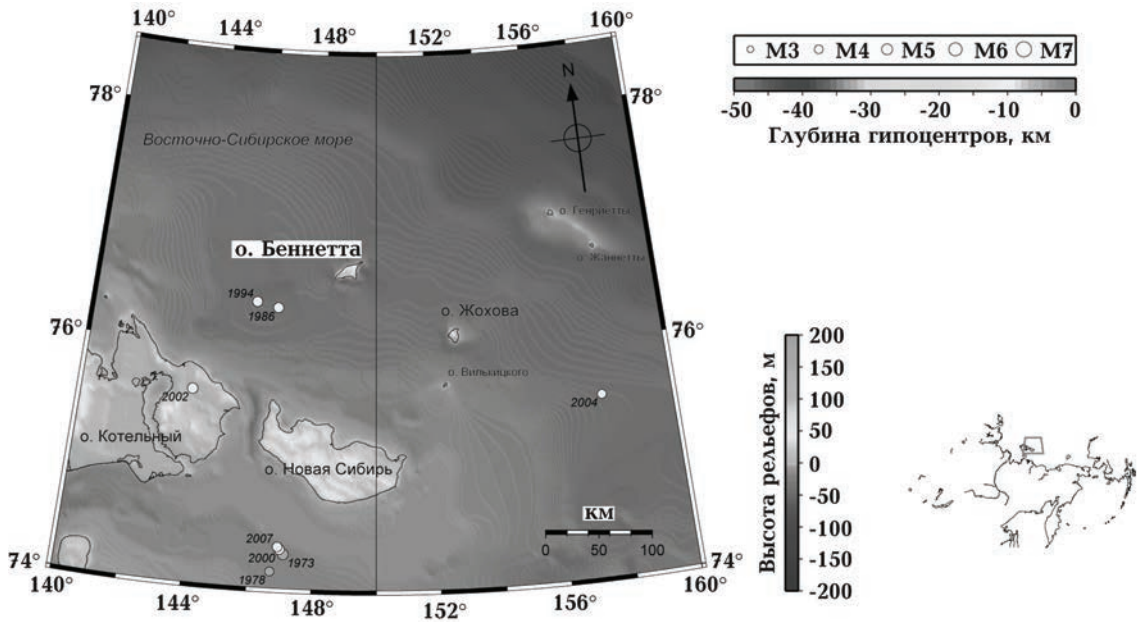


Рис. 17. Землетрясения в районе о-ва Беннетта по данным каталога NEIC за весь период инструментальных наблюдений. Эпицентры землетрясений наложены на топографическую основу (вертикальная цветовая шкала) и показаны символами, размер которых соответствует магнитуде события, а цвет — глубине очага (горизонтальная цветовая шкала).

гиональных сетей сейсмологических наблюдений).

Проявления четвертичного вулканизма известны и за его пределами. Главное из них (Анюйский вулкан) приурочено к другой системе северо-западных разломов и рифтов, протягивающейся от Новосибирских островов до Чукотского полуострова. Повышенной сейсмичностью п-ова Свард, р. Юкатан и района Большого Медвежьего озера пояс трансируется да-

лее к востоку. В его пределах известен еще один вулкан — Кукулигит на о-ве Святого Лаврентия между Чукоткой и Аляской. Сейсмичность и геология этого пояса на рассматриваемой территории изучены слабо. Значительная его часть приходится на Восточно-Сибирское море — наименее доступное из всех морей Российской Арктики. Тем не менее район Новосибирских островов в тектоническом отношении представляет особенно интересным,

**Т а б л и ц а 3. Характеристика землетрясений в районе о-ва Беннетта**

Дата	Время	Географические координаты, градусы		Глубина очага, км	Магнитуда (mb)
		широта	долгота		
12.15.1973	23 : 31 : 44	74,29	147,09	33	5,0
09.07.1978	14 : 00 : 58	74,14	146,70	33	4,2
08.05.1986	05 : 20 : 31	76,36	146,51	10	4,7
09.23.1994	02 : 11 : 37	76,40	145,75	10	4,6
07.10.2000	04 : 17 : 36	74,33	146,97	10	4,6
06.04.2002	00 : 05 : 07	75,63	143,75	10	4,8
2004.05.04	16 : 29 : 52	75,54	157,64	10	4,2
01.11.2007	01 : 59 : 46	74,35	146,90	10	4,5

так как здесь сочленяются такие крупные структуры, как хребет Ломоносова, Великий Сибирский и Новосибирский Чукотско-Аляскинский сейсмовулканотектонические пояса. Все это свидетельствует о наличии несомненных сеймотектонических предпосылок для проявления современного вулканизма в районе Новосибирских островов. Таким образом, события на о-ве Беннетта с геолого-структурных и сейсмических позиций не выглядят сколько-нибудь неестественными и неожиданными — это может быть вполне закономерным проявлением вулканического элемента глубинной активности пояса.

**7. Обсуждение результатов.** Изложенные материалы актуальны не только в связи с перспективами освоения арктических территорий с их полезными ископаемыми, но и в силу богатой предыстории региона. Возможность и вероятность подводного вулканизма у о-ва Беннетта фактически была предсказана русским промышленником и исследователем Яковом Санниковым в начале 19 в. Периодически возникавшие видения земель к северу от главных островов Новосибирского архипелага вполне могли быть время от времени появлявшимися шлаковыми и лавовыми вулканическими конусами в прилегающих к о-ву Беннетта мелководьях. Быстрое исчезновение этих конусов также объяснимо разрушением их дрейфующими ледовыми толщами. Следы и новообразования таких вулканических сооружений обнаружены нами в 1983 г. Их реальность запечатлена наблюдениями членов экспедиции В. Де Лонга и записями эхолотов (см. рис. 13 и 16), выделение гигантских газовых шлейфов — спутниковыми фотоснимками (см. рис. 1—5).

С одной стороны, природа этих газовых шлейфов расшифровывается их мощностью (не менее  $6 \cdot 10^8$  кВт) и общей энергией (не менее  $1,3 \times 10^{16}$  Дж, или  $1,3 \cdot 10^{23}$  эрг) при 6-часовом действии. Если же учесть, что некоторые подобные события продолжаются здесь в течение нескольких суток, то выделяющаяся при этом энергия должна составлять не менее  $n \cdot 10^{24}$  Дж, что соответствует среднему вулканическому извержению, при котором изливается обычно  $0,05—0,30$  км<sup>3</sup> базальтов [Гущенко, 1979]. Эти величины вполне соответствуют размерам выявленных нами подводных конусов, трактуемых как базальтовые вулканы.

С другой стороны, природа газовых шлейфов должна быть увязана с наличием здесь несомненных гидротермальных проявлений, установленных по составу ЖМК, поднятых нами

вблизи подводных конусов. Молодость конкретных, их непрерывная связь с конкрециейподобными стяжениями, свидетельствующими о современном формировании этих образований под воздействием гидротермальных растворов, указывают на высокую вероятность зарождения и функционирования газовых шлейфов в относительно высокотемпературной обстановке.

Наконец, в связи обсуждаемыми газовыми шлейфами нельзя не отметить явления истечения метановых газовых струй, почти повсеместного в акватории Северного Ледовитого океана, в том числе возле о-ва Беннетта. Правда, несмотря на впечатляющее вторжение метана в окружающую среду, еще нигде и никогда не было зафиксировано его столь мощных и концентрированных струй, притом неизвестного состава, как это наблюдается у о-ва Беннетта. Метановая "экспансия" рассеянная и в пересчете на единицу площади сравнительно с беннеттскими шлейфами крайне ничтожна. Лишь грязевые вулканы вместе с грязью выбрасывают метан локализовано и концентрировано, однако такие попытки разгрузить недра от метана по своей мощности не идут ни в какое сравнение с газовыми шлейфами о-ва Беннетта. Поэтому до получения конкретных данных о составе беннеттских газовых струй причислять их к чисто метановым преждевременно. Тем более что по сообщению Кинли (письмо директору Института вулканологии С. А. Федотову от 22 апреля 1983 г.): "... предварительные данные станции NOAA УМСС у Pt Барроу ... предполагают нарастание CO<sub>2</sub> 17 и 18 февраля" (в 1983 г., когда ветер от о-ва Беннетта и газовых шлейфов достиг о-ва Барроу. — Прим. Ю. М.), их природа иная, а именно углекислотная. Тем не менее в работе американских авторов [Dethleff, 1994] вновь обсуждается метановая гипотеза происхождения беннеттских шлейфов. При этом авторы оценивают мощность шлейфа величиной, близкой к полученной нами, но не находят источника такой энергии. Вулканическая гипотеза, по нашему мнению, вполне достойно восполняет данный пробел.

По-видимому, участия метана в беннеттских извержениях отрицать нельзя. Мощный тепловой поток, создаваемый вулканическим процессом, неизбежно должен расплавить газогидраты (а они, видимо, повсеместно находятся под дном сибирских морей) и вовлечь в извержение выделившийся из них метан. Теоретически можно предположить и явление гигантского грязевого вулкана, периодически действующего в ритмичном режиме в течение веков. Однако



это представление нуждается в фактическом обосновании, по крайней мере, в таком же объеме, как указано нами выше для подтверждения гипотезы вулканических извержений.

Изучение проблемы беннеттского феномена только начато. Между тем он относится к числу уникальных природных явлений, не имеющих прецедента. От решения этой проблемы зависит прогресс не только в области планетологических знаний, но и в освоении природных богатств Арктики. По нашему мнению, ее решение может быть успешно завершено при организации наблюдений и исследований в непосредственной близости от источника извержений. Наилучшим способом было бы создание на о-ве Беннетта постоянно действующей

станции, способной проводить непрерывные комплексные геолого-геофизические исследования в наземных и подводных условиях, как, например, на дрейфующих в Арктике метеостанциях. Март и апрель, когда погода благоприятна и ледовый покров у острова еще устойчив, комплексные геофизические и гидрохимические исследования ближайшей акватории удобно было бы проводить со льда.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы" и программы № 4 Президиума РАН.*

### Список литературы

- Вольнов Д. А., Сороков Д. С. Геологическое строение острова Беннетта / Тр. Науч.-исслед. ин-та геологии Арктики. — Ленинград: Гостоптехиздат, 1961. — Т. 123, вып. 16. — 112 с.
- Вольнов Д. А., Войцеховский В. Н., Иванов О. А. Новосибирские острова // Геология СССР. Острова Советской Арктики. Геологическое описание / Ред. Б. В. Ткаченко, Б. Х. Егизаров. — Москва: Недра, 1970. — Т. 26. — С. 324—374.
- Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Моря Советской Арктики. — Ленинград: Недра, 1984. — Т. 9. — 280 с.
- Гуценко И. И. Извержения вулканов мира (каталог). — Москва: Наука, 1979. — 475 с.
- Гуценко И. И. Цикличность извержений вулканов мира // Вулканология и сейсмология. — 1985. — № 2. — С. 27—48.
- Де Лонг. Плавание "Жаннетты". — Ленинград: Изд-во Главсевморпути, 1936. — 458 с.
- Драчев С. С. Тектоника рифтовой континентальной окраины Северо-Восточной Евразии в Арктике (моря Лаптевых и Восточно-Сибирское): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. — Москва, 1999. — 40 с.
- Косьюк М. К., Верба В. В., Кораго Е. А. Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. — Санкт-Петербург: ВНИИОкеангеология, 2002. — С. 109—120.
- Купецкий В. Н. В Арктику мы вернемся. — Магадан: Новая полиграфия, 2005. — 299 с.
- Макгональг Г. Вулканы. — Москва: Мир, 1975. — 431 с.
- Масуренков Ю. П., Флеров Г. Б. Базальты острова Беннетта в Советской Арктике // Вулканология и сейсмология. — 1989. — № 1. — С. 36—53.
- Рудич К. Н. Позднечетвертичный вулкан Балаган-Тас (северо-восток Азии) // Современный вулканизм Северо-Восточной Сибири. — Москва: Наука, 1964. — С. 3—48.
- Сигоренков Н. С. Нестабильности вращения Земли. — Москва: Наука, 2002. — 384 с.
- Устиев Е. К. Охотский вулканический пояс и некоторые связанные с ним проблемы // Сов. геология. — 1959. — № 3. — С. 3—26.
- Федоров П. И., Флеров Г. Б., Головин Д. И. Новые данные о возрасте и составе вулканических пород острова Беннетта. Восточная Арктика // Докл. Академии наук. — 2005. — 400, № 5. — С. 665—670.
- Федотов С. А. Оценка выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. — 1982. — № 4. — С. 3—28.
- Федотов С. А., Масуренков Ю. П., Кузьмин Ю. Д., Овсянников А. А., Петрова В. В., Слезин Ю. Б., Флеров Г. Б., Шувалов Р. А. Вулканическая ги-

- потеза происхождения газовых шлейфов у о. Беннетта (Советская Арктика) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Вып. 1. Вулканическая деятельность, ее механизм, связь с геодинамикой, прогноз извержений и землетрясений: Тез. докл. VI Всесоюз. вулканол. совещ. — Петропавловск-Камчатский, 1985. — С. 56—57.
- Bonatti E., Zebri M., Kay R., Rydell H. S.* Metalliferous deposits from the Apennine ophiolites: Mesozoic equivalents of modern deposits from oceanic spreading centers // Bull. Geol. Soc. Amer. — 1976. — **87**. — P. 83—94.
- CIMSS Satellite Blog. — <http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/blog/archives/622,2011>.
- Clarke J.W., Armand P.St., Matson M.* Possible Cause of Plume in the Vicinity of Bennett Island, East Siberian Sea Soviet Far Arctic: An Hypothesis. — Manuscript, 1990.
- Dethleff D.* Polynyas as a Possible Source for Enigmatic Bennett Island Atmospheric Plumes, in The Polar Oceans and Their Role in Shaping the Global Environment // Geophys. Monogr. Ser., vol. 85 / Eds O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland. — Washington: AGU, D.C., 1994. — P. 475—483. — Doi:10.1029/GM085p0475.
- Hantke G.* Übersicht über die vulkanische Tätigkeit 1957—1959 // Bull. Volc. — 1962. — **24**. — P. 342—343.
- Kienle J., Roederer J.G., Shaw G.E.* Volcanic Event in Soviet Arctic // EOS Trans. AGU. — 1983. — **64**, № 20. — 377 p.
- Matson M.* Large plume events in the Soviet Arctic // EOS Trans. AGU. — 1986. — **67**, № 49. — P. 1372. — DOI:10.1029/EO067i049p01372.
- Sparks R.S.J., Wilson L.* Explosive volcanic eruptions V: observations of plume dynamics during the 1979 Sufriere eruption. St. Vincent // Geophys. Res. R. Astr. Soc. — 1982. — **69**. — P. 551—570.