

УДК 550.83:551.214(265)

ПОГРЕБЕННАЯ ПОДВОДНАЯ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ЗОНА К ЗАПАДУ ОТ о. ПАРАМУШИР (КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА)

© 2006 В. И. Бондаренко¹, В. А. Рашидов²

¹ Костромской Государственный университет им. Н.А. Некрасова, Кострома, 156000; e-mail: vibond@list.ru;

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: rashidva@kscnet.ru

По данным детальных геофизических исследований, выполненных в 1981-91 гг. в восьми рейсах НИС «Вулканолог», изучено геологическое строение погребенной подводной вулканической зоны, расположенной к западу от о. Парамушир.

В период с 1981 по 1991 гг. на запад-северо-западном склоне о. Парамушир, приблизительно посередине между вулканами Алайд и Анциферова (рис. 1), в тыловой части Курильской островной дуги (КОД) были выполнены многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых по изучению акустических аномалий, зафиксированных в водной толще в точке с координатами 50°30.8'с.ш. и 155°18.45'в.д. (Авдейко и др., 1984; Авдейко и др., 1986; Авдейко, Краснов, 1985; Баранов и др., 1996; Бондаренко и др., 1987; Бондаренко, Надежный, 1985, 1987; Веселов и др., 2000; Гавриленко, 1989; Гинзбург, Соловьев, 1990; Гинзбург, Соловьев, 1994; Глумов и др., 2005; Демина и др., 1989; Егоров, 2001; Зоненшайн, 1987; Зоненшайн и др., 1987; Леин и др., 1989; Матвеева, Соловьев, 2003; Надежный, Бондаренко, 1988а, 1988б, 1989; Надежный и др., 1988; Обжиров, 1993; Обжиров и др., 1989; Обжиров и др., 1999; Подводный..., 1992; Соловьев, 2003; Соловьев и др., 1994; Тектоника..., 2004; Черткова, Гусева, 1986; Черткова, Стунжас, 1990; Vasov et al., 1996; Gaedicke et al., 1997; Soloviev, Ginsburg, 1997). По своей форме выявленные помехи напоминали факелы или султаны. Эти факелы фиксировались от дна моря на глубине около 700 м до глубин 200-400 м.

В районе аномалий выполнены эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), гидромагнитная съемка (ГМС), непрерывная газогадхимическая съемка, драгирование, отбор проб рыхлых осадков прямоточными грунтовыми трубками и дночерпателями, отбор проб воды с различных

глубин батометрами (Авдейко и др., 1984; Зоненшайн и др., 1987; Обжиров и др., 1999). Здесь был отработан профиль МОВ ОГТ, проходящий, в частности, и через местоположение гидроакустических аномалий (Гинзбург, Соловьев, 1994).

По результатам исследований, проведенных в 1982-1983 гг. в 13-м, 15-м и 17-м рейсах НИС «Вулканолог» выявлено, что акустические аномалии приурочены к слабо проявленной косо ориентированной по отношению к КОД вулканической зоне, представленной почти полностью погребенными экстрезивными куполами или небольшими вулканическими конусами (Авдейко и др., 1984; Подводный..., 1992).

Первоначально было высказано предположение о газогидротермальной природе выявленных гидроакустических аномалий (Авдейко и др., 1984; Авдейко и др., 1986; Авдейко, Краснов, 1985; Черткова, Гусева, 1986), а позднее - об их газовой природе и возможном развитии в данном районе процессов гидратообразования в верхней части осадочного разреза (ВЧР) (Бондаренко, Надежный, 1985, 1987).

В 1986 г. в рейсе 11^а НИС «Мстислав Келдыш» с целью изучения предполагаемых гидротермальных выходов дна в районе гидроакустической аномалии было обследовано с помощью подводного обитаемого аппарата (ПОА) «Пайсис» (Баранов и др., 1996; Зоненшайн, 1987; Зоненшайн и др., 1987; Леин и др. 1989; Черткова, Стунжас, 1990). Выполнено по разным источникам 10 или 13 погружений ПОА (Баранов и др., 1996; Зоненшайн, 1987; Зоненшайн и др., 1987; Черткова, Стунжас, 1990). По этим данным, характерными

исследований практически нигде не использовались и известны лишь очень ограниченному кругу отечественных ученых.

Целью настоящей работы является уточнение представления о геологическом строении данного района и характере происходящих здесь процессов на основе интерпретации данных детальных геофизических исследований и обобщения результатов всех опубликованных работ.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОАКУСТИКИ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ В ПРЕДЕЛАХ ПОЛИГОНА ДЕТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Картина сейсмоакустического изображения разреза полигона детальных исследований является довольно сложной. По характеру сейсмоакустического изображения, в первую очередь, различаются северо-западная и юго-восточная части полигона. Кроме того, в пределах юго-восточной части полигона можно отметить значительные различия сейсмоакустического

изображения в ее северо-восточной и юго-западной частях.

Северо-западная часть полигона характеризуется преобладанием картины сейсмоакустического изображения разреза, свойственной обширным участкам прогиба Атласова, на восточной границе которого находится полигон детальных исследований (Бондаренко, Надежный, 1987; Надежный, Бондаренко, 1989). Аномальный характер сейсмоакустического изображения ВЧР в этом районе отмечался еще в работе (Селиверстов, Бондаренко, 1983). Главной особенностью сейсмоакустического изображения ВЧР прогиба Атласова является наличие субпараллельного дну аномально-неоднородного горизонта (АНГ) ниже его на временах 0.15-0.25 с в масштабе удвоенного времени распространения сигнала (УВ), что может соответствовать 150-250 м при скорости звука 2 км/с (Надежный, Бондаренко, 1989). Обычно принято для обозначения подобных горизонтов (рис. 3А, поз. 1), субпараллельных поверхности дна и секущих границы напластования, использовать аббревиатуру BSR (Bottom Simulating Reflector). Хотя, по нашему

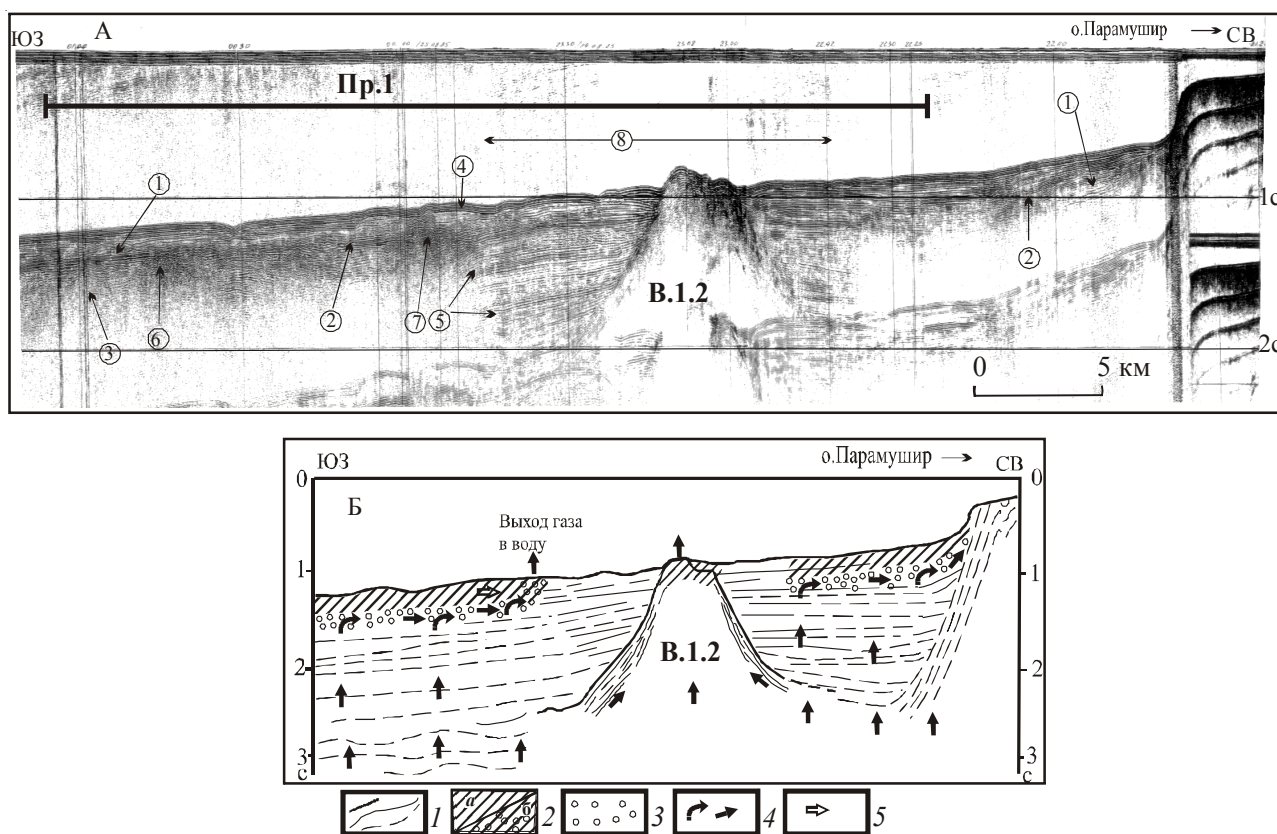


Рис. 3. Фрагмент сейсмограммы НСП по профилю 1 (А) и гипотетическая модель процессов миграции газов и гидратообразования в районе острова Парамушир (Б) (по (Надежный, Бондаренко, 1989), с изменениями). Цифрами в кружочках обозначены позиции профиля, упоминающиеся в тексте. 1 - отражающие границы; 2- осадочные отложения с включениями газовых гидратов: а - без свободных газов, б - с включениями свободных газов; 3 - свободные газы в осадках; 4 - направление миграции газов в осадочной толще; 5 - направление возможного наращивания газгидратного слоя.

мнению, в данном случае аббревиатура BSR в традиционном понимании, как отражающая граница, повторяющая рельеф дна, не отражает всего комплекса отмечающихся на сейсмограммах НСП аномалий. Кроме того, граница дна и границы напластования в данном районе чаще всего являются субпараллельными. В традиционном понимании, как отражающая граница с определенными свойствами, BSR может быть выделена лишь на отдельных участках профилей с неровным дном. Поэтому, на наш взгляд, аббревиатура АНГ позволяет лучше отразить наблюдаемую на сейсмограммах НСП картину. Местами этот горизонт обладает повышенной отражающей способностью - «яркие пятна» (рис. 3А, поз. 2). В других местах на этом уровне фиксируются «акустически мутные зоны», характеризующиеся наличием многочисленных некоррелируемых записей разноориентированных коротких осей синфазности сигнала, записей дифрагированных волн и других сигналов - помех, создающих обычно на сейсмограммах участки с общим темным фоном, разной интенсивности, а также «акустически немые зоны», характеризующиеся отсутствием записей сейсмических сигналов. Там, где в разрезе появляется АНГ, на сейсмограммах НСП наблюдается ослабление интенсивности отражений нижележащих границ, вплоть до полного их исчезновения (рис. 3А, поз. 3, 4). Местами в поле сплошного распространения АНГ отмечаются участки, на которых АНГ выражен слабо или не выражен совсем (так называемые «сейсмические окна») (рис. 3А, поз. 8). На этих участках на сейсмограммах НСП уверенно прослеживаются многочисленные протяженные гладкие отражающие границы, соответствующие границам напластования осадочных толщ до глубины 1-1.5 с УВ ниже дна моря. Характерное свойство отражений вблизи контакта «нормальной» осадочной толщи с АНГ - «загибания» осей синфазности вниз (рис. 3А, поз. 5). Еще одной особенностью сейсмограмм НСП являются так называемые «облакоподобные», «купольные структуры» (рис. 3А, поз. 6, 7), обусловленные, по-видимому, повышенной неоднородностью разреза. Они обычно фиксируются на уровне АНГ и выше его, хотя иногда могут встречаться и ниже. К некоторым «облакоподобным» структурам, достигающим дна, часто бывают приурочены участки ослабления отражений от дна моря, иногда здесь отмечаются небольшие положительные формы рельефа дна (до нескольких десятков метров высотой). Особенно часто подобные аномалии встречаются в центральной части полигона, вдоль границы области сплошного распространения АНГ (рис. 4). Также иногда к этим структурам (рис. 3А, поз. 7) бывают приурочены гидроакустические аномалии на записях

эхолотов, в том числе и аномалия, обнаруженная в 1982 г. и изучавшаяся с тех пор многими экспедициями (Авдейко и др., 1984; Бондаренко, Надежный, 1987; Зоненшайн и др., 1987; Gaedicke et al., 1997).

Описанная картина сейсмоакустического изображения разреза отмечается на всех профилях в северо-западной половине полигона дельтальных исследований и в его северо-восточном углу (рис. 4). Восточная граница области ее распространения является обычно достаточно отчетливой и большей частью проходит в осевой части полигона.

Особенно сложной картиной сейсмоакустического изображения разреза отличается северо-восточная часть полигона. В первую очередь здесь выделяется сложный погребенный вулканический массив (рис. 3А, 4, 5), обнаруженный в 15-м рейсе НИС «Вулканолог» в 1982 г. (Авдейко и др., 1984; Подводный..., 1992).

Судя по данным НСП, массив почти полностью погребен толщами осадочных отложений, мощностью более 1500 м. На поверхности дна моря обнажается лишь верхушка массива.

Привершинная часть массива характеризуется неровным рельефом, Здесь можно выделить, по крайней мере, 3 вершины, разделяющиеся небольшими понижениями рельефа. Они образуют 2 невысоких холма в рельефе дна - северный, с минимальной зарегистрированной глубиной над вершиной 670 м, и двухвершинный южный, с минимальными зарегистрированными глубинами над обеими вершинами 580 м. Глубина моря на прилегающих к массиву участках - 650-700 м.

Именно южный холм и вошел в «Каталог подводных вулканов Курильской островной дуги» под номером 1.2 (Подводный..., 1992, Новейший..., 2005).

В настоящий момент мы предполагаем в дальнейшем относить каталожный номер 1.2 ко всему погребенному вулканическому массиву, а не только к его южной вершине.

Погребенная часть массива характеризуется резко асимметричным строением (рис. 3А, 5, 6). Здесь отчетливо выделяются восточная и западная части. В западной части основание массива прослеживается под мощными осадочными отложениями до глубины 2.4 с УВ, что при скорости распространения звука в осадках 2 км/с может соответствовать 2150 м. Таким образом, превышение вершины над прослеживаемым по данным НСП основанием массива более 1550 м. Протяженность основания массива с севера на юг здесь достигает 9.2 км (рис. 4, 6). Склоны массива очень крутые - 15-20° в его нижней части, и до 20-30° в средней и верхней частях. В восточной части массива его основание прослеживается по данным НСП лишь до глубины 1.7-1.8 с УВ

ПОГРЕБЕННАЯ ПОДВОДНАЯ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ЗОНА

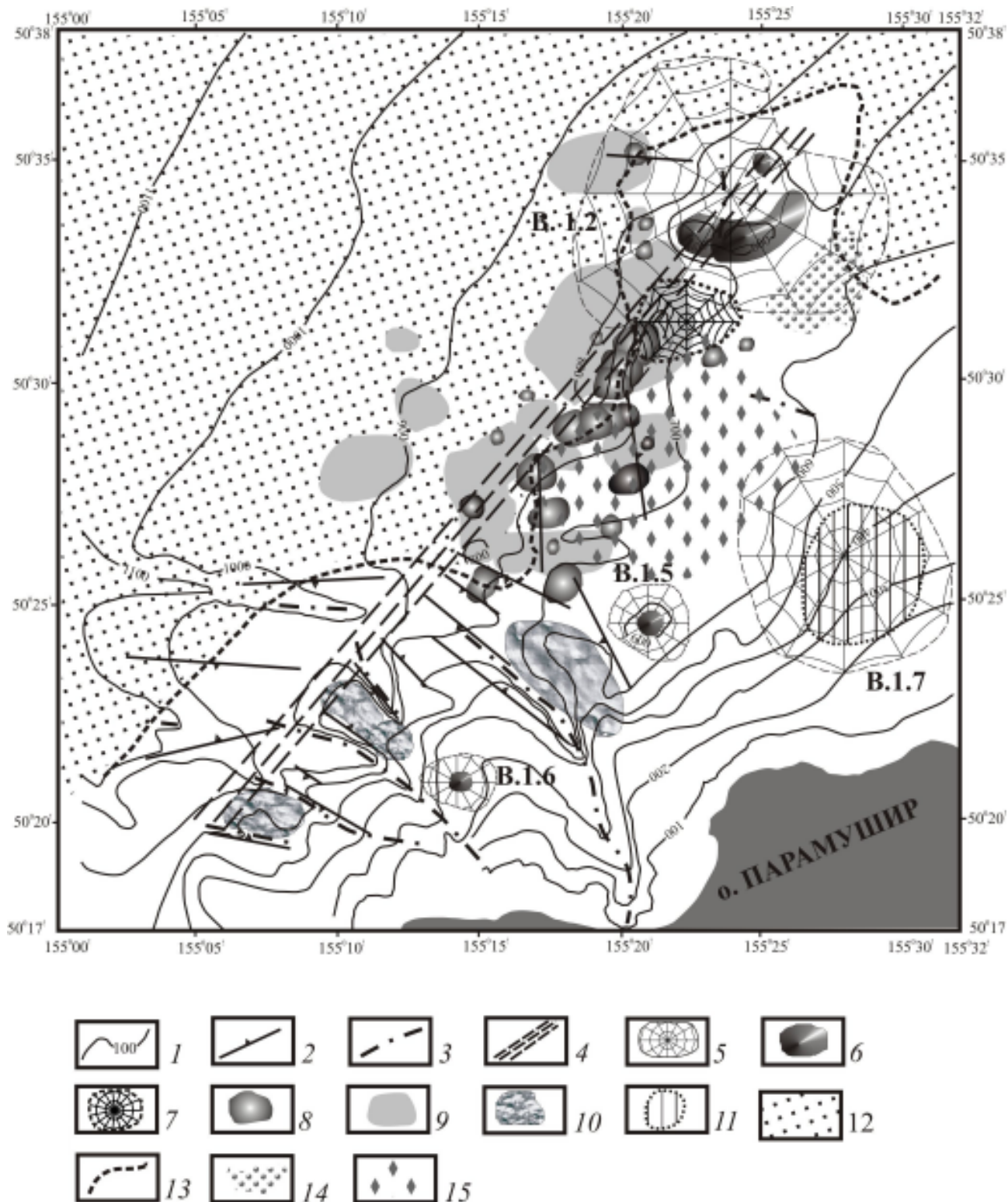


Рис. 4. Морфоструктурная схема района исследований. 1 - изобаты; 2 - разломы; 3 - оси подводных каньонов; 4 - предполагаемая зона сбросо-сдвига; 5 - погребенные конусы подводных вулканов; 6 - не погребенные части подводных вулканических построек; 7 - предполагаемый экструзивный купол; 8 - предполагаемые грязевые вулканы; 9 - зоны нарушения корреляции сейсмических сигналов в ВЧР («облакоподобные структуры»); 10 - оползневые тела; 11 - плоские вершины подводных вулканов и уплощенные участки дна; 12 - область развития аномально-неоднородного горизонта (АНГ) в ВЧР, связываемого с газовыми гидратами; 13 - граница области развития АНГ; 14 - зона распространения «акустически мутного» горизонта (см. текст); 15 - зона смятия в осадочной толще (см. текст).

(рис. 3А, 5), что может соответствовать 1500-1600 м. Протяженность основания с севера на юг здесь значительно меньше — до 5 км (рис. 4, 6). Крутизна склонов массива в восточной части также несколько меньше, чем в западной — 15-20° в средней и верхней частях, и 5-10° в нижней части.

В сейсмоакустическом изображении массива ниже его поверхности отчетливо прослеживаются довольно хорошо выдержанные протяженные отражающие границы, субпараллельные склонам массива или веерообразно расходящиеся к его подножию (рис. 3А, 5). Подобная картина обычно характерна для существенно пирокластических стратовулканов.

Вулканический массив с налеганием перекрывается мощной осадочной толщей. Мощность этих отложений в западной части массива 1.4-1.5 с УВ (рис. 3А, 5), что при скорости распространения звука в осадках 2 км/с может соответствовать 1400-1500 м. Характер сейсмоакустического изображения перекрывающих массив осадочных толщ на западных и восточных склонах различается. На западе на всю видимую на профилях НСП глубину картина сейсмоакустического изображения существенно не меняется и характеризуется многочисленными интенсивными субпараллельными пологонаклонными хорошо выдержанными по простиранию осями синфазности сигнала. Это указывает на то, что обстановка осадконакопления была более или менее одинаковой на протяжении всего времени формирования осадочной толщи. На востоке картина сейсмоакустического изображения верхней и нижней части перекрывающей склоны массива осадочной толщи во многом сходна с таковой для западных склонов массива. Но здесь на глубинах 1.2-1.5 с УВ выделяется мощный «акустически мутный» горизонт (рис. 4, 5) с многочисленными непротяженными, местами субгоризонтальными, но чаще хаотично ориентированными отражающими границами невысокой интенсивности. Подобная картина может указывать на формирование данного горизонта в высоко динамичной обстановке в условиях интенсивного поступления материала, например, вблизи активных вулканов или у подножия склонов, характеризующихся активным развитием оползневых процессов. Мощность этого горизонта с удалением от вулкана быстро убывает, и на удалении 3-4 км он выклинивается. Объем материала этого горизонта может быть оценен величиной 2-3 км³.

С юга к массиву 1.2 примыкает небольшая погребенная вулканическая структура — вероятнее всего экструзивный купол. Поверхность этого тела на сейсмограммах НСП, в основном, прослеживается по исчезновению записей регулярных протяженных осей синфазности сигнала и по

записям дифрагированных волн (рис. 4, 5). Купол полностью погребен осадочными отложениями. Мощность их над вершиной купола — около 100 м. Размер купола по основанию — около 2.6 — 2.7 км, высота — около 200-250 м. Вблизи краев купола выделяются своеобразные акустически полупрозрачные «клинья» с основанием на глубине 1.2-1.3 УВ, ниже которого на некотором расстоянии отчетливо прослеживаются отражающие границы, соответствующие границам напластования вмещающей осадочной толщи. Подобные «клинья» могут формироваться во время внедрения экструзий в водную толщу в результате отложения у основания купола гиалокластов и другого рыхлого материала. Таким образом, мощность перекрывающих основание купола осадочных отложений около 300 м, значительно меньше мощности отложений, перекрывающих основание массива 1.2, что может указывать на более молодой возраст купола. Купол и массив 1.2, по-видимому, располагаются на одном из долгоживущих разломов, ограничивающих с востока прогиб Атласова.

По данным ГМС, вулканический массив 1.2 и экструзивный купол являются магнитными и образуют четкие положительные аномалии (ΔT), в пределах которой отмечены два экстремума интенсивностью 480 и 440 нТл (рис. 7). Выполненное двумерное моделирование показало, что эффективная намагниченность вулканического массива 1.2 составляет 1.56 А/м, а экструзивного купола — 3.7 А/м (Авдейко и др., 1984).

К югу от вулканического массива 1.2 располагается зона, характеризующаяся довольно специфической сложной картиной сейсмоакустического изображения разреза (рис. 5). Поверхности дна на сейсмограммах НСП обычно соответствует интенсивная хорошо выдержанная по простиранию сейсмически гладкая отражающая граница. Это может указывать на то, что маломощный придонный слой осадочного разреза представлен ненарушенными осадочными отложениями. Нижележащая часть разреза, на глубинах от 0.05-0.1 с до 0.6 с УВ ниже дна моря, характеризуется очень сложным строением. На сейсмограммах НСП в этой части разреза отмечаются многочисленные интенсивные протяженные криволинейные отражающие границы, создающие рисунок, соответствующий изображению смятой складчатой толщи. При этом интенсивность смятия слоев вниз по разрезу убывает. Кроме того, по латерали интенсивность смятия в пределах описываемой зоны возрастает в направлении с востока на запад, к центральной части полигона детальных исследований, где на сейсмограммах НСП местами данной толще соответствует очень сложный рисунок отражающих границ, вплоть до

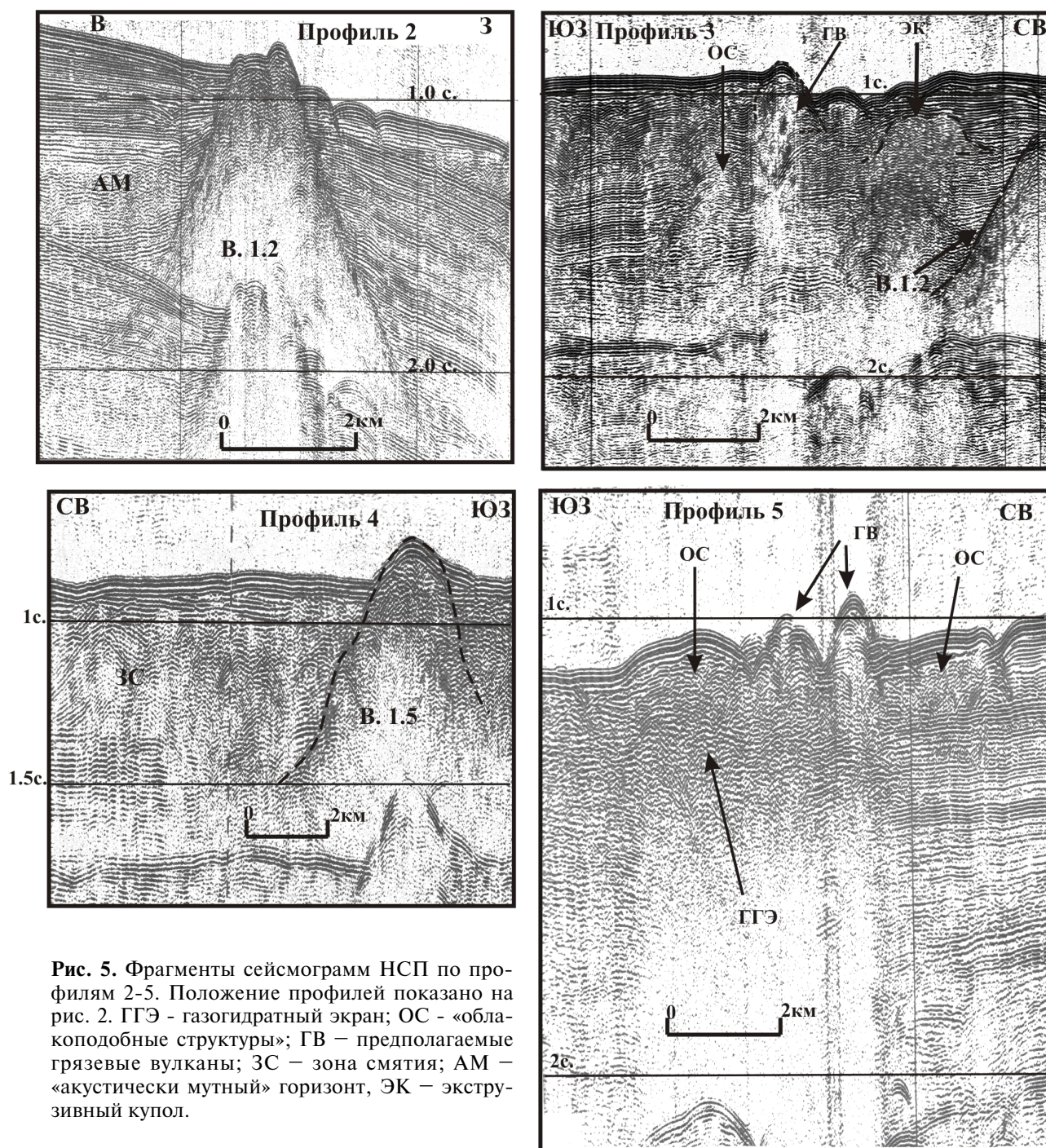


Рис. 5. Фрагменты сейсмограмм НСП по профилям 2-5. Положение профилей показано на рис. 2. ГГЭ - газогидратный экран; ОС - «облакоподобные структуры»; ГВ – предполагаемые грязевые вулканы; ЗС – зона смятия; АМ – «акустически мутный» горизонт, ЭК – экстрезивный купол.

хаотического. Ниже уровня 0.6 с УВ ниже дна моря в пределах фиксирующейся на наших профилях НСП части разреза отмечаются многочисленные довольно интенсивные, хорошо выдержанные по простиранию субгоризонтальные или слабонаклонные отражающие границы, соответствующие границам напластования «нормальных», не нарушенных осадочных отложений.

На уровне 0.65 с УВ от дна моря на многих профилях довольно уверенно выделяется субпараллельная ему отражающая граница, секущая границы напластования осадочной толщи (BSR).

Ее появление не может быть обусловлено газовыми гидратами, т.к. она располагается значительно глубже подошвы зоны гидратообразования в данном районе. Скорее всего, она имеет диагенетическую природу.

Еще одна особенность сейсмоакустического изображения разреза в данной зоне – многочисленные «яркие пятна», обычно приуроченные к призмковым частям антиклинальных складок (рис. 5).

Непосредственно к югу от зоны нарушений по данным НСП отчетливо идентифицируются

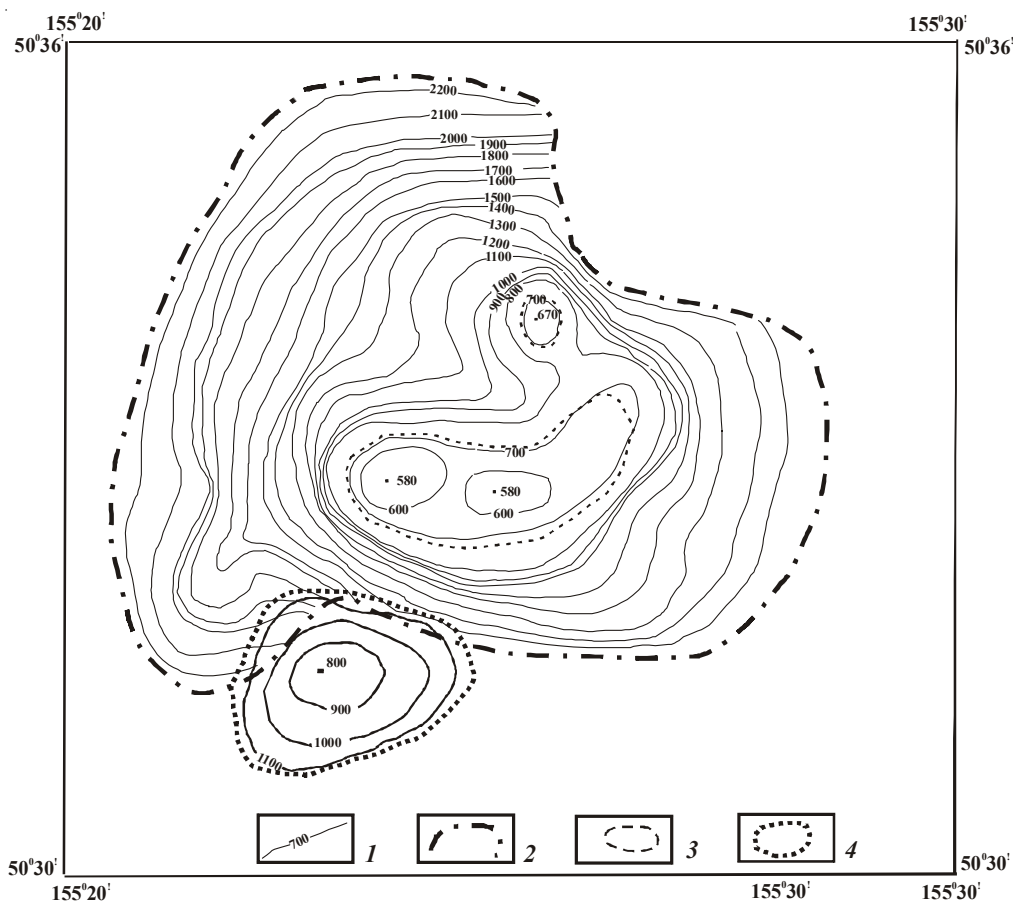


Рис. 6. Схема рельефа вулканического массива 1.2. 1 – изолинии глубины поверхности массива; 2 – граница основания массива (по данным НСП); 3 – часть массива, не погребенная осадочными отложениями; 4 – граница основания предполагаемого экструзивного купола.

еще две вулканические структуры (рис. 4), которым, в целях сохранения преемственности с изданным каталогом подводных вулканов и гор Курильской островной дуги (Подводный..., 1992; Новейший..., 2005), нами присвоены номера 1.5 и 1.7.

Вулкан 1.5 располагается вблизи восточной границы полигона детальных исследований. Вулкан в настоящее время почти полностью погребен осадочными отложениями (рис. 5, 8), на поверхность дна выходит лишь его вершина, образующая холм высотой около 100 м. Минимальная зафиксированная глубина над вершиной 520 м. На сейсмограммах НСП склонам вулкана соответствует жесткая, неровная, сейсмически шероховатая граница с множеством записей дифрагированных волн. Обычно подобная картина характерна для существенно лавовых вулканических конусов. Погребенные склоны вулкана на наших профилях НСП прослеживаются на западе и юго-западе до глубины 1.2 с УВ, на востоке и юго-востоке – до 1.3 с УВ. Склоны очень крутые до 30–35°. Превышение вершины над основанием на юго-западе около 450 м, на северо-востоке – около 550 м. Размер основания вулкана 3х3.5 км, объем – около 2 км³.

К подводному вулкану 1.5, судя по данным ГМС, приурочена положительная аномалия магнитного поля (ΔT) а интенсивностью 440 нТл (рис. 7).

Вулкан 1.7 (рис. 4, 8) располагается вблизи границы полигона детальных исследований, большей частью за его пределами, у подножия островного склона о. Парамушир. В рейсах НИС «Вулканолог» он был пересечен тремя геофизическими профилями. В настоящее время вулкан полностью погребен осадочными отложениями. Северо-западные склоны вулкана под осадочными отложениями прослеживаются до глубины 1.8 с УВ, что в целом соответствует глубине восточного подножия вулкана 1.2. Склоны вулкана очень крутые – до 30° и более. Интенсивность отражений от склонов небольшая, местами они фиксируются по прекращению прослеживаемости по латерали отражающих границ внутри осадочной толщи. Какие-либо отражающие границы внутри конуса не прослеживаются. Вероятнее всего, вулкан существенно лавовый. Плоская вершина вулкана располагается на глубине около 0.75 с УВ, или около 650 м при скорости звука 2 км/с.

ПОГРЕБЕННАЯ ПОДВОДНАЯ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ЗОНА

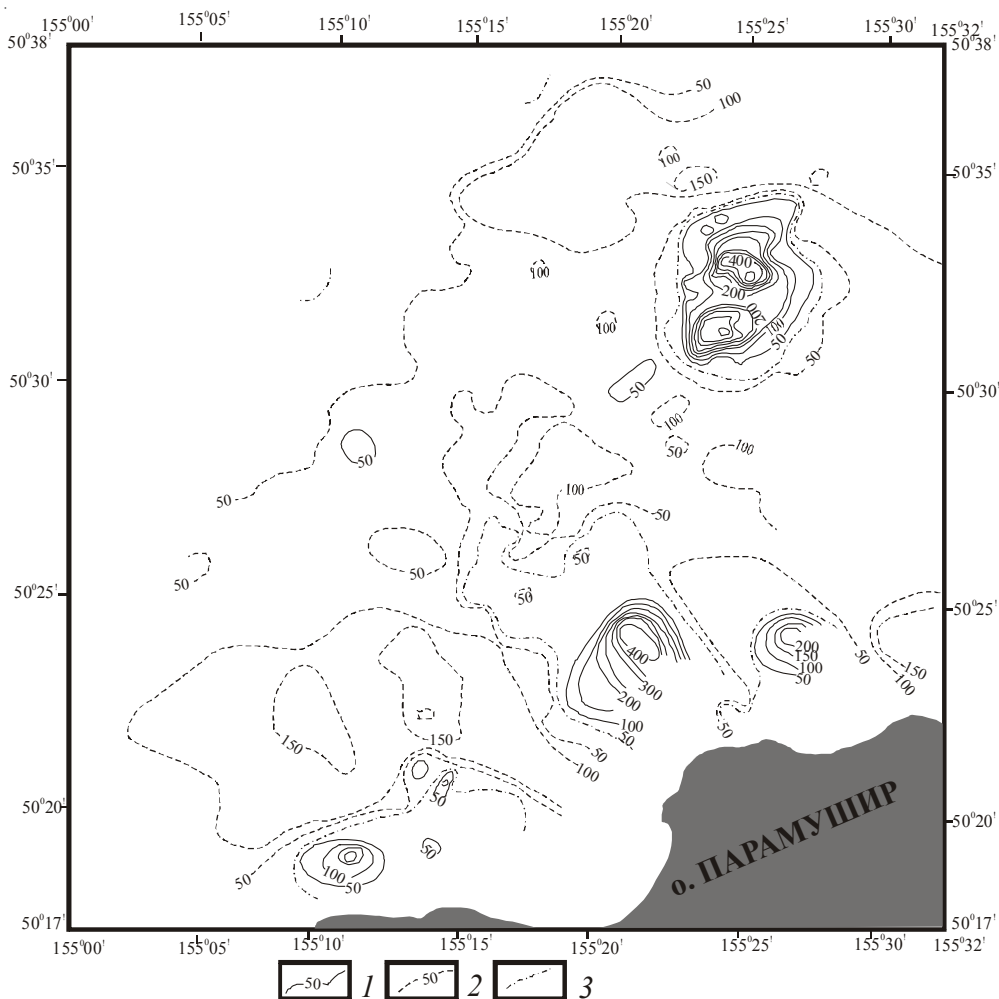


Рис. 7. Аномальное магнитное поле (ΔT) в районе исследований. 1-3 — изолинии магнитного поля, соответственно, положительные, отрицательные и нулевые.

При современном уровне изученности можно говорить о том, что к подводному вулкану 1.7 приурочена положительная аномалия магнитного поля (ΔT) а интенсивностью 210 нТл (рис. 7).

Перекрывающие плоскую вершину вулкана отложения образуют своеобразный клин. Мощность их у западного края плоской вершины около 0.15 с УВ, в сторону о. Парамушир она быстро увеличивается, достигая 0.5 с в нескольких сотнях метров западнее бровки шельфа. К западу от вулкана на удалении 1-2 км эта толща практически выклинивается. Наблюдаемая картина свидетельствует о том, что формирование данной толщи происходило в условиях интенсивного поступления рыхлого материала из близкого источника, располагающегося к востоку или юго-востоку от вулкана. Таким источником могут являться действующие вулканы о. Парамушир, прежде всего вулкан Чикурачки. Поскольку быстрое выклинивание описываемой толщи происходит в самой верхней части разреза, можно предположить, что она сформировалась за очень короткое время.

Южная часть полигона, прилегающая к бухте Крашенинникова и вулкану Фусса, по характеру сейсмоакустического изображения разреза значительно отличается от других участков полигона. Рельеф дна здесь расчленен значительно сильнее, чем на других участках. По данным сейсмоакустических исследований выделяется большое количество подводных каньонов глубиной от первых десятков до первых сотен метров и более мелких эрозионных врезов (рис. 4). Некоторые каньоны имеют V-образный поперечный профиль, другие имеют плоское дно, иногда профиль каньона может меняться по его простиранию, может меняться и направление каньонов. Наблюдаемая картина свидетельствует о высокой активности эрозионных процессов.

На большинстве профилей в пределах данного участка в разрезах присутствует неровная сейсмически шероховатая отражающая граница. К ней на сейсмограммах НСП часто приурочены многочисленные записи дифрагированных волн и боковые отражения. Интенсивность записей сигналов от этой границы может значительно ме-

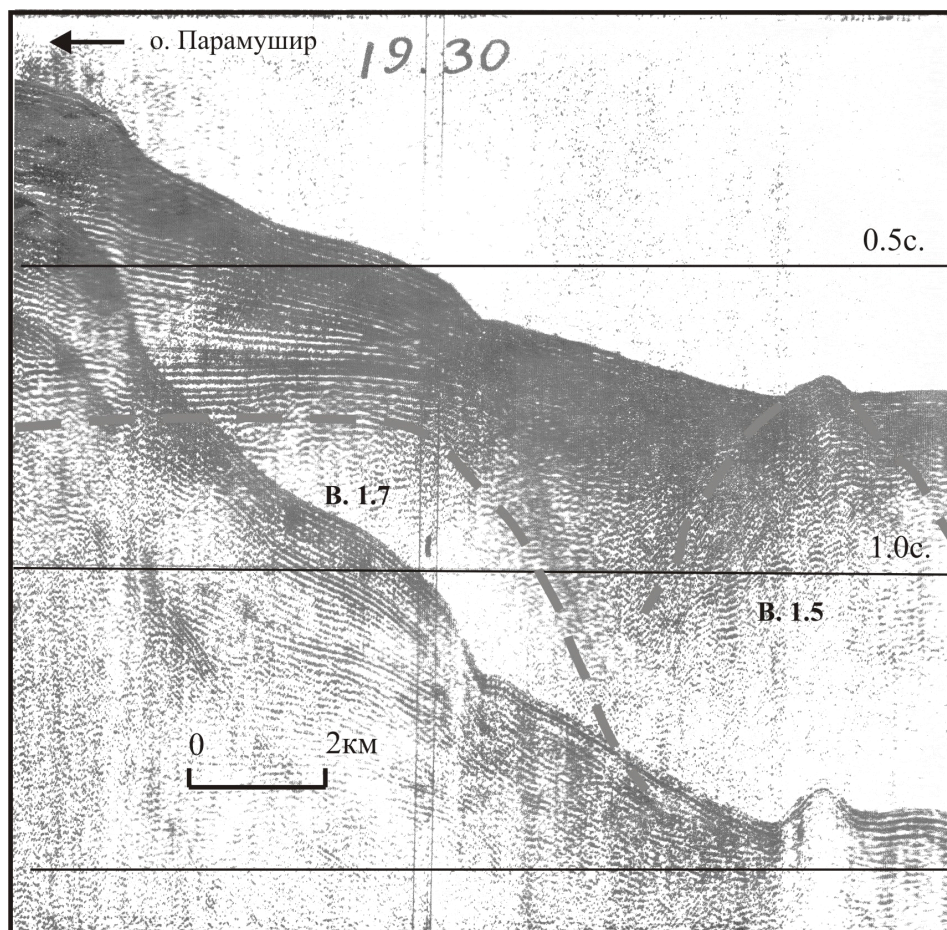


Рис. 8. Фрагмент сейсмограммы НСП по профилю 6, проходящему через подводные вулканы 1.5 и 1.7. Мес-тоположение профиля показано на рис. 2.

няться — от очень интенсивной до слабой. Ниже этой границы регулярные отражения чаще всего отсутствуют. Хотя местами эра границ приобретает более регулярный облик, под ней могут появляться многочисленные, обычно не протяженные отражающие границы. Ориентировка этих границ может быть разной — субгоризонтальной, разнонаклонной, до хаотичной. Подобная картина обычно характерна для поверхности вулканогенных образований, с преобладанием плотных эффузивных пород. В данном случае эта поверхность, вероятнее всего, соответствует поверхности древнего вулканического основания вулкана Фусса. Рельеф этой поверхности довольно сложный. В целом она относительно полого поднимается в сторону вулкана Фусса. В рельефе поверхности выделяется множество небольших пиков, впадин. По данным НСП идентифицируются многочисленные разломы, грабенообразные структуры, смещающие поверхность вулканического основания. Местами отмечаются уплощенные участки поверхности на разных глубинах — от 750-800 м до 1500 м от уровня моря. Иногда подобные разноуровневые площадки разделяются разломами. Не исключено, что они

являются фрагментами некогда единой поверхности выравнивания, разбитой на части более поздними смещениями.

Рельеф дна в общих чертах повторяет рельеф вулканического фундамента. Но в то же время корреляция мезо — и микроформ рельефа дна и рельефа фундамента не прослеживается. Рельеф фундамента полностью маскируется чехлом перекрывающих его осадочных и, вероятно, рыхлых вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений. Мощность этого чехла изменчива. Местами отдельные выступы фундамента подходят к поверхности дна, в пределах некоторых впадин в рельефе фундамента видимая мощность заполняющих их отложений превышает 0.5 - 0.6 с УВ. Но чаще всего мощность чехла меняется в пределах 0.1-0.3 с УВ. Внутреннее строение чехла сложное. Рисунок волновой картины на профилях НСП характеризуется значительной изменчивостью. Иногда эта толща выглядит «акустически мутной» с многочисленными хаотически ориентированными непротяженными отражающими границами различной интенсивности. На этом фоне на отдельных участках профилей НСП могут появляться отдельные протяженные суб-

горизонтальные или слабонаклонные отражающие границы. Местами эти отложения выглядят почти «акустически прозрачными», с отдельными, иногда протяженными отражающими границами разной интенсивности. Часто на сейсмограммах можно увидеть сложно переслаивающиеся пачки довольно протяженных и интенсивных прямолинейных или криволинейных отражающих границ, «срезание» или «подрезание» одних пачек границ или отдельных границ другими. Наблюдаемая картина свидетельствует об очень сложной высоко динамичной обстановке осадконакопления, в условиях резких колебаний количества поступающего рыхлого материала, при высокой интенсивности эрозионных и оползневых процессов. Местами на склонах в пределах чехла отмечаются крупные обособленные тела, характеризующиеся своей сложной внутренней структурой, которые могут интерпретироваться как крупные оползневые тела (рис. 4). Объем самых крупных из выявленных тел достигает 1-1.9 км³.

В южной части полигона можно выделить еще один небольшой вулкан 1.6 (рис. 4). Большая часть вулкана перекрыта осадочными отложениями, лишь острая вершина поднимается над ними, образуя небольшой холм высотой до 100 м. Минимальная зафиксированная глубина над вершиной – 400 м. Склоны постройки неровные, очень крутые – до 25-30°. Они прослеживаются до глубины около 1 с УВ, превышение вершины над основанием около 450 м. Судя по наблюдаемой картине, вулкан 1.6, скорее всего, представляет собою небольшой лавовый купол.

К подводному вулкану 1.6, судя по данным ГМС, приурочена положительная аномалия магнитного поля (ΔT) а интенсивностью 110 нТл (рис. 7).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Исследуемый район характеризуется сложными геологическим строением и историей развития вследствие наложения результатов воздействия сразу нескольких мощных геологических процессов: активных тектонических движений, вулканизма, высокой сейсмичности, гравитационных процессов, процессов миграции углеводородных газов, гидратообразования и грязевого вулканизма.

Район исследований находится на сочленении прогиба Атласова и Парамуширского островного блока и характеризуется высокой тектонической активностью.

По данным НСП в пределах участка детальных исследований выделено довольно большое количество разломов, грабенообразных структур

(рис. 4). Большинство из них располагается в южной части полигона. Возможно, в северной части полигона аналогичные структуры замаскированы в результате деятельности других геологических процессов и не проявляются на сейсмограммах НСП. Характер расположения выявленных разрывных нарушений позволяет предполагать наличие в данном районе крупной сдвиговой зоны северо-восточного направления, проходящей в центральной части участка детальных исследований. Выявленные нами грабены и разломы, по видимому, являются структурами, оперяющими эту более крупную структуру. На северо-востоке эта зона проходит через вулканический массив 1.2.

Оценки возраста массива, приведенные в различных работах (Авдейко и др., 1984; Зоненшайн и др., 1987; Надежный, Бондаренко, 1989; Подводный..., 1992), изменяются в пределах неоген-четвертичного. Вулканический массив 1.2, по видимому, имеет довольно древний возраст, по крайней мере, несколько миллионов лет. Это время необходимо для накопления перекрывающей склоны массива осадочной толщи мощностью до 1500 м. Если предполагать четвертичный возраст массива, исходя из его прямой намагниченности, придется допустить, что скорость осадконакопления в данном районе превышала 1.5 м/тыс. лет. Подобные скорости осадконакопления в целом встречаются очень редко, и у нас нет никаких оснований предполагать их в районе наших исследований. Известные в настоящее время оценки скоростей осадконакопления в районе Курил находятся в пределах 0.02-0.3 м/тыс. лет. Поэтому возраст массива 1.2 – скорее всего неогеновый.

Сформировался массив на крупном разломе вблизи восточного борта прогиба Атласова. При этом, вероятно, в период формирования массива здесь существовал крутой уступ северо-восточного простирания в рельефе дна высотой несколько сотен метров. Этим можно объяснить отмеченную выше асимметрию строения массива. А разломную зону, пересекающую в северо-восточном направлении центральную часть участка детальных исследований, можно интерпретировать как правосторонний сбросо-сдвиг.

Наличие крупного разлома в данном месте позволяют предполагать результаты интерпретации профиля МОВ ОГТ, пересекающего вулкан 1.2 в направлении с северо-востока на юго-запад (рис. 9), выполненного в этом районе в 1986 г. Северотихоокеанской экспедицией НПО «Дальморгео» и ранее приводившегося в работе (Гинзбург, Соловьев, 1994). В обоих случаях материалы были любезно предоставлены П.Л. Брудастовым. Положение профиля совпадает с положением профиля 1 (рис. 2). Судя по этим данным, в непосредственной близости от вулкана глубина подошвы осадочной толщи соответствует глубине

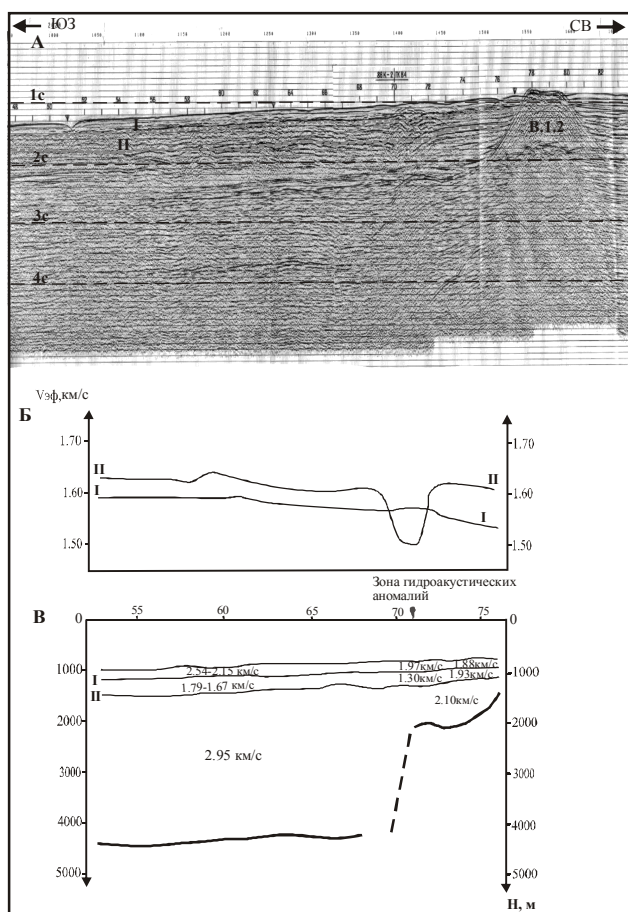


Рис. 9. Фрагмент профиля МОВ ОГТ (А), графики эффективных скоростей по горизонтам I, II (Б) и скоростной разрез по данным МОВ ОГТ (В). Положение профиля соответствует положению профиля 1 ни рис. 2.

основания вулкана. Но в нескольких километрах к юго-западу от вулкана мощность осадочных отложений (рис. 9В) уже превышает 3 км.

Сам вулканический массив состоит, вероятнее всего, из нескольких тесно слившихся вулканических конусов. Суммарный объем массива — около 25 км³.

Значительную роль в строении массива, по крайней мере, его верхней части, играют рыхлые, по-видимому, пирокластические отложения. Это указывает на то, что, по крайней мере, на заключительном этапе формирования массива извержения происходили в субэаральных или мелководных условиях, то есть вершина массива находилась вблизи уровня моря. В этом случае следует допустить, что после его формирования массив погрузился до современного положения, не менее чем на 500-600 м.

Примыкающий с юга к вулканическому массиву 1.2 предполагаемый экструзивный купол, вероятно, более молодой. Не исключено, что он мог образоваться в начале антропогена. В таком случае мы должны предполагать, по крайней мере, 2 вспышки магматизма в данном месте,

возможно, связанные с активизацией тектонических движений по разломам, ограничивающим прогиб Атласова. При этом первая вспышка могла происходить во время формирования более древней впадины прогиба Атласова, вторая связана с усилением нисходящих движений и продвижением Курильской котловины на северо-восток в плиоцен-четвертичное время.

С последней магматической активизацией, возможно, связано и формирование «акустически мутного» горизонта к востоку от массива на глубинах 1.2 — 1.5 с. Он мог образоваться в результате мощных эксплозивных извержений или вследствие крупных обвалов восточной части массива.

Кроме вулканического массива 1.2, по данным наших исследований, в данном районе выявлены еще 3 ранее не известные вулканические структуры (рис. 4). Две из них (1.5 и 1.6), по-видимому, представляют собою небольшие моногенные лавовые вулканы или экструзивные купола. Судя по их положению в разрезе, возраст этих вулканов может быть близким к возрасту экструзивного купола, примыкающего с юга к вулканическому массиву 1.2.

Полностью погребенный в настоящее время вулкан 1.7 по своим размерам сопоставим с массивом 1.2. Судя по положению в разрезе, эти вулканы могут быть одновозрастными. Плоская вершина вулкана 1.7 в настоящее время находится на глубине около 650 м. Это свидетельствует о значительном опускании прилегающих к вулкану участков дна с того времени, когда его вершина была срезана в результате абразии.

Вершина расположенного в непосредственной близости вулкана 1.5 не затронута абразией, хотя находится в настоящее время на меньшей глубине, чем плоская вершина вулкана 1.7. Это может свидетельствовать в пользу предположения о более молодом возрасте вулкана 1.5. Можно предполагать, что вулкан 1.5, как и расположенный несколько южнее вулкан 1.6, образовались в подводных условиях уже после того, как образовалась плоская вершина вулкана 1.7, и он погрузился на некоторую глубину.

Все отмеченные вулканические постройки четко отражаются в аномальном магнитном поле (ΔТ)а и к ним приурочены локальные положительные аномалии (рис. 7). Это указывает на контрастность физических свойств слагающих их пород по отношению к породам, слагающим прилегающие участки дна Охотского моря.

Интересным представляется вопрос о происхождении зоны смятия в осадочной толще на глубинах от 0.05-0.1 с до 0.6 с УВ ниже дна моря между вулканами 1.2 и 1.5 (рис. 4, 5). Как уже отмечалось, интенсивность смятия увеличивается к центральной части участка детальных исследований и снизу вверх по разрезу. На сейсмограм-

мах НСП непосредственно ниже зоны смятия выделяется граница BSR. Появление подобных границ в сейсмоакустическом изображении осадочных разрезов на глубинах 0,6-0,8 с УВ — явление довольно известное и обычно связывается с диагенетическими процессами в осадочной толще. По данным глубоководного бурения, к этим горизонтам бывают приурочены обводненные зоны повышенной трещиноватости. Это может способствовать горизонтальным смещениям вышележащих толщ. Возможно, в нашем случае мы имеем дело с приразломной складчатостью, обусловленной горизонтальными движениями по предполагаемой зоне сбросов или по оперяющим ее разломам (складчатость волочения?).

Как отмечалось выше, значительная часть полигона исследований характеризуется специфическим комплексом аномалий сейсмоакустического изображения разреза. Это наличие в ВЧР особого АНГ, ослабление интенсивности отражений ниже лежащих границ, вплоть до полного их исчезновения, «облакоподобные», «купольные структуры», обусловленные, по видимому, повышенной неоднородностью разреза, связанные с ними небольшие положительные формы рельефа дна (до нескольких десятков метров высотой), а также многочисленные небольшие положительные и отрицательные формы рельефа дна, отмечавшиеся при погружениях ПОА «Пайсис» (Зоненшайн и др., 1987), гидроакустические аномалии на записях эхолотов (Авдейко и др., 1984; Бондаренко, Надежный, 1985, 1987; Гинзбург, Соловьев, 1994; Обжиров и др., 1999). Наиболее распространены «облакоподобные структуры» вблизи границы области распространения АНГ, здесь же обнаружено множество небольших пологих холмов и гряд в рельефе дна, высотой от первых десятков до 100-150 м.

Поскольку район о. Парамушир характеризуется активным вулканизмом, и участки профилей с аномальным сейсмоакустическим изображением ВЧР впервые были зарегистрированы в непосредственной близости от острова-вулкана Алаид, то первоначально образование АНГ связывалось с вулканической деятельностью (Селиверстов, Бондаренко, 1983).

Анализ материалов НСП привел к предположению о газовой природе акустических аномалий (Бондаренко, Надежный, 1985, 1987). Дополнительные исследования позволили этим авторам высказать предположения о единой углеводородно-газгидратной природе всех отмеченных выше сейсмоакустических аномалий в данном районе (Бондаренко и др., 1987; Надежный, Бондаренко, 1988а, Надежный, Бондаренко, 1989; Надежный и др., 1988). В соответствии с этими предположениями, формирование АНГ в

ВЧР обусловлено процессами образования и отложения кристаллогидратов (КГ) метана и некоторых других газов в осадочной толще, в пределах зоны гидратообразования (ЗГО). При существующих в данном регионе температурах воды (+1 - +4°C), благоприятные условия для существования стабильных кристаллогидратов метана могут быть повсеместно в придонном слое осадков, начиная с глубин моря 250-300 м, то есть верхняя граница ЗГО в данном районе должна находиться на указанных глубинах (Надежный, Бондаренко, 1989; Gaedicke et al., 1997; Novland, Judd, 1988; Macleod, 1982; Merewether et al., 1985).

Положение нижней границы ЗГО определяется глубиной моря и геотермическим градиентом в ЗГО. По данным геотермических исследований (Смирнов, Сугробов, 1979, 1980, Геолого-геофизический..., 1987), в районе о. Парамушир геотермический градиент меняется в пределах 3°C/100 м -14°C/100 м. Этим значениям может соответствовать глубина нижней границы ЗГО до 150-250 м ниже дна моря (Надежный, Бондаренко, 1989; Merewether et al., 1985; Novland, Judd, 1988; Gaedicke et al., 1997), что соответствует глубинам выявленного нами АНГ.

Предположение о широком распространении процессов гидратообразования в данном районе было подтверждено дальнейшими исследованиями, когда в этом районе грунтовой трубкой были подняты газовые гидраты (Гинзбург, Соловьев, 1994; Зоненшайн и др., 1987).

В пользу газогидратной природы АНГ свидетельствуют также данные интерпретации профиля МОВ ОГТ (рис. 9). Здесь, на рис. 8Б, приводятся графики эффективных скоростей по отражающим горизонтам I, II, на рис. 8С приводится интерпретационный разрез по профилю с указанием пластовых скоростей. Горизонт I на глубинах 150-200 м ниже уровня дна моря соответствует АНГ или BSR. В пределах области сплошного распространения АНГ значения пластовых скоростей в самом верхнем слое осадочных отложений, выше горизонта I, меняются в пределах 2.15-2.54 км/с, в ниже лежащем слое — 1.67-1.79 км/с, то есть значительно ниже. В зоне фиксирующегося на сейсмограммах НСП «сейсмического окна» вблизи вулкана значения пластовых скоростей соответственно 1.88 и 1.93 км/с. Таким образом, здесь скорости сейсмических волн во втором слое выше, чем в самом верхнем слое. При этом по сравнению с областью АНГ в верхнем слое пластовые скорости значительно ниже, во втором слое — выше (рис. 9В). В переходной зоне, в которой исчезает АНГ и к которой приурочены упоминавшиеся выше гидроакустические аномалии и обширные «облакоподобные структуры» в ВЧР, в верхнем слое получено промежуточное значение пластовой скорости —

1.97 км/с, в то время как во втором слое получены очень низкие значения пластовой скорости — всего лишь 1.3 км/с, ниже, чем скорость звука в воде. Здесь же отмечается значительное снижение эффективной скорости по горизонту П. Повышение скорости сейсмических волн в верхнем слое в юго-западной части профиля, по сравнению с его северо-восточной частью, может объясняться цементацией осадочных отложений газowymi гидратами, приводящей к увеличению их акустической жесткости. Снижение пластовых скоростей во втором слое в юго-западной части профиля может объясняться присутствием здесь свободных газов под газогидратным экраном.

По данным интерпретации материалов НСП и профиля МОВ ОГТ была предложена гипотетическая модель процессов миграции газов и гидратообразования в р-не о. Парамушир (Надежный, Бондаренко, 1989). Эта модель с некоторыми поправками и фрагмент сейсмограммы НСП по профилю 1 представлены на рис. 3Б. Почти везде в северо-западной части полигона, по-видимому, сформировался сплошной «зрелый» слой гидратонасыщенных осадков, образующих газонепроницаемый экран. Поверхность дна в этом районе полого поднимается в северо-восточном направлении, в сторону о. Парамушир. Соответственно, в этом же направлении воздымается газогидратный экран (ГГЭ). Под этим экраном, по-видимому, существует хорошо сформированная газовая оторочка (то есть слой осадков, поровое пространство которых заполнено свободными газами). На это указывают резкое ослабление отражений ниже предполагаемого ГГЭ, появление на этом уровне «облакоподобных структур», «акустически мутных» зон (рис. 3А, поз. 6). Газы могут мигрировать под ГГЭ в направлении его восстания. В средней части профиля сплошной ГГЭ прерывается. Именно в этом районе зафиксированы выходы газа в водную толщу (рис. 3А, поз. 4). К северо-востоку от этого места на профиле НСП мы видим отчетливо выраженное «сейсмическое окно» (рис. 3А, поз. 8), свидетельствующее об отсутствии развитого ГГЭ. Здесь, на профиле НСП, отчетливо дешифрируется мощная (до 1.3 с) толща слоистых осадочных отложений, с налеганием перекрывающих древний вулканический массив 1.2. Аналогичная картина отмечается и с северо-восточной стороны массива. Ширина «сейсмического окна» примерно соответствует ширине погребенного основания вулканического массива. Отсутствие отчетливо выраженного газогидратного экрана вблизи вулканического массива 1.2 можно объяснить тем, что эта толща играет роль дренажа для УВГ, поступающих снизу. Это возможно в случае наличия здесь каких-то газонепроницаемых прослоев, параллельных склонам вулканической постройки

(например, облекающих постройку тонких глинистых слоев, сформировавшихся в процессе осадконакопления после завершения вулканической активности). В непогребенной части массива эту роль могут выполнять гидратонасыщенные отложения ВЧР.

К юго-западу от вулкана граница зоны распространения предполагаемого ГГЭ проходит вблизи предполагаемой разломной зоны. Эта разломная зона является долгоживущей и, вероятно, сохраняет гидротермальную активность до настоящего времени. Вынос тепла к поверхности дна поступающими по разломам глубинными флюидами может приводить к разрушению газогидратного экрана. В этом случае мигрирующие под ГГЭ по его восстанию свободные газы (рис. 3Б) и поступающие по разломам глубинные флюиды будут транзитом проходить ВЧР и выделяться в водную толщу, создавая, в частности, гидроакустические аномалии. Часть газов может связываться в газовые гидраты, формируя в ВЧР участки или «островки» сцементированных гидратами отложений, усиливая неоднородность разреза. Причиной неоднородности разреза могут быть участки осадочных отложений, содержащих свободные, не связанные газы, а также отложение в ВЧР биогенного карбонатного материала, формирующегося в результате деятельности метанредуцирующих бактерий (Зоненшайн и др., 1987; Novland., Judd, 1988). Это может отражаться в волновой картине НСП появлением характерных «облакоподобных структур», «акустически мутных» зон и других нарушений волновой картины (рис. 3А). Полученное по данным интерпретации материалов МОВ ОГТ в зоне выявленных гидроакустических аномалий значительное снижение скорости сейсмических волн во втором слое указывает на присутствие в осадочных отложениях на данном уровне определенного количества свободных газов. В то же время повышенные значения пластовых скоростей в верхнем слое, по сравнению с зоной «сейсмического окна» к северо-востоку, может указывать на присутствие в этой части разреза, наряду со свободными газами, газовых гидратов и (или) карбонатного материала. В случае если процессы гидратообразования будут превалировать над процессами разрушения кристаллогидратов (например, при ослаблении выноса тепла по разлому), могут создаваться благоприятные условия для латерального наращивания газогидратного экрана и смещения зоны газовыделений вверх по восстанию поверхности дна (и наоборот).

Местами могут создаваться условия для формирования мощных потоков газов вблизи поверхности дна, равномерных или пульсирующих. Эти потоки могут выносить частицы осадочных отложений, какие-то вещества могут выпадать в

осадок из поступающих по разломам глубинных флюидов. Накопление их может приводить к формированию небольших положительных форм рельефа. Вынос газовыми струями частиц из приповерхностного слоя осадков может приводить к формированию отрицательных форм рельефа дна - кратеров, воронок и т.п. В целом мы можем наблюдать комплекс явлений, свойственный областям грязевого вулканизма. И, на наш взгляд, обнаруженные в районе наших исследований многочисленные пологие холмы и гряды, приуроченные большей частью к предполагаемому краю ГГЭ, можно относить к грязевым вулканам или вулканоидам. На рис. 3 показаны выявленные по данным наших исследований предполагаемые грязевые вулканы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Парамуширские гидроакустические аномалии приурочены к долгоживущей зоне глубинных разломов на границе структур прогиба Атласова и Парамуширского островного блока. Эта зона является активной, по крайней мере, с неогена. Активность проявлялась в значительных вертикальных и, возможно, горизонтальных движениях по разломам, вулканизме, гидротермальной деятельности.

Данные наших геофизических исследований позволяют идентифицировать в данном районе 4 подводных вулкана. При этом можно предполагать две вспышки магматической активности: более ранняя, неогеновая, когда возникли крупные вулканический массив 1.2 и вулкан 1.7, и более поздняя, позднеплиоценовая или четвертичная, когда могли сформироваться небольшие вулканы 1.5 и 1.6, а также предполагаемый небольшой экстрезивный купол, расположенный к югу от массива 1.2.

Следствием гидротермальной активности, по-видимому, является формирование совпадающей с зоной глубинных разломов зоны грязевого вулканизма и выходов свободных газов в водную толщу, фиксирующихся в виде гидроакустических аномалий на записях эхолотов. Формированию зоны интенсивных газоделиний и грязевого вулканизма способствуют особенности геологического строения и рельеф района. Большая мощность осадочного чехла и высокий тепловой поток прогиба Атласова способствуют генерации значительных объемов газа, который мигрирует в ВЧР и, благодаря существующим здесь благоприятным термобарическим условиям, связывается в форме кристаллогидратов, формируя в ВЧР газонепроницаемый газогидратный экран. Дно моря в этом районе имеет наклон в западном направлении, поэтому под газогидратным экраном свободные газы

должны мигрировать в восточном направлении по восстанию дна, в сторону о. Парамушир. Гидротермальная активность в пределах упоминавшейся выше зоны разломов приводит к нарушению сплошности газогидратного экрана и формированию мощных потоков свободных газов в ВЧР и выделению их в водную толщу, вследствие чего возникают небольшие грязевые вулканы и другие, отмечающиеся здесь особенности строения осадочного чехла и рельефа дна, гидроакустические аномалии в придонном слое воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 05-05-65102) и ДВО РАН (проект 06-3-А-08-326).

Список литературы

- Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В.* «Вулканонолог» исследует газовый факел // Природа. 1986. № 7. С. 80-87.
- Авдейко Г.П., Гавриленко Г.П., Бондаренко В.И. и др.* Подводная гидротермальная активность на Северо-западном склоне о. Парамушир // Вулканонология и сейсмология. 1984. № 6. С. 66-81.
- Авдейко Г.П., Краснов С.Г.* Сульфидные руды и их связь с подводными вулканами и гидротермами островных дуг // Вулканонология и сейсмология. 1985. № 4. С. 26-39.
- Баранов Б.В., Гедике К., Леликов Е.П.* Газовый факел в Охотском море // Природа. 1996. № 9. С. 43-47.
- Бондаренко В.И., Надежный А.М.* О возможности поиска подводных газогидротерм методом непрерывного сейсмопрофилирования // Вулканизм и связанные с ним процессы. Вып. 3. Тез. докл. VI Всес. вулканол. совещ. Петропавловск-Камч., 1985. С. 135-136.
- Бондаренко В.И., Надежный А.М.* Акустические неоднородности осадочного чехла в районе предполагаемого газогидротермального выхода у о. Парамушир // Вулканонология и сейсмология. 1987. № 2. С. 100-104.
- Бондаренко В.И., Надежный А.М., Егоров Ю.О.* Газгидраты в прикурильской части Охотского моря // III съезд советских океанологов. Тез. докл. Секция геол., геофиз., геохим. океана. Мин. Рес. Л., ААНИИ, 1987. С. 38-39.
- Веселов О.В., Куделькин В.В., Чухонцев В.И.* Особенности распространения и образования газовых гидратов в Охотском море // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах Северо-Западной окраины Тихого океана / Отв. ред. Кочергин Е.В., Сеначин В.Н. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2000. Т. 1. С. 7-37.
- Гавриленко Г.М.* Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник

- металлов в железо-марганцевых образованиях островных дуг. Владивосток: Дальнаука, 1997. 164 с.
- Геология и полезные ископаемые шельфов России. Атлас / Гл. редактор М.Н. Алексеев. М.: Научный мир, 2004. Лист 1-28.
- Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы / Под. ред. К.Ф. Сергеева, М.Л. Красного. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.
- Глумов И.Ф., Глумов А.И., Казмин Ю.Б., Юбко В.М. Газовые гидраты Мирового океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2005. № 2. С. 30-40.
- Демина Л.Л., Пашкина В.И., Давыдов М.П. Поведение металлов в иловых водах в районе выхода газового источника (северо-западный склон о. Парамушир, Охотское море) // Геохимия. 1989. № 6. С. 816-824.
- Егоров Ю.О. Геологическое строение и газонасыщенность морских осадков современных вулканических областей. Владивосток: Дальнаука, 2001. 138 с.
- Зоненшайн Л.П. Газовый источник на дне Охотского моря // Природа. 1987. № 8. С. 53-57.
- Зоненшайн Л.П., Мурдмаа И.О., Баранов Б.В. и др. Подводный газовый источник к западу от о. Парамушир // Океанология. 1987. Т. XXVII. Вып. 5. С. 795-800.
- Лейн А.Ю., Гальченко В.Ф., Покровский Б.Г. и др. Морские карбонатные конкреции как результат процессов микробного окисления газогидратного метана в Охотском море // Геохимия. 1989. № 10. С. 1396-1406.
- Матвеева Т.В., Соловьев В.А. Газовые гидраты Охотского моря: закономерности формирования и распространения // Российский химический журнал. 2003. Т. 157. № 3. С. 101-111.
- Надежный А.М., Бондаренко В.И., Егоров Ю.О., Дубровский В.Н. Сейсмоакустические аномалии Охотского моря: Ареалы распространения и природа // Вулканологические исследования на Камчатке. Петропавловск-Камч., 1988. С. 115-118.
- Надежный А.М., Бондаренко В.И. Процессы гидратообразования на акваториях и сейсмоакустика верхней части осадочного разреза // Геодинамические основы прогнозирования нефтегазоносности. Тез. докл. 1 Всес. конф. М.: МИНГ им. Губкина, 1988. Ч. 2. С. 372-373.
- Надежный А.М., Бондаренко В.И. Газовые гидраты в Прикамчатско-припарамуширской части Охотского моря // Докл. АН СССР. 1989. Т. 306. № 5. С. 1192-1195.
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.
- Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
- Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И. и др. Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 1999. 184 с.
- Обжиров А.И., Казанский Б.А., Мельниченко Ю.И. Эффект звукорассеивания природной воды в краевых частях Охотского моря // Тихоокеанская геология. 1989. № 2. С. 119-121.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Под ред. Ю.М. Пушаровского. М.: Наука, 1992. 528 с.
- Селиверстов Н.И., Бондаренко В.И. Критерии диагностики и корреляции подводных вулканических образований по данным НСП // Вулканология и сейсмология. 1983. № 4. С. 3-18.
- Смирнов Я.Б., Сугробов В.М. Земной тепловой поток в Курило-Камчатской и Алеутской провинциях: Тепловой поток и тектоника // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 59-73.
- Смирнов Я.Б., Сугробов В.М. Земной тепловой поток в Курило-Камчатской и Алеутской провинциях: Оценка глубинных температур и мощности литосферы // Вулканология и сейсмология. 1980. № 2. С. 3-18.
- Соловьев В.А. Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. 2003. Т. 157. № 3. С. 59-69.
- Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д., Дуглас В.К. и др. Газовые гидраты Охотского моря // Отечественная геология. 1994. № 2. С. 10-17.
- Стефанон А. Акустические характеристики газонасыщенных осадков северной части Адриатического моря // Акустика дна океана / Под ред. У. Купермана и Ф.М. Енсена. М.: Мир, 1984. С. 59-64.
- Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря / Отв. ред. К.Ф. Сергеев. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 160 с.
- Черткова Л.В., Гусева В.И. Роль подводных термальных выходов в формировании газогидрохимического состава морских вод Курильской островной дуги // ДАН СССР. 1986. Т. 290. № 5. С. 1229-1233.
- Черткова Л.В., Стунжас П.А. Геохимия газов Парамуширского подводного источника (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 1990. № 3. С. 36-50.
- Basov E.I., T.C.E. van Weering, C. Gaedike et al. Seismic facies and specific character of the bottom simulating reflector on the western margin of Paramushir island, Sea of Okhotsk // Geo-Marine Letters. 1996. № 16. P. 297-304.

- Emery K.O.* Pagoda structures in marine sediments // *Natur. Gasses Mar. Sediments.* New York – London, 1974. P. 309-317.
- Gaedicke C., Baranov B.V., Obzhirov A.I. et al.* Seismic stratigraphy, BSR distribution and venting of metan - rich fluids west off Paramushir and Onkotan Islands, northern Kurils // *Marine Geology.* 1997, Vol. 136. P. 259-276.
- Hovland M., Judd A.G.* Seabed Pockmarks and seepages. Graham and Trotman, 1988. 293 p.
- Ladd J.W., Ibrahim A.K., McMillen et al.* Interpretation of seismic reflection data of the Middle America trench offshore Guatemala // *Initial report of Deep sea Drilling Project.* 1982. Vol. 67. P. 675-689.
- Macleod M.K.* Gas Hydrates in Ocean Bottom sediments // *AAPG Bull.*, 1982. Vol. 66. № 12. P. 2649-2662.
- Merewether R., Ollson M.I., Lonsdale P.* Acoustically detected hydrocarbon plumes from 2-km depth in Guaymos Basin, Gulf of California // *Geophys. Res.* 1985. Vol. 90. № 134. P. 3076-3085.
- Soloviev V.A., Ginsburg G.D.* Formation of submarine gas hydrates // *Bul. of the Geological society of Denmark.* 1994. Vol. 41. P. 80-85.
- Soloviev V.A., Ginsburg G.D.* Water segregation in the course of gas hydrate formation and accumulation in submarine gas seepage fields // *Marine Geology.* 1997. Vol.137. №1-2. P. 55-68.

A SUBMARINE VOLCANIC ZONE TO THE WEST OF PARAMUSHIR ISLAND (KURIL ISLAND ARC)

V. I. Bondarenko¹, V. A. Rashidov²

¹ *Kostroma State University named after N.A., 156000; e-mail: vibond@list.ru;*

² *Institute for Volacnology and Seismology, FED RAS, Petropavlovsk-Kamhatsky 683006; e-mail: rashidva@kscnet.ru*

We study geological structure of the connate underwater volcanic zone to the west of Paramushir Island according to the data of geophysical investigations carried out during eight sailings of the research vessel "Volcanolog" in 1981-1991.