УДК 550.361+550.834

© 1995 г. СЕЛИВЕРСТОВ Н. И., СУГРОБОВ В. М., ЯНОВСКИЙ Ф. А.

О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ И РАЗВИТИИ КОМАНДОРСКОЙ КОТЛОВИНЫ (по результатам геофизических исследований)

Систематизирован фактический материал, полученный в ходе геофизических исследований на НИС «Вулканолог» в районе Командорской котловины, особенно последних рейсов, в которых на разных этапах работ принимали участие авторы статьи. Анализ материалов выполнен с учетом исследований, проведенных в данном регионе другими исследователями на НИС «Дмитрий Менделеев», «Conrad» и «Vema». Впервые на базе всех данных приведены карты аномального магнитного поля, рельефа дна, мощности осадочного чехла, теплового потока, в том числе оригинальные данные измерений теплового потока, полученные в рейсах 32 и 39 НИС «Вулканолог». Подробно рассмотрены основные структуры дна Командорской котловины, их выраженность в различных геофизических полях. Отмечена важная роль в геологическом развитии Командорской котловины структур СЗ и ССВ простираний. Сделан вывод о возможном механизме формирования котловины в результате многоэтапного развития нескольких рифтогенных центров тектономагматической активности.

ON GEOLOGICAL STRUCTURE AND DEVELOPMENT OF THE KOMANDORSKY BASIN (BASED ON RESULTS OF GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS), by Seliverstov N. I., Sugrobov V. M. and Yanovsky F. A. This paper reports some results on the systematizing the materials obtained during geophysical studies carried out from aboard the R/V «Vulkanolog» in the region of the Komandorsky Basin, particularly during its last voyages in which the authors took part. The materials obtained were analyzed together with the results of studies of the other scientists who worked in this region during the R/V «Dmitriv Mendeleev», «Conrad» and «Vema» expeditions. These diverse studies taken together provided an exceptionally comprehensive data base for construction of maps of abnormal magnetic field, bottom topography, sedimentary cover thickness and heat flow including original heat flow measurement data obtained in cruises 32 and 39 of the R/V «Vulkanolog». Detail description is given of the main bottom structures of the Komandorsky Basin and their display in various geophysical fields. An important role is marked of the NW and NNEtrending structures in the geological development of the Komandorsky Basin. The possible mechanism of the formation of this basin is suggested. It is inferred that the basin was generated as a result of multi-stage development of several rift centers of tectonomagmatic activity. This study was supported by the Russian Foundation of Fundamental Investigations (Project No. 93-05-8243).

(Received December 1, 1993)

Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Командорская котловина — одна из трех глубоководных котловин Берингова моря. От двух других котловин — Алеутской и Бауэрс — она отличается незначительной мощностью осадочного чехла и высокими значениями теплового потока, что рассматривается как свидетельство ее относительно молодого возраста. Результаты глубоководного бурения показали, что осадочный чехол котловины сформирован в плиоцен-плейстоцене, а подстилающие вулканические породы фундамента имеют возраст ~ 10 млн. лет, что соответствует верхнему миоцену [32, 36—38]. Исследования методом глубинного сейсмического



Рис. 1. Батиметрическая карта Командорской котловины и зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг, 1, 2 — соответственно основные и дополнительные изобаты, м; 3 — скважины глубоководного бурения [30]; 4 — экстремальные значения глубин, м; 5 обозначения форм рельефа дна, связанных с основными морфоструктурами района (буквы и цифры в кружках); A — Алеутский глубоководный желоб, B — Курило-Камчатский глубоководный желоб, С — Командорский блок Алеутской островной гряды, D — подводный хребет Ширшова; 1—7 — отрицательные формы рельефа, обусловленные современной тектоникой; 1—3 — крупные впадины: 1 — Камчатского залива, 2 — Стеллера, 3 — Камчатского пролива; 4—6 — некомпенсированные осадконакоплением троги (дуплексы растяжения) разлома Беринга; 7 — грабен Командор; 8—22 — положительные формы рельефа: 8 — массив Вулканологов, 9 — поднятие Южнокомандорское, 10—15 — серия поднятий, связанная с разломо Альфа, 16—18 — поднятие Бета, 19—22 — положительные формы рельефа, трассирующие разломы Гамма (19, 20) и Дельта (21, 22)

зондирования (ГСЗ) позволили установить океаническое строение земной коры Командорской котловины [27, 30, 39].

В течение последних 25 лет на акватории Командорской котловины проведены разнообразные морские геофизические исследования. Значительный объем работ выполнен американскими исследователями в рейсах НИС «Vema» и «Conrad» в 1965, 1967 и 1971 гг. [34, 35]. Изучение структуры осадочного чехла и акустического фундамента выполнялось в этих рейсах методом одноканального непрерывного сейсмоакустического профилирования. Максимальный объем геофизических исследований в Командорской котловине выполнен Институтом вулканологии ДВО РАН в нескольких рейсах НИС «Вулканолог» в период с 1977 по 1991 гг. [16—20]. Кроме промера глубин, одноканального сейсмопрофилирования и гидромагнитной съемки в этих рейсах выполнено оольшое число измерений харак-, теристик теплового потока [2, 10, 23, 24]. Результаты измерений теплового потока в последних из них в этом регионе публикуются впервые. Следует отметить геофизические исследования, проведенные в различное время ИМГиГ ДВО РАН и ИО РАН в рейсах НИС «Пегас» и «Дмитрий Менделеев» [3, 11, 14]. В период с 1980 по 1988 г. в Командорской котловине силами Полярной и Северо-Тихоокеанской геологоразведочной экспедиций ПГО Севморгеология отработана региональная сеть профилей МОВ ОГТ [8]. В настоящей работе систематизирован фактический материал предыдущих исследований и прежде всего полученный в рейсах НИС «Вулканолог».

Рельеф и основные морфоструктуры дна. На рис. 1 представлена батиметрическая карта Командорской котловины и ее обрамления. Кроме основных изолиний с сечением 500 м для пологих участков дна Командорской котловины проведены также дополнительные изолинии с сечением 100 м. Кратко остановимся на характеристике основных морфоструктур Командорской котловины, отраженных на представленной батиметрической карте.

Сюга Командорская котловина ограничена крупным линеаментом северо-западного простирания, отделяющим котловину от структур западного окончания Алеутской гряды (Командорского блока). Этот линеамент отчетливо выражен в рельефе дна на всем своем протяжении. На юго-востоке он начинается трогом Креста, затем прослеживается в северо-западном направлении вдоль основания беринговоморского склона Командорского блока, далее в этом же направлении сменяется глубоким трогом, а на акватории Камчатского пролива — уступом, и заканчивается уступом на северном склоне подводного продолжения мыса Африка. Впервые этот линеамент выделен по результатам геофизических исследований 12-го рейса НИС «Вулканолог» [16] как сейсмически активный литосферный разлом (разлом Беринга), являющийся одним из правосторонних сдвигов западного окончания Алеутской дуги. С этой структурой пространственно связаны гипоцентры многих сильных землетрясений, в частности землетрясений 1964 и 1988 гг. с магнитудами 7,5 и 7,1 соответственно. Механизмы очагов сильных землетрясений указывают на правосторонний характер движений по этому разлому [5,6].

Севернее разлома Беринга, на расстоянии 60-70 км от него в пределах Командорской котловины по геофизическим данным выявлен еще один линеамент северо-западного простирания — разлом Альфа [19, 20]. Этот линеамент простирается субпараллельно разлому Беринга и прослеживается от п-ова Озерной на Камчатке до южного окончания хребта Ширшова. Наиболее ярко в рельефе дна выражена СЗ часть линеамента, ответвляющаяся от п-ова Озерной в виде узкого поднятия протяженностью ~ 100 км. Далее, в юго-восточном направлении разлом Альфа прерывисто прослеживается в рельефе дна узкими кулисно надстраивающими друг друга поднятиями с перепадами глубин от первых до нескольких сот метров. Юго-восточное окончание линеамента в рельефе дна не прослеживается. Выраженность разлома Альфа в рельефе дна и структуре верхней части осадочного разреза рассматривается авторами как указание на новейшую тектоническую активность этого линеамента в пределах его северо-западной части. К СЗ окончанию разлома Альфа пространственно приурочены гипоцентры некоторых сильных землетрясений. В частности, гипоцентр Озерновского землетрясения 1969 г. с магнитудой 7,7 пространственно совпадает с СЗ окончанием этого разлома, а одна из возможных нодальных плоскостей в очаге этого землетрясения совпадает с простиранием разлома, указывая при этом на реализацию правостороннего смещения [6].

К северо-востоку от о. Беринга между разломами Беринга и Альфа выявлена крупная вулкано-тектоническая структура, состоящая из грабена (грабен Командор) и вулканического массива (массив Вулканологов) [18, 19]. Грабен Командор

контролируется системой сбросов субмеридионального и северо-северо-восточного простираний. В рельефе дна отчетливо выражена северная часть грабена, представленная опущенным центральным блоком и вздернутыми крыльями. Прогибание в грабене не компенсировано осадконакоплением, причем перепад глубин относительно прилегающих участков Командорской котловины достигает 500 м. Максимальные глубины отмечены в северной части грабена, где они превышают 4300 м. На южную часть центрального блока и частично на крылья грабена наложен вулканический массив. В пределах массива выявлены крупные вулканические постройки (вулкан Пийпа) и многочисленные экструзии или небольшие конусы. Минимальная глубина в пределах массива отмечена для северной вершины вулкана Пийпа (345 м). Вулканические породы в пределах массива слагают поверхность дна до глубин 3500-3700 м, а в отдельных местах на северном склоне обнаруживаются и на больших глубинах (до 4200 м). Судя по имеющимся данным, массив Вулканологов — молодое вулканическое сооружение, в пределах которого отмечены признаки современной вулканической активности [20]. В результате наблюдений, проведенных в 22-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» с применением глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» на Северной вершине вулкана Пийпа обнаружены высокотемпературные источники и связанные с ними минеральные образования в виде сульфатных труб. а также многочисленные признаки просачиваний в виде муаров и бактериальных матов [15]. Кроме того, на Южной вершине обнаружены низкотемпературные гидротермы и связанные с ними карбонатные минеральные образования.

В юго-восточном направлении от массива Вулканологов в рельефе дна прослеживается цепочка куполообразных поднятий высотой первые сотни метров, совокупность которых образует вытянутую по простиранию дуги линейную зону, ограниченную изобатой 3900 м. В структурном плане эта зона соответствует сводовой части поднятия акустического фундамента (поднятие Южнокомандорское), заключенного между разломами Беринга и Альфа (рис. 2). Грабен Командор и массив Вулканологов являются структурами, наложенными на указанное поднятие.

В западной части Командорской котловины в 20—25 км к северу от западного окончания разлома Альфа в рельефе дна прослеживается еще одна структура северо-западного (алеутского) направления — поднятие Бета. Простирание этой структуры наиболее отчетливо подчеркивается изобатами 3200—3300 м. Поднятие Бета представляет собой небольшой хребет, по-видимому, вулканического происхождения, генетически связанного с формированием вулканического фундамента котловины. Линейность этой структуры указывает на тектонический контроль при ее формировании.

В центральной части Командорской котловины по геофизическим данным выявлены признаки существования еще одного транскомандорского линеамента СЗ простирания, следующего субпараллельно разломам Беринга и Альфа на расстоянии 140-170 км от последнего. Этот линеамент, названный разломом Гамма, прослеживается в виде отдельных фрагментов в геофизических полях от южного окончания о-ва Карагинский до привершинной части хребта Ширшова. Наиболее выражены в геофизических полях (структуре акустического фундамента и аномальном магнитном поле) северо-западная и юго-восточная части этого линеамента. Последняя в рельефе дна достаточно хорошо выделяется серней подводных вершин (северо-восточнее скважины 191), образующих цепочку северо-западного простирания. В пределах западного склона хребта Ширшова юговосточная ветвь линеамента Гамма представлена серией крупных уступов СЗ простирания. В оперении юго-восточной ветяй линеамента Гамма выявлены морфологические признаки, характерные для левосторонних смещений по разломам субширотного простирания, при этом величина смещений оценивается первыми десятками километров. Северо-западная часть линсамента Гамма в отличие от юго-восточной в рельефе лна сочи не выражена. К особенностям рельефа, связанным с этой ветвые линеамонов, можно отнести крупный каньон, расчленя-



Рис. 2. Схема мощности осадков Командорской котловины и ее подводного обрамления. *I* — изобаты, м; 2 — изопахиты, км; 3, 4 — крупнейшие разрывные нарушения: 3 — глубоководные желоба, 4 — разломы Стелера, Беринга, Альфа, Гамма и Дельта (соответственно с юго-запада на северо-восток); 5 — скважины глубоководного бурения

ющий склон и шельф на широте южной части о-ва Карагинский, а также отдельную возвышенность в окрестностях точки с координатами 58° с. ш., 166° в. д.

Структура осадочного чехла и акустического фундамента. На рис. 2 представлена схема мошности осадков Командорской котловины с элементами новейшей тектоники, построенная по данным сейсмоакустического профилирования с учетом выполненных здесь исследований методом отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ ОГТ). На схеме приведены также результаты некоторых разрывных нарушений, проведенной по классификации геофизическим данным с использованием парагенетического метода структурного анализа дизъюнктивов [12]. На большей части Командорской котловины дно очень плоское, поэтому изопахиты осадочного чехла дают одновременно представление и о рельефе акустического фундамента. Прежде всего отметим, что все описанные выше линеаменты СЗ простирания отчетливо отразились в структуре осадочного чехла и рельефе фундамента. Разлом Беринга, ограничивающий с юга Командорскую котловину, в структуре осадочного чехла выражен по простиранию различно. Его СЗ часть, соответствующая глубокому трогу и уступу в рельефе дна, характеризуется линейной зоной понижений мощности осадков. Далее на ЮВ этот разлом прослеживается зоной деформации осадков у основания

беринговоморского склона Командорских островов, где мощность осадков резко увеличивается. Линеамент Альфа почти на всей протяженности представлен выступами акустического фундамента с уменьшенной мощностью осадков. При этом в структуре осадочного чехла линеамент Альфа отчетливо прослеживается и на тех участках, где в рельефе дна выражен слабо или вообще не отмечен. Аналогичным образом в структуре осадочного чехла и рельефе фундамента отчетливо прослеживается северо-западная ветвь линеамента Гамма, которая почти не выделяется в рельефе дна. Юго-восточная часть этого линеамента в рельефе фундамента менее различима.

В северной части Командорской котловины на расстоянии 120—130 км от линеамента Гамма в рельефе акустического фундамента намечается еще один линеамент СЗ простирания — линеамент Дельта. В рельефе дна выражено лишь юго-восточное окончание этого линеамента, расчленяющего структуру хребта Ширшова глубокими долинами СЗ простирания.

Как отмечено выше, для большей части акватории Командорской котловины характерен плоский выравненный рельеф дна, что обусловлено интенсивным терригенным сносом с прилегающих участков суши. Рельеф акустического фундамента в отличие от рельефа дна имеет более сложное строение. На фоне обширных поднятий и прогибов акустического фундамента по сейсмическим данным здесь можно выделить множество более мелких блоков, часто ограниченных сбросовыми уступами. Для изученных участков котловины установлено, что блоки акустического фундамента, слагающие поднятия, имеют, как правило, преобладающие субмеридиональное и северо-северо-восточное простирания, в то время как сами поднятия и сопряженные с ними прогибы вытянуты в северо-западном направлении. Необходимо отметить, что субмеридиональное простирание блоков характерно также для западного склона хребта Ширшова, при этом в структуре склона отчетливо проявилось влияние рассмотренных выше линеаментов северо-западного простирания.

Структура аномального магнитного поля. На рис. 3 представлена схема аномального магнитного поля ΔT_a Командорской котловины и ее обрамления. Для акватории Командорской котловины южнее 58°30′ с. ш. схема построена по результатам гидромагнитных съемок, проведенных в рейсах НИС «Вулканолог» (рейсы 12, 21, 26, 28, 32, 35 и 38). Для участков Командорской котловины севернее 58°30′ с. ш., а также для северной части хребта Ширшова и западного обрамления Командорской котловины (включая участки суши) при составлении схемы использованы данные аэромагнитной съемки, выполненной в 1975 г. Полярной экспедицией ПО Севморгеология [13]. Для возможности пространственного сопоставления аномальных зон магнитного поля и теплового потока на схему нанесены изолинии значений теплового потока в соответствии с представленными на рис. 4.

В структуре аномального магнитного поля достаточно ярко отражены изложенные в предыдущих разделах особенности строения Командорской котловины.

Ограничивающий с юга Командорскую котловину разлом Беринга в аномальном поле ΔT_a представлен линейной зоной высоких градиентов поля. Зона интенсивных положительных аномалий северо-западного окончания Командорского блока прослеживается через Камчатский пролив и включает в себя интенсивные положительные аномалии восточной части п-ова Камчатский мыс (мыс Африка и его подводное продолжение). На акватории Камчатского пролива эта аномальная зона имеет коленообразный изгиб. Юго-восточному окончанию Командорского блока также соответствует зона положительных аномалий интенсивностью до нескольких сот нТ.

Линеамент Альфа представлен линейной зоной положительных аномалий. Эта аномальная зона прослеживается в направлении СЗ—ЮВ от склона п-ова Озерной до южного окончания хребта Ширшова. Интенсивность аномалий достигает 300 нТ в пределах СЗ ветяч аномальной зоны (западнее 166° в. д.) и 140—150 нТ —



Рис. 3. Схема аномального магнитного поля ΔT_a Командорской котловины и ее обрамления: l — изобаты, м; 2-4 — изолинии аномального магнитного поля ΔT_a (±100 нT), значения поля: 2 — нулевое, 3 — положительные, 4 — отрицательные; 5 — скважины глубоководного бурения

для ЮВ ее ветви. Южный блок Командорской котловины, заключенный между разломом Беринга и линеаментом Альфа, по характеру аномального поля можно разделить на два участка: северо-западный и юго-восточный. Северо-западный участок (западнее 166° в. д.) харак теризуется спокойным аномальным магнитным полем и значениями ΔT_a , близкими к нулю или слабоотрицательными. Зоны высоких градиентов появляются здесь лишь по мере приближения к ограничивающим линеаментам. Второй участок — юго-восточный, находящийся в тылу Командорского блока, характеризуется весьма своеобразной структурой аномального поля. Здесь отчетливо выражена система положительных аномалий СВ простирания, поперечных простиранию линеамента Альфа и ответвляющихся от аномальной зоны, связанной с этим линеаментом. К основанию беринговоморского блока приурочена зона отрицательных аномалий, интенсивность которых часто превышает 500 нТ. От этой зоны в СВ направлении ответвляются узкие отрицательные аномалии. В целом картина аномального магнитного поля в тылу Командорского блока Алеутской дуги представлена чередованием положительных и отрицательных аномалий СВ простирания, заключенных между аномальными северо-запалного зонами простирания (связанных с разломом Беринга и линеаментом Альфа).



Рис. 4. Схематическая карта теплового потока Командорской котловины: 1 — пункты измерения теплового потока и его значения, мВт/м²; 2 — изолинии теплового потока, мВт/м²; 3 — изобаты, м

Линеамент Гамма, пересекающий центральную часть Командорской котловины в направлении C3—ЮВ от южной части о-ва Карагинский до хребта Ширшова, в аномальном магнитном поле выражен различным образом. Его C3 ветвь представлена положительной аномалией интенсивностью более 100 нТ, вытянутой в C3 направлении. Аналогичным образом выражена и ЮВ ветвь этого линеамента, хотя интенсивность соответствующей аномалии выше. Скважина 191 глубоководного бурения расположена несколько юго-западнее этой аномалии. В центральной части котловины линеамент Гамма пересекается аномалиями ССВ простирания и в структуре аномального поля почти не прослеживается. Более того, аномальные зоны, соответствующие его C3 и ЮВ ветвям, по мере приближения к центру котловины изгибаются к северу.

В северной части Командорской котловины отчетливо выражена еще одна зона положительных аномалий, протягивающаяся от склона Камчатки (восточнее северо-восточного окончания о-ва Карагинский) до хребта Ширшова в направлении близком к СЗ—ЮВ. Эта аномальная зона связана с линеаментом Дельта. Интенсивность положительных аномалий, составляющих указанную зону, часто превышает 500 нТ. Возможное продолжение данной зоны в пределах хребта Ширшова, к сожалению, пока не изучено. Общее простирание указанной аномальной зоны близко к северо-западному, но отдельные ее фрагменты имеют иную ориентировку. Как бы повторяя аномальную зону линеамента Гамма, данная зона положительных аномалий несколько смещается к северу на центральном участке, однако в отличие от линеамента Гамма отчетливо выражена в центральной своей части интенсивной аномалией, вытянутой в СЗ направлении.

Аномальные зоны СЗ простирания соответствуют, по-видимому, структурам, играющим первостепенную роль в тектонике Командорской котловины. В аномальном магнитном поле ярко выражен еще один структурный план. Это аномалии, вытянутые в ССВ и СВ направлении. Выше приведено описание данных аномалий в тылу Командорского блока Алеутской гряды, южнее линеамента Альфа. Еще более ярко знакопеременные линейные аномалии ССВ простирания проявились в западной части Командорской котловины, на участке между линеаментами Альфа и Гамма. Для многих участков здесь устанавливаются признаки симметричного расположения аномалий относительно осей ССВ простирания. Существует также ось, имеющая ССВ простирание, относительно которой выявляются признаки симметрии не только для некоторых аномалий ССВ простирания, но и для аномалий, соответствующих ветвям линеаментов Гамма и Дельта. Эта ось проходит несколько восточнее линии, соединяющей точки 59° с. ш., 168° в. д. и 57° с. ш., 166° в. д., при этом расстояние от упомянутой оси до склона Камчатки заметно меньше, чем до хребта Ширшова. Между линеаментами Альфа и Гамма можно выделить несколько сравнительно небольших аномальных зон с признаками симметрии относительно осей ССВ простирания. На рис. 3 указано положение осей некоторых из таких зон, соответствующих, по мнению авторов, рифтогенным центрам тектоно-магматической активности различных этапов развития Командорской котловины.

Участок Командорской котловины, заключенный между линеаментами Гамма и Дельта, отличается по структуре аномального поля от более южных участков. Западная часть этого участка (прилегающая к склону Камчатки у о-ва Карагинский) характеризуется сравнительно спокойным аномальным полем. Центральная часть участка осложнена аномальной зоной ССВ простирания, протягивающейся из более южных участков. С приближением к хребту Ширшова в структуре аномального поля между ЮВ ветвями линеаментов Гамма и Дельта появляются аномалии субмеридионального простирания, характерного для блоков, слагающих хребет Ширшова.

Характер аномального магнитного поля Командорской котловины дает основания предполагать существование здесь знакопеременных линейных аномалий, связанных с задуговым спредингом [21]. Однако недостаток геологических данных о возрасте пород фундамента в пределах различных аномальных зон не позволяет провести уверенную идентификацию магнитных аномалий и реконструкцию процес-, са фермирования этого задугового бассейна. С учетом данных по тепловому потоку можно полагать, что этот процесс существенно отличается от классических молелей задугового спрединга с единственным центром разрастания дна и попытки идентификации магнитных аномалий по таким упрощенным моделям здесь вряд ли применимы. Одна из таких попыток предпринята в работе [1], где магнитные аномалии Командорской котловины отнесены к аномалиям 5-6 по шкале У. Харленда. Авторы настоящей работы рассматривают изложенные в работе [1] результаты идентификации как один из возможных, но не единственный и, по-видимому, не самый удачный вариант интерпретации. Положенные в основу расчетов допущения о положении предполагаемых центров спрединга, как и априорное принятие весьма упрощенной модели разрастания дна в этих центрах, представляются недостаточно убедительными. Не нашло удовлетворительного объяснения несоответствие в расположении предполагаемых палеоцентров спрединга и аномалий теплового потока. При отсутствии дополнительных геологических данных о возрасте пород фундамента котловины более обоснованные варианты идентификации, повидимому, могут быть предложены при полном учете всех особенностей геофизических полей, прежде всего — геотермического.

Южный сектор при значительной его протяженности имеет сравнительно небольшую ширину, поэтому мало вероятно, что процесс разрастания дна здесь был связан с одним центром спрединга. По-видимому, этот процесс вызван развитием нескольких зон растяжения, рассредоточенных по простиранию сектора, в пределах которых неоднократно и унаследованно активизировались тектонические движения и магматические проявления. Возникшая при этом картина магнитных аномалий была обусловлена не скоростью спрединга и периодичностью инверсий магнитного поля, а пространственными закономерностями в заложении и развитии структур растяжения. Здесь уместно отметить, что южный сектор Командорской котловины, по мнению авторов, генетически тесно связан с котловиной Бауэрс, и, по-видимому, с момента заложения западного участка Алеутской дуги они развивались как единый задуговой бассейн. При этом предполагается, что компенсация процессов разрастания дна этого бассейна на востоке происходила за счет надвигания структуры хребта Бауарс на более древние структуры Алеутской котловины, а на западе --- за счет частичного поддвига и аккреции в пределах континентального склона Камчатки. Хотя эта точка зрения и разделяется в настоящее время некоторыми исследователями [1], для ее обоснования в качестве рабочей гипотезы необходимо проведение дополнительных reoлого-геофизических исследований в юго-восточной части Командорской котловины и котловине Бауэрс.

Характеристика поля теплового потока. К настоящему времени в Командорской котловине тепловой поток измерен на 86 станциях (рис. 4). Кроме того, 18 определений теплового потока выполнено на континентальных склонах южной части Корякского нагорья, хребта Ширшова и у южной границы разлома Беринга. Большинство измерений выполнено в рейсах 2, 12, 18, 26, 32 и 39 НИС «Вулканолог» [2, 9, 23, 24]; 14 измерений выполнено в рейсах 29 и 42 НИС «Дмитрий Менделеев» [25, 29]; 3 измерения — в рейсе 21 НИС «Vema» и 5 измерений в рейсе 14 НИС «Сопгад» [33, 40]. В таблице приведены неопубликованные ранее результаты измерений теплового потока в рейсах 32 и 39 НИС «Вулканолог».

Поле теплового потока в Командорской котловине характеризуется, резкой пространственной неоднородностью и изменяется от относительно низких значений (53 мВт/м²) до аномально высоких (232 мВт/м²). Средний тепловой поток в глубоководной части котловины, ограниченной изобатой 3000 м и разломом Беринга на юге, оценивается величиной 131 ± 38 мВт/м² (число измерений N = 86). Если в расчете использовать значения теплового потока на континентальном склоне Корякского нагорья, в западной части хребта Ширшова и значения, примыкающие с юга к разлому Беринга, то средняя величина будет равна $126 \pm 39 \text{ мBr/m}^2$ (N = 98). Заметим, что величина среднего теплового потока в Командорской котловине мало отличается (до 10 мВт/м²) от оценок, сделанных ранее по значительно меньшему числу станций [23, 24]. Высокая дисперсия значений теплового потока относительно средней величины при коэффициенте вариации, в 3 раза превышающем инструментальную погрешность измерений (10%), формально обосновывает наличие аномальных участков в структуре поля теплового потока котловины. Для пространственной локализации аномальных участков построена схема теплового потока в изолиниях (рис. 4). Так как каждый из авторов в силу субъективных причин может построить «свою» схему, в той или иной степени отличающуюся от «другой», особенно в зонах аномалий, то сделана попытка построить схему одним из так называемых «объективных» математических методов. На рис. 4 представлен вариант построения карты в изолиниях методом сетей. При этом оценка значений в узлах регулярной сети определялась как средневзвешенная величина по некоторому количеству близлежащих измеренных значений с помощью процедуры крайкинга [4]. Эта процедура, по-видимому, является наиболее оптимальной для определения значений в узлах регулярной сети при интерполяции геологических данных, так как для каждого узла сети рассчитывает отдельную комбинацию весовых функций для близлежащих контрольных точек, основанную на минимальной ошибке оценивания. На

Результаты и	змерения	теплового	потока	(32-й	# 39-ň	рейсы	нис	«Вулканолог»)
--------------	----------	-----------	--------	-------	--------	-------	-----	---------------

Номер станции	Координаты		Entre Do	Геотерми-	Теплопро-	Тепловой
	с, ш.	в. д.	эхолоту, м	градиент, град/м	водность, Вт/(м∙град)	поток, мВт/м ²
B22 TT1	58024 71	165 08 2/	2560	0.154	0.94 #	120
B32-11	58902 4/	164950 5/	3535	0,134	0,84	145
B32-12	579511/	164 39,3	3333	0,175	0,84	143
B32-13	57-51,1	104-20,1	3235	0,198	0,84 -	107
B32-14	57°38,4′	164°51,1′	3410	0,208	0,84 *	175
B32-T5	57°31,9′	164°16,3′	3150	0,186	0,84 *	157
B32-T6	57°24,9′	164°13,9′	3150	0,159	0,84 *	133
B32-T7	57°06,4′	164°05,5′	2695	0,110	0,84 *	92
B32-T8	56°52,4′	163°58,9′	3025	0,080	0,84 •	67
B32-T9	57°09,8′	167°45,8′	3830	> 0,154	0,84 *	>130 **
B32-T10	57°03,7′	167°18,5′	3820	0,175	0,84 *	147
B32-T11	56°48,8′	167°02,6′	3810	0,173	0,84 *	145
B32-T12	56°58,4′	166°27,4′	3720	0,193	0,84 *	162
B32-T13	57°06,8′	165°53,9′	3600	0,207	0,84 *	173
B32-T14	57°18,7′	165°18,6′	3520	0,210	0,84 *	176
B32-T15	57°31,7′	165°34,0′	3570	0,190	0,84 *	160
B32-T16	57°21,3′	166°07,0′	3680	0,170	0,84 *	143
B32-T17	57°34,9′	166°29,2′	3670	0,166	0,84 *	140
B39-T2	56°40,5′	164°27,8′	3540	0,133	0,89	119
B39-T4	57°07,2′	164°37,6′	3240	0,190	0,76	>144
B39-T5	57°26,1′	164°44.0′	3255	0.180	0.84 *	151
B39-T6	57°32,1′	164°46,1'	3390	0.243	0.84 *	204
B39-T7	57°10.9′	165°02.9′	3310	> 0.136	0.84 *	>114 **
B39-T10	56°44,7′	165°12,7′	3460	0,141	0,84 •	118

• Значение средней теплопроводности для верхней части донных осадков в Командорской котловине.

** Запись неполная, заклинило регистратор.

рис. 4 показан окончательный вариант схемы, построенной с помощью пакета программ SURFER на IBM-386 при взвешивании по 16 близлежащим измеренным значениям. Заметим, что данная схема отличается от схемы при взвешивании по трем точкам только степенью сглаженности изолиний, хотя и требует значительно большего машинного времени для расчета. Отсутствие станций измерения на севере и северо-западе Командорской котловины компенсировалось в расчете заданием величины 63 мВт/м² для прилегающих континентальных структур на основании определения теплового потока на юге одновозрастных структур Корякско-Западно-Камчатской тектонической зоны [26]. Изолинии в этой части котловины показаны как предполагаемые. Сравнение предлагаемой схемы со схемой, построенной одним из авторов при ручной интерполяции без учета шести измерений в 39-м рейсе НИС «Вулканолог» [29], показывает хорошее совпадение по характеру общей структуры поля теплового потока, но несколько отличается по взаимному расположению изолиний и по форме отдельных аномалий. Таким образом, схемы теплового потока в изолиниях можно успешно строить на ЭВМ при достаточно большом количестве пунктов измерений, по крайней мере для относительно однородных геологических структур, какой является Командорская котловина.

Анализ схемы теплового потока показывает, что почти вся площадь Командорской котловины может быть «оконтурена» изолинией 75—80 мВт/м² при довольно интенсивном росте величины теплового потока от периферии к центру. Относительно спокойный характер поля в центральной части котловины при высокой средней величине теплового потока $136 \pm 17 \text{ мBr/m}^2$ (N = 20 в секторе $57 \pm 1^{\circ}$ с. ш., $167 \pm 1^{\circ}$ в. д.) осложняется наличием зон очень высокого теплового потока в западной и южной частях котловины, оконтуренных на схеме изолиниями 150-175 мВт/м². Аномалия на западе котловины, расположенная между глубинными разломами Алеутского простирания Гамма и Альфа (рис. 2 и 4), связывается с областью недавнего (современного ?) рифтогенеза субмеридионального (Камчатского) простирания [24, 29]. Тепловой поток здесь изменяется от 53 до 204 мBT/ M^2 при средней величине 147 + 49 мBT/ M^2 (N = 17). Очень высокие значения теплового потока при очень большой дисперсии значений на относительно небольшой площади — характерная черта областей современных рифтов [31]. Если отбросить три низких значения (53, 54 и 54 мВт/м²), то получим среднюю величину теплового потока в этой аномальной зоне 167 ± 22 мBt/м² (N = 14). Для всей зоны, расположенной между разломами Альфа и Гамма, средняя величина теплового потока $135 \pm 37 \text{ мBt/m}^2$ (N = 41). Можно наметить здесь две оси высокого теплового потока. Одна — субмеридиональная (Камчатского направления), другая имеет северо-западное (Алеутское) направление и проходит в центре зоны.

Аномалии на юге, юго-западе котловины, расположенные между глубинными разломами Альфа и Беринга (рис. 2 и 4), примыкают с юго-востока и северо-запада к области молодого вулканизма (массив Вулканологов), где измерения теплового потока по техническим причинам не проведены (возможно, глубинный тепловой поток здесь характеризуется единой аномалией северо-западного простирания). На юге котловины отмечаются наиболее высокие значения теплового потока (до 223-232 мВт/м²) при относительно небольшой дисперсии в зонах аномалий. В сегменте между разломами Альфа и Беринга величина среднего теплового потока и среднеквадратичное отклонение равны $131 \pm 38 \text{ MBT/M}^2$ (N = 39). Это в точности соответствует аналогичным величинам для Командорской котловины в целом, хотя средняя плотность станций измерения на единицу площади в последней в 2 раза ниже. Я. Б. Смирнов показал, что законы распределения теплового потока для однородных выборок, выраженные через среднее значение распределения и стандартное отклонение, отражают особенности энергетического развития разных тектонических областей Земли [22]. С этих позиций можно считать, что южный сегмент Командорской котловины, расположенный между глубинными разломами Альфа и Беринга, прошел те же этапы тектономагматической активизации. что и котловина в целом.

Сложный характер теплового поля Командорской котловины свидетельствует о длительности процессов тектономагматической деятельности и неоднократном наложении разновременных периодов активизации. Наблюдаемое распределение теплового потока проинтерпретировано авторами в первом приближении по методике, основанной на том, что глубинный тепловой поток в активных областях представляет собой суммарный эффект нескольких источников энергии: распада радиоактивных элементов в литосфере, тепла неактивизированной мантии (остаточного тепла ранних стадий активизации) и тепла возмущающих объектов, связанных с тектонической и магматической деятельностью [28]. Так как наблюдаемый тепловой поток отличается от глубинного за счет действия приповерхностных искажающих факторов, предварительно в измеренные значения вводили соответствующие поправки. Ранее показано [2, 24], что для большей части Командорской котловины искажения глубинного теплового потока структурно-гео-

логическими неоднородностями, как правило, не превышают единиц процентов, а поправка за счет осадконакопления составляет 15—20%. После вычитания фоновой составляющей аномальный нестационарный тепловой поток в центре котловины оценивается величиной 110 мВт/м², в зонах максимумов 150—220 мВт/м², на флангах котловины 50—70 мВт/м². Количественная интерпретация нестационарных аномалий теплового потока базировалась на автоматизированном подборе параметров возмущающих объектов с использованием программы «TEPLO» [7,28].

Результаты подбора показали хорошее соответствие теоретического поля аномальному при аппроксимации возмущающих тел тепловыми источниками с избыточной температурой на поверхности 700-800° С, подъем которых до глубин 8-12 км происходил в течение нескольких этапов тектономагматической активизации. Первый этап мог происходить от нижнего палеогена до нижнего миоцена почти на всей площади Командорской котловины, о чем свидетельствует положение изолиний теплового потока 75-80 мВт/м². Второй этап происходил в верхнемиоценовое время, а тепловые источники, соответствующие подъему зон частичного плавления вещества верхней мантии в это время, располагались в пределах изолиний теплового потока 125-130 мВт/м². Третий этап начался не позднее раннего плиоцена и, возможно, с перерывами продолжается до настоящего времени. Тепловые источники этого возраста располагались в пределах аномалий очень высокого теплового потока, оконтуренных на схеме (рис. 4) изолиниями 150—175 мВт/м². Кровля геотермической астеносферы по расчетам располагается на глубинах от 40 км на периферии Командорской котловины до 12-15 км в областях максимумов теплового потока, а температура на поверхности Мохо изменяется соответственно от 300 до 1000° С.

Интерпретация аномального поля теплового потока Командорской котловины при использовании термической модели, основанной на существовании здесь нескольких центров задугового спрединга [10], показывает почти те же этапы магматической активизации, что и приведенная модель. Такое совпадение объясняется тем, что в этих разных термических моделях распределение теплового потока связывается в основном с положением кровли астеносферного слоя в течение геологической истории развития Командорской котловины. Таким образом, геотермические данные свидетельствуют о длительной тектономагматической деятельности в пределах Командорской котловины (не менее 40 млн. лет) при неоднократном наложении разновозрастных периодов активизации.

Выводы. В рельефе дна, структуре осадочного чехла и аномальном магнитном поле в Командорской котловине отчетливо выражены два структурных плана: северо-западный и северо-восточный — субмеридиональный. Северо-западное направление подчеркивается крупными разломами (линеаментами) Беринга, Альфа, Гамма и Дельта. Эти разломы прослеживаются через всю котловину от континентального склона Камчатки до подводного хребта Ширшова и разделяют дно котловины на три сектора, существенно различающихся в геофизических полях. По-видимому, перечисленные разломы играли важную роль в геологическом развитии дна котловины и обусловили относительную самостоятельность и определенные различия в развитии каждого из ее секторов.

Северо-восточные и субмеридиональные направления в пределах южного, центрального и северного секторов Командорской котловины проявились различным образом.

В пределах южного сектора, заключенного между разломами Беринга и Альфа, широко развиты ССВ и субмеридиональные сбросовые уступы, выраженные в рельефе как фундамента, так и дна. Ориентация сбросов соответствует правостороннему характеру смещения по разлому Беринга и, по-видимому, отражает новейший этап задуговых рифтогенных процессов, который особенно ярко проявился на центральном участке южного сектора, в тылу Командорского блока. Новейший этап тектономагматической активности в пределах южного сектора котловины подчеркивается наличием зон аномально высоких значений теплового потока и проявлениями подводной вулканической деятельности, в том числе современной. Предшествующие этапы тектономагматической активности в пределах южного сектора Командорской котловины, судя по широкому развитию здесь магнитных аномалий ССВ и СВ простираний, аналогичным образом могли быть связаны с субмеридиональными структурами растяжения, развитие которых было обусловлено длительным существованием правосторонней сдвиговой зоны в пределах западного участка Алеутской дуги. В дальнейшем ориентация этих структур могла измениться от субмеридиональной до СВ в результате некоторого разворота по часовой стрелке, что характерно для зон правосторонних сдвиговых дислокаций.

Центральный сектор Командорской котловины, заключенный между разломами Альфа и Гамма, сохраняет основные закономерности простирания структур фундамента и магнитных аномалий, характерные для южного сектора. В то же время отмечаются существенно меньше выраженные в рельефе фундамента новейшие сбросообразующие движения и весьма сложная структура аномальных зон магнитного поля. Как отмечено выше, здесь можно выделить несколько осей субмеридионального северо-восточного простирания, относительно которых наблюдаются признаки упорядоченной симметрии в расположении магнитных аномалий. При этом ясно различимы признаки симметрии относительно центров различного порядка: развитых только в пределах центрального сектора и охватывающих как центральный, так и северный секторы котловины. Важно отметить, что западный участок центрального сектора котловины, соответствующий зоне аномально высоких значений теплового потока, характеризуется линейной формой магнитных аномалий и их простиранием, близким к меридиональному, в то время как для более восточных участков центрального сектора такая закономерность отсутствует. На основании изложенных данных авторы склонны считать. что в пределах центрального и северного секторов Командорской котловины существовало несколько задуговых рифтогенных центров тектономагматической активности различного порядка и возраста. Самый молодой из них приурочен к западному участку центрального сектора, непосредственно примыкающему к континентальному склону Восточной Камчатки между п-овом Озерной и о-вом Карагинский.

Интерпретация аномального теплового потока Командорской котловины на основе автоматизированного подбора параметров возмущающих объектов с использованием программы «TEPLO» [7] указывает на несколько этапов магматической активизации, сходных с термической моделью, основанной на существовании здесь нескольких центров задугового спрединга [10]. В этой связи можно более уверенно говорить о длительной тектономагматической деятельности в пределах Командорской котловины (не менее 40 млн. лет) при неоднократном наложении разновозрастных периодов активизации.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 93-05-8243).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Галушкин Ю. И., Муравьев А. В., Смирнов Я. Б., Сугробов В. М. Исследование структуры геотермического поля литосферы Южной части Командорской котловины//Вулканология и сейсмология., 1986. № 5. С. 3—16.
- 3. Гнибиденко Г. С., Быкова Т. Г., Веселов О. В. и др. Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. М.: Наука, 1980. 178 с.
- 4. Девис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 2. М.: Недра, 1990. 427 с.
- 5. Зобин В. М., Гусева Е. М., Иванова Е. И. и др. Командорское землетрясение 29 февраля 1988 года. Препринт. Южно-Сахалинск, 1989. 25 с.
- 6. Зобин В. М., Федотов С. А., Гордеев В. И., Митякин В. М. Сильные землетрясения на Камчатке и Командорских островах в 1961—1986 гг.//Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 3—23.

^{1.} Валяшко Г. М., Чернявский Г. Е., Селиверстов Н. И., Иваненко А. Н. Задуговой спрединг в Командорской котловине//Докл. АН СССР. 1993. Т. 328. № 2. С. 212—216.

- 7. Кутас Р. И., Цвященко В. А., Корчагин И. Н. Моделирование теплового поля континентальной литосферы. Киев: Наук. думка, 1989. 192 с.
- 8. Музуров Е. Л., Баранов Б. В., Борисенко Ю. В. и др. Спрединг в Командорской котловине и структура хребта Ширшова//Докл. АН СССР. 1989. Т. 305. № 5. С. 1181—1184.
- 9. Муравьев А. В. Геотермическое поле задуговых бассейнов на примере Берингова и Филиппинского морей: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1990. 22 с.
- 10. Муравьев А. В., Селиверстов Н. И., Смирнов Я. Б., Сугробов В. М. Тепловой поток в районе подводного четвертичного вулканизма Командорской котловины//Докл. АН СССР. 1990. Т. 312. № 2. С. 438—443.
- 11. Непрочнов Ю. П., Седов В. В., Мерклин Л. П., Рудник Г. Б. Новые данные о строении хребта Ширшова (Берингово море) //Докл. АН СССР. 1984. Т. 277. № 6. С. 1459—1463.
- 12. Расцветаев Л. М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений//Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. Ч. 2. М.: ГИН АН СССР, 1987. С. 173—235.
- Ржевский Н. Н., Зацепин Е. Н., Устинов Н. В., Шимараев В. Н. Особенности геологического строения юго-западной части Берингова моря по аэромагнитным данным//Проблемы геофизических исследований полярных областей Земли. Тр. НИИГА. Л., 1977. С. 15-23.
- 14. Савостин Л. А., Баранов Б. В., Григорян Т. З., Мерклин Л. Р. Тектоника и происхождение западной части Берингова моря//Докл. АН СССР. 1986. Т. 286. № 4. С. 942— 946.
- 15. Сагалевич А. М., Торохов П. В., Матвеенков В. В. и др. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море)//Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 9. С. 104—114.
- 16. Селиверстов Н. И. Строение зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг по данным непрерывного сейсмического профилирования//Вулкано-логия и сейсмология. 1983. № 2. С. 53—67.
- 17. Селиверстов Н. И. Сейсмоакустические исследования переходных зон. М.: Наука, 1987. 112 с.
- Селиверстов Н. И., Авдейко Г. П., Иваненко А. Н. и др. Новый подводный вулкан в западной части Алеутской островной дуги//Вулканология и сейсмология. 1986. № 4. С. 3—16.
- Селиверстов Н. И., Баранов Б. В., Егоров Ю. О., Шкира В. А. Новые данные о строении южной части Командорской котловины по результатам 26-го рейса НИС «Вулканолог» //Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 3—20.
- 20. Селиверстов Н. И., Гавриленко Г. М., Кирьянов А. Ю. О признаках современной активности подводного вулкана Пийпа//Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 3—18.
- Селиверстов Н. И., Сугробов В. М., Егоров Ю. О. и др. Геодинамика Командорской котловины//Тектоника, энергетические и минеральные ресурсы северо-западной Пацифики. Тез. докл. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 1989. С. 96—97.
- 22. Смирнов Я. Б. Исследование связи теплового поля с геолого-тектоническим строением земной коры: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1968. 26 с.
- Смирнов Я. Б., Сугробов В. М. Земной тепловой поток в Курило-Камчатской и Алеутской провинциях. 1. Тепловой поток и тектоника//Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 59-73.
- 24. Смирнов Я. Б., Сугробов В. М., Галушкин Ю. И. Тепловой поток в зоне сочленения Алеутской и Курило-Камчатской островодужных систем//Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 96—115.
- 25. Смирнов Я. Б., Сугробов В. М., Муравьев А. В. и др. Берингово море//Методические и экспериментальные основы геотермии. М.: Наука, 1983. С. 165—168.
- 26. Смирнов Я. Б., Сугробов В. М., Яновский Ф. А. Земной тепловой поток Камчатки//Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 41—65.
- Строение земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану.
 М.: Наука, 1964. 308 с.
- 28. Яновский Ф. А., Сугробов В. М., Кутас Р. И., Цвященко Р. И. Тепловое поле и геотермическая модель земной коры и верхней мантии Камчатского региона//Геофизич. журн. 1992. Т. 14. № 5. С. 14—26.
- Baranov B. V., Seliverstov N. I., Myrav'ev A. V., Muzurov E. L. The Komandorsky Basin as a product of spreading behind a transform plate boundary//Tectonophysics. 1991. V. 199. P. 237-269.

- 30. Cormier V. F. Tectonics near the junction of the Aleutian and Kurile-Kamchatka Arcs and a mechanism for middle Tertiary magmatism in the Kamchatka Basin//Geol. Soc. Amer. Bull. 1975. V. 86. № 4. P. 443-453.
- 31. Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determinations with Guidelines and Recommendation of the International Heat Flow Commission/Ed. Haenel R. Dortrecht: Kluwer Acad. Publ., 1988. 486 p.
- Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Leg. 19. Washington. US Govt. Print. Off., 1973. 913 p.
- 33. Langseth M. G., Hobart M. A., Horai K. Heat flow in the Bering Sea//J. Geophys. Res. 1980. V. 85. № B7. P. 3740-3750.
- 34. Ludwig W. J., Houtz R. G., Ewing M. Sediment distribution in the Bering Sea: Bowers Ridge, Shirshov Ridge and enclosed basins//J. Geophys. Res. 1971. V. 76. № 26. P. 6367-6375.
- 35. Rabinowits P. D., Cooper A. K. Structure and sediment distribution in the Western Bering - Sea//Marine geology. 1977. V. 24. № 4. P. 309-320.
- 36. Rubinstone J. L. Geology and geochemistry of early Tertiary submarine volcanic rocks of the Aleutian Islands and their bearing on the development of the Aleutian Island arc. Ph. d. Thesis. Cornell Univ. Ithaka. 1984. 350 p.
- 37. Scholl D. W., Greager J. S. Geologic synthesis of leg 19 (DSDP) results for North Pacific, and Aleutian ridge, and Bering Sea//Initial Reports of the DSDP. V. 19. 1973. P. 897-913.
- 38. Scholl D. W., Vallier T. L., Stevenson A. J. Terrane accretion production and continental growth: a perspective based on the origin and tectonic fate of the Aleutian-Bering Sea region//Geology. 1986. V. 14. № 3. P. 43-47.
- 39. Shor G. G., Fornari D. J. Seismic refraction measurements in the Kamchatka basin, western Bering Sea//J. Geophys. Res. 1976. V. 81. № 29. P. 5260-5266.
- Watanabe T., Langseth M. G., Anderson R. N. Heat flow in Back-Arc Basins of the Western Pacific//Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-Arc Basin. M. Ewing Ser. 1. Washington, 1977. P. 137-161.

Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию 25.01.1994