

УДК 551.24 (268+98)

## ПРИЗНАКИ ПРИСУТСТВИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА НА БОРТАХ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ МОЛЛОЙ (ПРОЛИВ ФРАМА, НОРВЕЖСКО-ГРЕНЛАНДСКИЙ БАССЕЙН)

*Н.П. Чамов, К.О. Добролюбова, А.А. Пейве, С.Ю. Соколов*

*Геологический институт РАН, Москва*

Поступила в редакцию 13.06.07

В 24-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» среди хорошо стратифицированных осадков юго-западного борта разломной зоны Моллой методом акустического профилирования выявлены бесструктурные осветленные участки («светлые пятна», «blankings») разного размера. Появление таких пятен связано с уменьшением амплитуды сейсмических волн в интервалах разуплотненных осадков и тесно коррелирует с их гидратонасыщенностью. Мелкие пятна линзовидной формы ориентированы по напластованию и выделяются в пределах некоторых пластов в виде локальных обособлений. Наблюдаются и более крупные округлые и вертикально вытянутые пятна, пронизывающие слоистость. Эти образования представляются «карманами», куда нагнетается газоносный флюид при движении по субвертикальным тектоническим нарушениям, которые всегда сопутствуют данным образованиям и прослеживаются в глубину осадочного разреза. Некоторые светлые пятна непосредственно приурочены к тектоническим нарушениям и имеют вид инъекционных субвертикальных структур (каналов). Такие каналы соединяют акустически прозрачные линзы, расположенные на разных гипсометрических уровнях и либо затухают в осадочной толще, либо прослеживаются до поверхности дна при наличии крупных разрывов. К северо-востоку от разломной зоны на континентальном склоне Западного Шпицбергена на площади распространения псевдодонных рефлекторов (BSR) сонарной съемкой обнаружены отдельные округлые формы рельефа, являющиеся, вероятно, растущими грязевыми вулканами. Южнее установлены скопления воронкообразных кальдер проседания («оспин», «rockmarks»). Они явно связаны с серией тектонических нарушений северо-западного простирания и, вероятно, образованы в результате проседания части осадков в местах концентрированной разгрузки крупного объема газонасыщенного флюида. Полученные данные свидетельствуют об интенсивных процессах дегазации и накопления газогидратов в верхней части осадочного чехла в обрамлении разломной зоны Моллой. Движущей силой этого процесса считается крупномасштабный правый сдвиг, определяющий геодинамический режим изученного региона.

Район Западно-Арктической континентальной окраины Евразии вызывает большой интерес в связи с перспективой обнаружения крупных скоплений углеводородов. В этой сложно построенной зоне деструкции континентальной коры и новообразования океанической коры на фоне интенсивной седиментации сложились предпосылки для крупномасштабной дегазации недр и накопления газа (прежде всего метана) в виде газогидратов и подгидратных залежей.

Дистанционные сейсмоакустические методы позволяют с высокой степенью точности выделить в геофизических разрезах слои, содержащие газогидраты, а также нередко залегающие под ними скопления свободных газов. Для выделения скоплений газогидратов используют три основных критерия: ложные рефлекторы дна, или псевдодонные отражения (BSR), скачкообразное снижение скорости сейсмических волн на границе BSR при вхождении в подгидратные залежи свободного газа и «светлые пятна» («blanking»), связанные с уменьшением амплитуды сейсмических волн [Валяев, 1999].

В 2006 г. в рамках программы 17 президиума РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология,

экология» в Норвежско-Гренландском бассейне проведена 24-я комплексная геолого-геофизическая экспедиция НИС «Академик Николай Страхов» (рис. 1). Одним из результатов исследований стало выявление признаков миграции поровых флюидов в верхней части осадочного чехла в обрамлении разломной зоны Моллой. Полученные данные свидетельствуют о значительной площади области дегазации недр, выходящей далеко за пределы участка на северо-восточном борту разломной зоны, где ранее были выявлены псевдодонные рефлекторы [Vanneste et al., 2005].

Настоящая статья посвящена сопоставлению флангов разломной зоны Моллой и обсуждению возможных механизмов формирования залежей углеводородов.

### Методы исследования

Изучение поверхности океанского дна проводилось с помощью гидроакустического комплекса SeaBat фирмы "Reson", в который входят глубоководный (SeaBat 8150) и мелководный (SeaBat 8111) эхолоты и встроенный сонар бокового обзора, интегрированные с профилографом EdgeTech 3300 и системой ориентирования Octans,

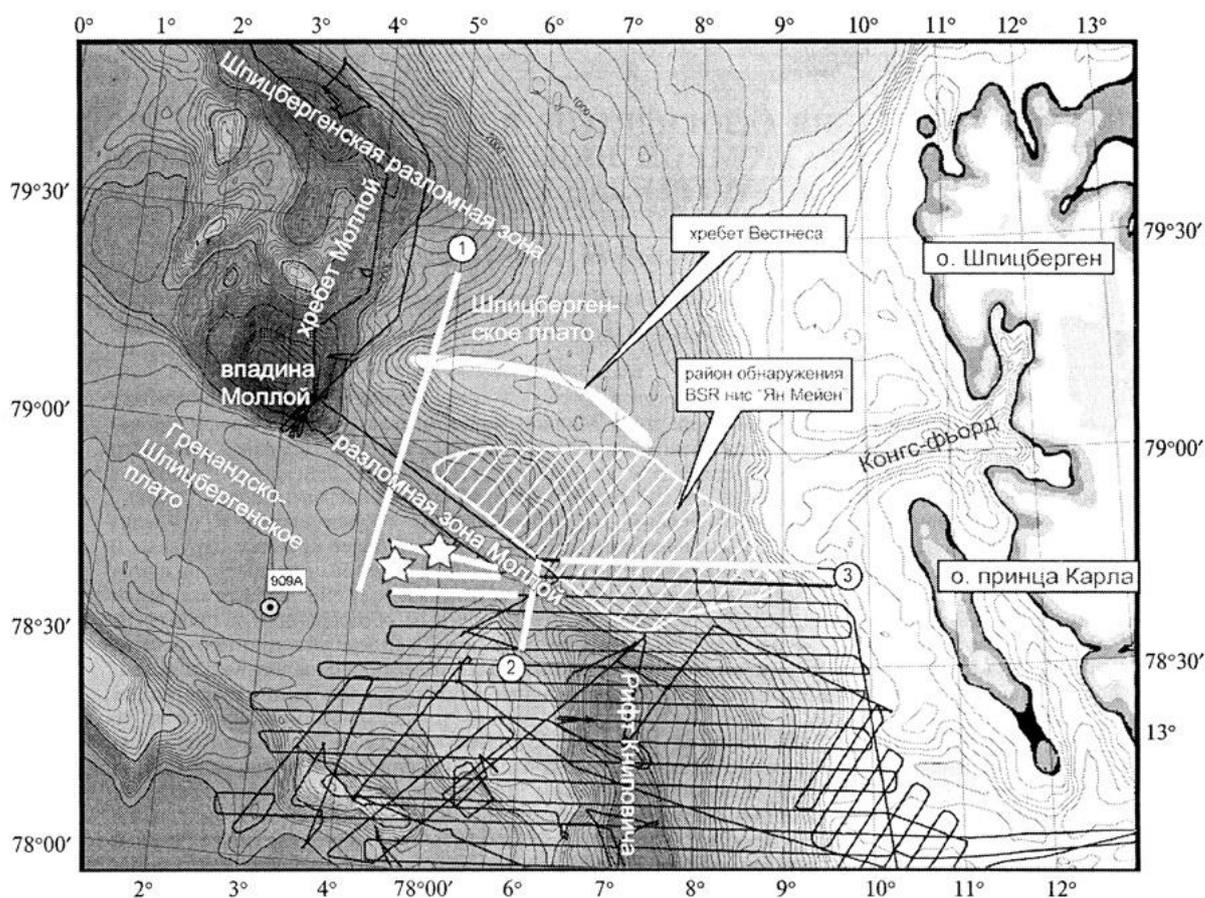


Рис. 1. Главные морфоструктуры в проливе Фрама:  
 Сейсмические профили: 1 — МОВ ОГТ, по [1]; 2, 3 — НСП (данные 24-го рейса НИС «Академик Николай Страхов», 2006 г.). Звездочками показано положение фрагментов акустической съемки, приведенных на рис. 5

датчиком скорости звука у антенн эхолотов SVP-70 и внешним датчиком для измерения скорости звука в водной толще SVP-24. Получаемые данные собирались и обрабатывались с помощью программного пакета PDS 2000 (Дания), SonarWiz (США) и RadExPro 3.7 (Россия).

Акустическое изучение верхней части осадочного чехла проводилось с помощью непараметрического профилографа EdgeTech 3300 (США), предназначенного для картирования строения верхней части осадочного чехла до глубин 50-100 м ниже поверхности морского дна на частотах от 2 до 6 кГц. Детальность исследований обеспечивалась высоким разрешением профилографа, составляющим от 0,1 до 1 м. Для целей первичной визуализации использовалась базовая программа EdgeTech. Исходные файлы, полученные в ходе акустической съемки, были подвергнуты дополнительной обработке для удаления ненужной информации и перевода данных в стандартный сейсмический формат SEG-Y с использованием программы, разработанной С.Ю. Соколовым (ГИН РАН). Эта процедура позволила значительно ускорить процесс обработки данных профилографа.

Картирование мощности осадочного чехла, залегающего на акустическом фундаменте, изучение его акустической стратификации и тектонической деформированности проводились методом непрерывного сеймопрофилирования (НСП) с помощью оригинальных буксируемых пневмоизлучателей ПСК-75 (Ефимов, 1992, 1998, 2002, 2003) с типоразмерами рабочих камер 0,5 и 1 л. В ходе съемки средняя эффективная отражающая площадка от трассы к трассе имела перекрытие 87%, что обеспечило приемлемую коррелируемость разреза при наличии осадочного чехла.

#### Геологическое строение района

Главной структурой рассматриваемого в данной статье участка комплексных геолого-геофизических исследований 24-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» служит разломная зона Моллой, по которой происходит трансформное смещение рифтов Книповича и Моллой. Кроме того, разломная зона является структурной границей Шпицбергенского и Гренландско-Шпицбергенского плато (рис. 1).

**Разломная зона Моллой** соединяет рифты Книповича на юго-востоке и Моллой на северо-западе. В месте пересечения с разломной зоной Моллой рифт Книповича максимально приближен к континентальной окраине. Рифт Книповича является северным окончанием системы срединных хребтов Атлантического океана и характеризуется наиболее медленным и косо ориентированным по отношению к осевой части растяжением [Crane et al., 2001]. Структурный рисунок составляющих рифт кулисно подстраивающих друг друга бассейнов типа «пулл-апарт» свидетельствует о декстральных сдвиговых деформациях.

В месте пересечения разломной зоны Моллой и рифта Моллой расположена изометричная в плане впадина Моллой глубиной до 5500 м от поверхности моря. Структурная глубина впадины превышает 2 км. Крутизна бортов очень велика и составляет в среднем 20°, однако на отдельных участках превышает 30°. Рельеф впадины осложнен разломами и оползневыми телами, а на южном склоне, по-видимому, и каньонами.

Рифт Моллой протягивается с юго-запада от впадины Моллой до Шпицбергенской зоны разломов на северо-востоке и служит северо-западной структурной границей Шпицбергенского плато. Рифт представляет собой непротяженную долину с уступами на восточном склоне, образованными за счет сбросовых нарушений северо-восточного простирания. Северо-западный борт долины приподнят и образует хр. Моллой, который протягивается параллельно рифту с юго-запада на северо-восток, имеет длину свыше 40 км и относительную высоту около 1,5 км. Наиболее высокая точка хребта расположена на глубине 2000 м.

В целом разломная зона Моллой представляет собой сложную сдвиговую зону, для которой в результате анализа расположения эпицентров современных землетрясений была установлена правосторонняя компонента сдвиговых перемещений [Savostin & Karasik, 1981]. По простиранию разломной зоны наблюдается ступенчатое погружение дна от 2200 м вблизи сочленения с рифтом Книповича до 3000 м в районе впадины Моллой. На бортах разломной зоны прослеживаются серии уступов длиной от 4 до 60 км, осложненные поперечными нарушениями.

В пределах разломной зоны, по сейсмическим данным, четко прослеживаются два доминантных желоба, частично сnivelированные осадочным чехлом. В более глубоком южном желобе хорошо видны

многочисленные крутые поверхности сместителей нормальных сбросов и переработанные (перетертые) осадки с нарушенной стратификацией. Отсутствие запечатывающей покрывки свидетельствует о том, что сдвиговые процессы в этой зоне имеют современный возраст.

Юго-западный склон разломной зоны более крутой и погружается к осевой части с уклоном от 5-10 до 20°. Северо-восточный склон более пологий (угол наклона поверхности не превышает 10°), поскольку он значительно сглажен мощной толщей осадков, поступающих с континентального склона о. Шпицберген (рис. 2, а).

Признаки тектонических нарушений фиксируются в разрезе как осадочного чехла, так и фундамента. На сейсмическом профиле, полученном ПГО «Севморгеология» [Батурин и Нечхаев, 1989], фиксируется система ступенчатых сбросов, по которой океанический фундамент погружается в сторону разломной зоны Моллой (рис. 2, б).

**Шпицбергенское краевое плато** ограничивается с северо-запада разломом Моллой, с востока - зоной разломов Хорнсунн на внешней части шельфа Западного Шпицбергена, а с севера - Шпицбергенской разломной зоной.

По данным Морской арктической геолого-разведочной экспедиции ПГО «Севморгеология» 1985-1986 гг., граница Мохоровичича поднимается с глубины 24 км на шельфе о. Шпицберген до 13 км в средней части плато, сохраняясь на этом гипсометрическом уровне в направлении глубоководной котловины. Океанический фундамент выступает на поверхности дна моря у сбросового уступа внешней части плато, в районе рифта Моллой, и погружается в сторону континента в виде серии ступенчатых блоков с амплитудой сбросов от 0,4 до 1,5 км. Размеры блоков изменяются от 0,3 до 1,0 км. Наклоны поверхности сбросов достигают 20°. Поверхность континентального фундамента в этой зоне, как и все вышерасположенные горизонты, наклонена в сторону океана [Батурин и Нечхаев, 1989].

В пределах Шпицбергенского краевого плато мощной толщей осадков практически полностью компенсирован рельеф сочленения океанического и континентального фундамента. Осадочные комплексы представляют собой отложения конусов выноса фьордов о. Шпицберген. Общая мощность превышает 5 км [Батурин и Нечхаев, 1989].

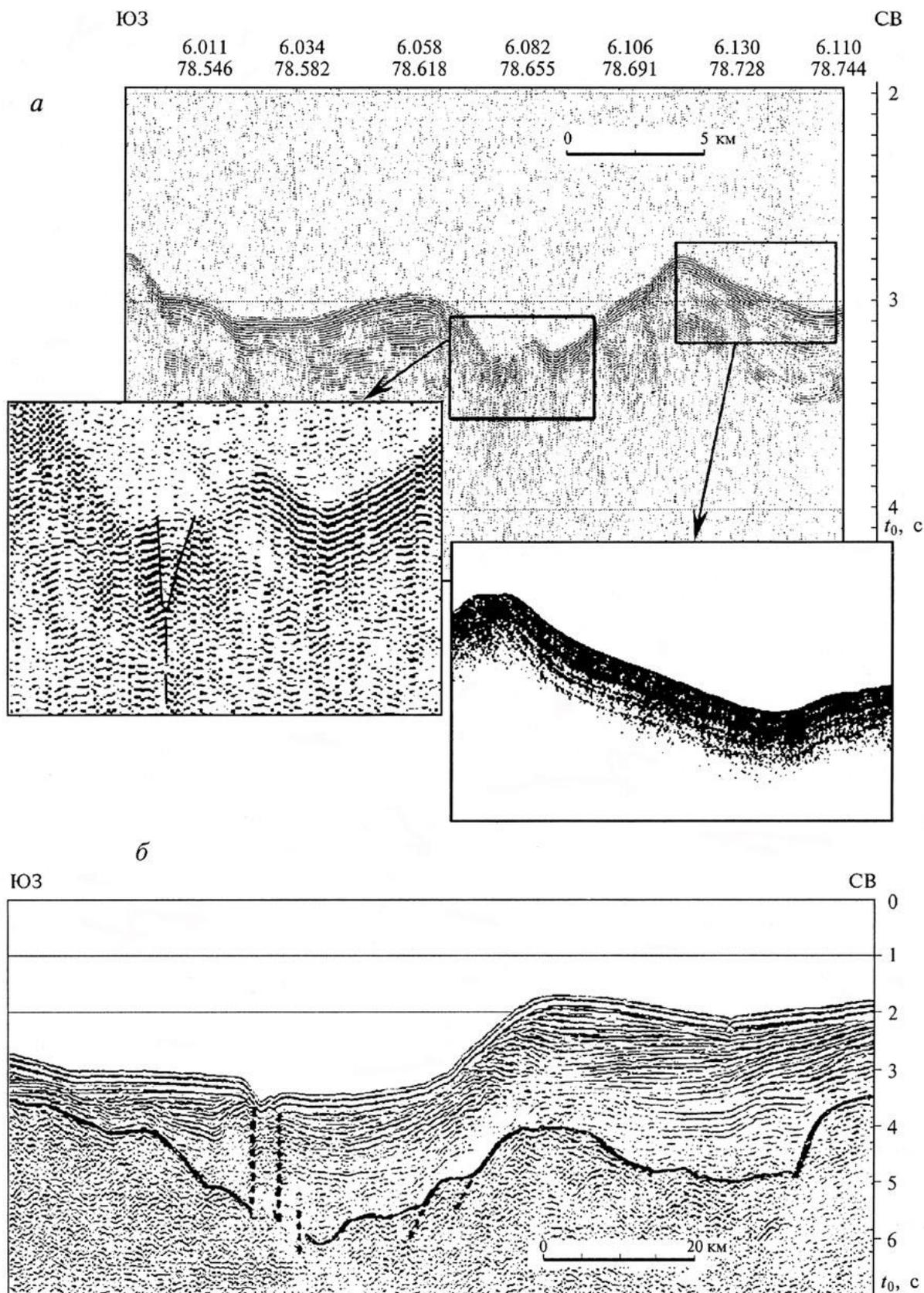


Рис. 2. Сейсмические разрезы вкост простираия разломной зоны Моллой:  
*a* — по профилю 2, *б* — по профилю 1 (положение профилей см. на рис. 1)

По нашим данным, континентальный склон здесь имеет ступенчатое строение. Осадочный чехол хорошо стратифицирован, характеризуется субпараллельным и волнистым напластованием и прослеживается методом

акустического профилирования до глубины около 75 м ниже поверхности дна (рис. 3, а), а методом непрерывного сейсмического профилирования до глубин в первые сотни метров (рис. 3, б). Оба дистанционных метода

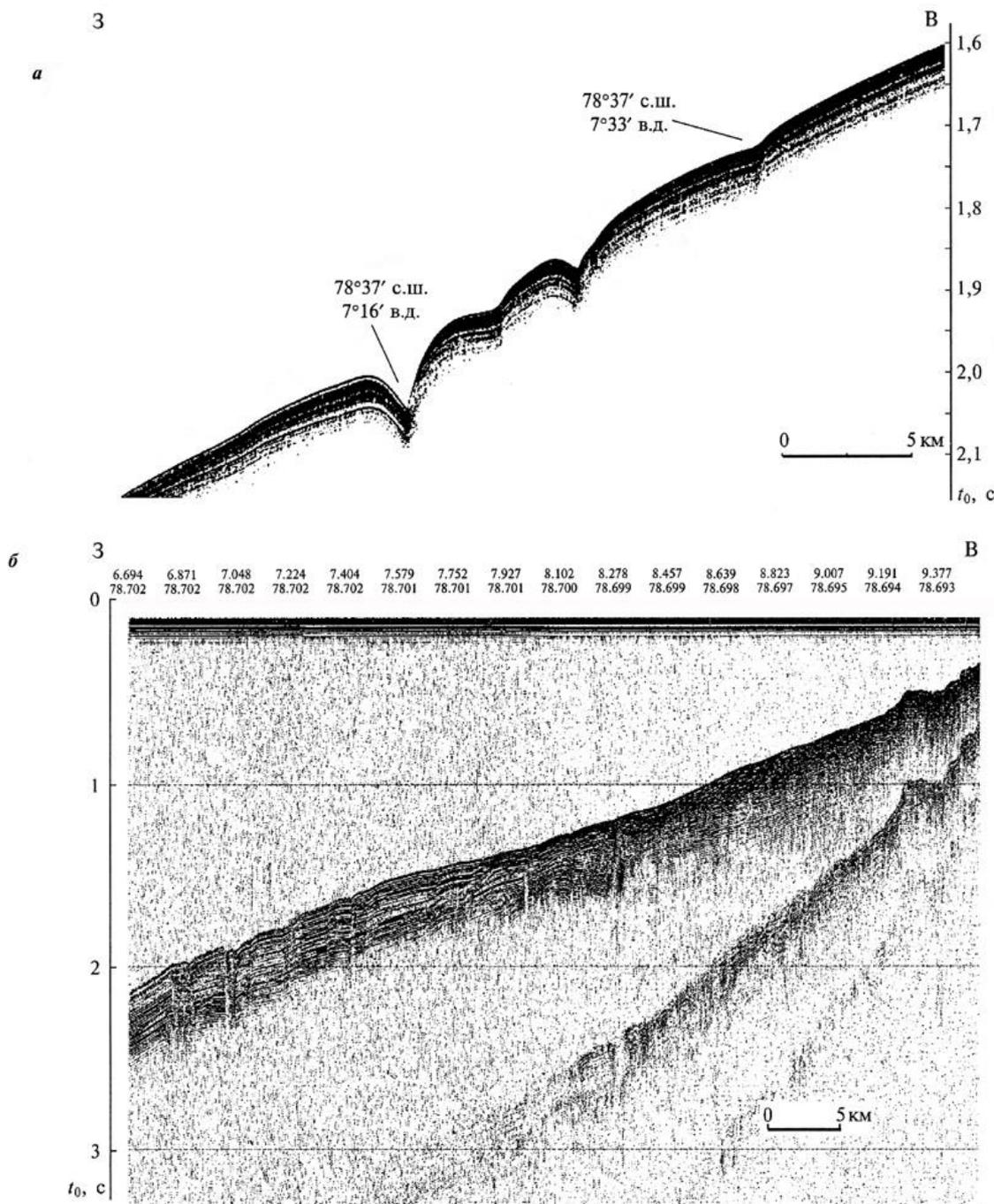


Рис. 3. Строение верхней части осадочного чехла континентального склона по данным акустического (а) и непрерывного сейсмического (б) профилирования по профилю 3 (по данным 24-го рейса НИС «Академик Николай Страхов», 2006 г.). Положение профиля см. на рис. 1

показывают многочисленные несогласия в осадочном разрезе, что обусловлено как вариациями динамики седиментационного режима, так и постседиментационными деформациями толщ оползневыми и тектоническими (сбросовыми) процессами. В средней части склона наблюдаются многочисленные субвертикальные тектонические нарушения, пронизывающие всю осадочную толщу.

Одноканальной сейсмической съемкой с борта НИС «Ян Майен» летом 2001 г. выявлены интенсивные псевдодонные рефлекторы (BSR) в толще относительно

молодых (0,78 млн лет) осадков вдоль западной континентальной окраины архипелага Свальбард [Vanneste et al., 2005]. Область наблюдения BSR и возможного накопления газогидратов площадью около 1600 км<sup>2</sup> ограничена крупными тектоническими структурами: разломной зоной Моллой, рифтом Книповича и тектоническим эскарпом - хр. Вестнеса (рис. 1). Восточная граница площади определена нечетко, что связано со сложным строением осадочного чехла в верхней части континентального склона. Наличие слабопроницаемых ледниковых отложений подводного конуса выноса препятствует

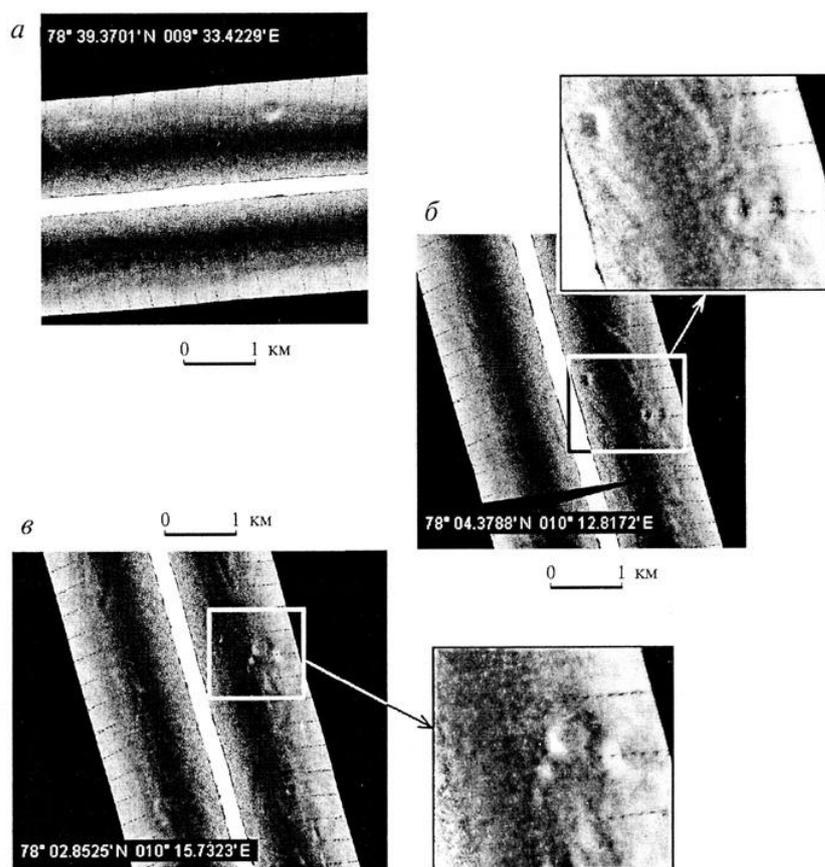


Рис. 4. Фрагменты поверхности дна, снятые боковым сонаром:  
 а — предполагаемый грязевой вулкан; б, в — кальдеры проседания в осадочном чехле континентального склона (по данным 24-го рейса НИС «Академик Николай Страхов», 2006 г.)

формированию гидратов на континентальном склоне. Эта закономерность справедлива для всей центральной части норвежской окраины [Bunz et al., 2003]. Потенциальная площадь распространения гидратов составляет около 1600 км<sup>2</sup> на глубине поверхности дна 750-2500 м. Следует отметить, что изобата 750 м находится мористее границы перехода от океана к континенту [Ritzmann et al., 2004], из чего следует, что вся гидратсодержащая область подстилается океанической корой.

Поданным М. Ваннесте и др. [Vanneste et al., 2005], псевдодонное отражение представляет собой практически сплошной рефлектор, хотя его амплитуда варьирует латерально и повторяет морфологию морского дна на глубине около 210-280 м. Повышенная отражающая способность и меньшие частоты характерны для интервала в несколько десятков миллисекунд TWT ниже уровня BSR, что свидетельствует о присутствии латерально изменчивых скоплений газа внутри порового пространства некоторых литологических пачек. Амплитуда псевдодонных отражений уменьшается вверх по склону, и они обычно теряются на глубинах около 850 м близ устья каньона Конгс-фьорд, намного ниже

центрального типа (рис. 4, а). Южнее выявлены воронкообразные кальдеры («оспины», «rockmarks»), образованные, вероятно, в результате проседания части осадков в местах концентрированной разгрузки значительного объема газонасыщенного флюида. Эти структуры встречаются как группами (рис. 4, б), так и поодиночке (рис. 4, в), достигая в диаметре от первых десятков до сотен метров. Хорошо видно, что группы кальдер тяготеют к линейным формам рельефа, которые маркируют выход на поверхность дна тектонических нарушений северо-западного простирания (рис. 4, б).

**Гренландско-Шпицбергенское плато** расположено между разломной зоной Моллой и системой хребтов Ховгарда. В рельефе дна плато выражено как выровненная слабонаклонная структура, которая протягивается в северо-западном направлении до материкового склона Гренландии. Ширина плато остается неизменной практически на всем протяжении и составляет 64-65 км. Нами изучен восточный край плато длиной 24 км. Глубины здесь увеличиваются с востока на запад от 2200 до 2350 м, уклон не превышает 1-1,5°. Рельеф выровненный, пологоволнистый.

критической глубины поля стабильности метаногидратов в районе, которая оценивается в 360 м [Vanneste et al., 2005].

Акустически светлых пятен в осадочном чехле, позволяющих связать их с миграцией поровых флюидов, нами обнаружено не было. В то же время, по данным сонарной съемки, на континентальном склоне Западного Шпицбергена нами обнаружены округлые формы рельефа, генетически связанные с восходящей миграцией газонасыщенных флюидов.

К северо-востоку от разломной зоны на континентальном склоне Западного Шпицбергена на площади распространения псевдодонных рефлекторов (BSR) сонарной съемкой обнаружена положительная форма рельефа, напоминающая вулканический аппарат

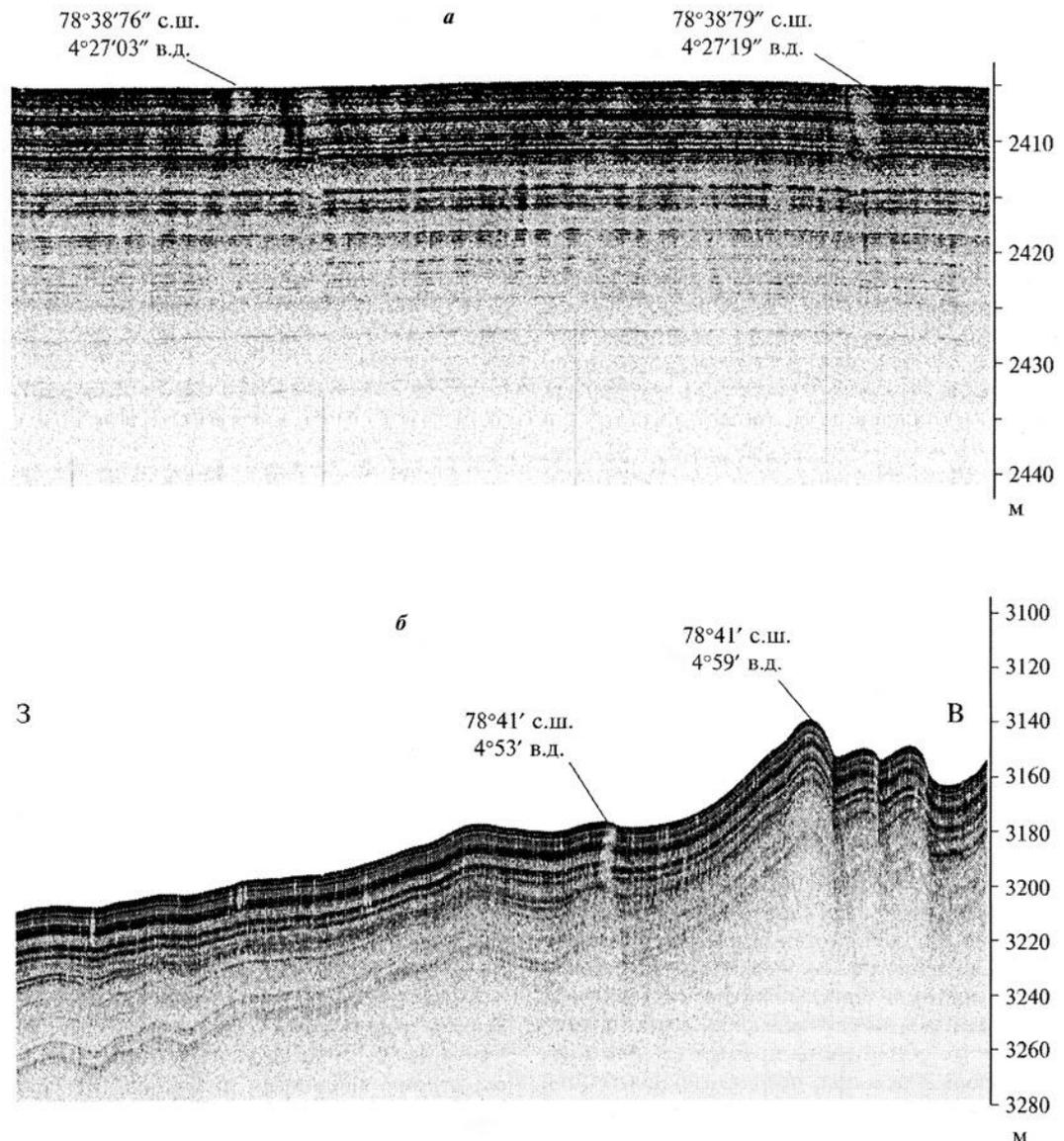


Рис. 5. Участки осветления в акустических разрезах верхней части осадочного чехла к юго-западу от разломной зоны Моллой (положение разрезов см. на рис. 1)

По сейсмическим данным, в пределах плато фиксируются осадочные комплексы небольшой мощности предположительно олигоценевого возраста. Только в северо-восточной части плато вблизи зоны соединения хр. Книповича и разломной зоны Моллой отмечается погружение фундамента и формирование толщи осадков мощностью около 2 км.

Возможно, что Гренландско-Шпицбергенское плато и примыкающий к нему асейсмичный хр. Ховгард, имеющий континентальную кору, являются останцами некогда единого Гренландско-Шпицбергенского киммерийского подвижного пояса, вовлеченного в процесс океанизации [Гусев, 1999].

По данным акустического профилирования, в строении верхней части осадочного чехла

наблюдаются две пачки, различные по своим акустическим свойствам (рис. 4). Верхняя пачка представлена тонким переслаиванием (1-5 м) акустически контрастных темных и светлых пластов, сложенных, как мыслится, преимущественно глинистыми и песчанистыми отложениями соответственно. Общая мощность этой пачки значительно варьирует, достигая 20-25 м. Вероятно, что она сложена голоценовыми хорошо сортированными отложениями, поднятыми нами в ряде грунтовых труб.

Нижняя пачка акустически менее контрастна и обнаруживает плохо оформленную слоистость отложений. Исходя из косвенного сопоставления с данными глубоководного бурения в этом районе можно предположить, что толща представлена четвертичными, в том числе ледниковыми,

слабосортированными отложениями. Видимая мощность пачки составляет около 30 м.

Среди хорошо стратифицированных осадков методом акустического профилирования выявлены бесструктурные осветленные участки («светлые пятна», «blankings») разного размера. Появление таких пятен связано с уменьшением амплитуды сейсмических волн в интервалах разуплотненных осадков и тесно коррелирует с их гидратонасыщенностью. Мелкие пятна линзовидной формы ориентированы по напластованию и выделяются в пределах некоторых пластов в виде локальных обособлений. Особенно отчетливо они проявлены среди хорошо стратифицированных контрастных отложений верхней пачки. Наблюдаются и более крупные округлые и вертикально вытянутые пятна (до 10 м подлинной оси), пронизывающие слоистость (рис. 5, а). Эти образования представляются «карманами», куда нагнетается газоносный флюид при движении по субвертикальным тектоническим нарушениям, которые всегда сопутствуют данным образованиям и прослеживаются в глубину осадочного разреза на десятки метров. Некоторые светлые пятна непосредственно приурочены к тектоническим нарушениям и имеют вид инъекционных субвертикальных структур (каналов) протяженностью от первых метров до нескольких десятков метров (рис. 5, б). Такие каналы соединяют акустически прозрачные линзы, расположенные на разных гипсометрических уровнях и либо затухают в осадочной толще, либо прослеживаются до поверхности дна при наличии крупных разрывов. На рис. 5, б в хорошо видно, что инъекционная структура с координатами 78°41' с.ш. и 4°53' в.д. приурочена к вертикальному тектоническому нарушению и проникает сквозь верхнюю часть чехла из отложений нижней пачки до поверхности дна.

Наблюдаемые акустически прозрачные тела и приразломные инъекционные структуры характерны для областей восходящей миграции поровых флюидов. Существование необходимой для реализации данного процесса обстановки тектонического сжатия подчеркивается наличием отчетливо проявленных малоамплитудных взбросов.

### Обсуждение

Из перечисленных трех основных критериев для выделения скоплений газогидратов в обрамлении разломной зоны Моллой дистанционными методами уверенно

установлены два - псевдодонные отражения на северо-восток и «светлые пятна», связанные с уменьшением амплитуды сейсмических волн, на юго-запад. Кроме того, обнаружены положительные и отрицательные формы рельефа, представляющие собой предположительно грязевой вулкан и кальдеры проседания, связанные с нагнетанием и разгрузкой газонасыщенных флюидов.

Хотя данных о скачкообразном снижении скорости сейсмических волн на границе BSR при вхождении в подгидратные залежи свободного газа (третий критерий [Валяев, 1999]) нет, повышенная отражающая способность и меньшие частоты характерны для интервала в несколько десятков миллисекунд TWT ниже уровня BSR, что свидетельствует о присутствии латерально изменчивых скоплений газа внутри порового пространства некоторых литологических пачек [Vanneste et al., 2005].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в обрамлении разломной зоны Моллой происходит вертикальная и латеральная миграция флюидов в верхней части осадочного чехла. Процесс этот имеет различную интенсивность. На большей части территории видимые признаки разгрузки флюидов, такие, как факелы в водной толще или грязевые вулканы, отсутствуют даже в том случае, когда осветленные пятна хорошо читаются в акустическом разрезе. Это доказывает то, что преобладает постепенное равномерное просачивание газоносного флюида сквозь осадочную толщу. Такое представление хорошо согласуется как с данными опробования придонных вод, в которых содержание метана лишь слабо повышено и соответственно подводная разгрузка метана ограничена [Knies et al., 2004], так и с наблюдениями о сплошном характере псевдодонного рефлектора: формирующиеся в поле стабильности метана газогидраты служат природным экраном, не позволяющим свободному газу из подгидратных залежей достичь поверхности морского дна.

В то же время очевидная приуроченность осветленных участков к тектоническим нарушениям (рис. 5, б) позволяет предположить наличие участков концентрированной разгрузки флюидов. Это же подтверждается как исчезновением BSR, так и повышением теплового потока вблизи нарушений, где сплошность газогидратов прерывается и может происходить концентрированное проникновение свободного газа в толщу воды.

Обнаруженная в 24-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» конусовидная постройка, возможно, представляет собой подводный грязевой вулкан (рис. 4, а). В отличие от многочисленных кальдер проседания в обрамлении участка накопления газогидратов конусовидная постройка расположена в пределах площади хорошо выраженных BSR, т.е. над газогидратной покрывкой. Можно предположить, что эта морфоструктура связана с процессами диапиризма в осадочной толще, а отсутствие выраженного факела над ней в толще воды обусловлено либо начальными этапами ее формирования, либо прерывистым (пульсационным) характером разгрузки флюидов.

Выходы углеводородных газов обычно сопровождаются разгрузками теплых вод. Морфологически они чаще всего выражены в рельефе дна холмами или округлыми впадинами диаметром от нескольких до сотен метров. Обнаруженные нами южнее, вне поля развития BSR, кальдеры проседания образованы, вероятно, за счет разгрузки подгидратных залежей и маркируют юго-восточный фланг разгрузки метана из области накопления газогидратов. Скорее всего они генетически родственны воронкам («оспинам»), широко развитым вдоль хр. Ваннесте на северной периферии площади развития BSR.

Тектонические напряжения и создание внутрипластового давления, обеспечивающего восходящее движение флюидов в районе исследований, наиболее вероятно связано с крупномасштабными сдвиговыми деформациями. Действительно, правосторонняя компонента сдвиговых перемещений установлена как в разломной зоне Моллой [Savostin & Karasik, 1981], так и в рифте Книповича, развитие которого связывают с эволюцией зоны детачмента, формирующейся по механизму простого сдвига [Crane et al., 2001]. Обе эти крупные тектонические структуры представляются главными каналами дегазации недр в данном районе. Контролирующая роль разрывных нарушений по отношению к скоплениям газогидратов как каналов вторжения глубинных углеводородов в осадочный разрез неоднократно подчеркивалась П.Н. Кропоткиным и его учениками [Валяев, 1999].

Анализ расположения площади развития BSR и участков развития в акустическом разрезе светлых пятен позволяет сделать предварительные предположения о различии процессов накопления гидратов на юго-

западном и северо-восточном бортах разломной зоны Моллой.

Наиболее благоприятным для накопления газогидратов является участок на северо-восток от разломной зоны, который картируется по наличию интенсивных и непрерывных псевдодонных рефлекторов. Положение этого участка в структуре региона неслучайно и определено рядом факторов, благоприятных для накопления газогидратов.

Во-первых, участок приурочен к области интенсивной поставки молодых обводненных осадков - устью каньона Конгс-фьорд. Именно обводненные неконсолидированные осадочные отложения, не содержащие в своем разрезе изолирующих покрывок, обычно служат вмещающими для скоплений газогидратов [Гинсбург и Соловьев, 1994].

Во-вторых, участок приурочен к основанию континентального склона, в сторону которого направлены сдвиговые перемещения. Тектоническая обстановка здесь сходна с обстановками на активных окраинах континентов, где в результате взаимодействия океанической и континентальной плит происходит срезание части осадочного чехла с формированием специфических осадочных тел - аккреционных призм (АП). Прогрессивное тектоническое напряжение в теле АП определяет создание внутрипластового давления, что обеспечивает восходящее движение флюидов и связанные с ними процессы преобразования осадков и накопления газогидратов [Чамов, 2002]. Падение тектонических напряжений на периферии АП способствует оттоку части газонасыщенных флюидов и их разгрузке в толщу воды. Представляется вероятным, что отражением именно этого процесса являются кальдеры проседания в обрамлении участка развития BSR.

Иные условия сложились на юго-западном борту разломной зоны Моллой, которая служит структурной ловушкой для поступающих с континентального склона молодых осадков. В результате миграция газонасыщенных флюидов происходит в относительно более древней и существенно уплотненной осадочной толще. Наблюдаемые в акустическом разрезе бесструктурные светлые пятна свидетельствуют о миграции флюидов и формировании обводненных насыщенных газом участков (пльвунов, газовых пузырей), следствием чего является полное уничтожение первичных осадочных текстур. Однако процесс этот происходит преимущественно по тектонически ослабленным зонам (вдоль

разломов и зон трещиноватости) и по наиболее проницаемым литологически грубозернистым (песчано-гравийным) разностям. Как следствие обнаружение на юго-западном борту разломной зоны Моллой участков с непрерывным развитием псевдодонных рефлекторов представляется маловероятным.

Периферическая разгрузка свободного газа имеет место и здесь, причем прослеживается на значительные расстояния от разломной зоны Моллой. В частности, на станции 909 ODP отмечено повышенное содержание

небиогенного метана, хотя следов собственно газогидратов обнаружено не было [*Chow et al., 1996*].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 06-05-64152, 06-05-65223 и грантов Ведущих научных школ НШ-9664.2006.5, НШ-7559.2006.5

Авторы выражают благодарность всем членам экипажа судна «Академик Николай Страхов» за огромную помощь, оказанную при проведении исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин Д.Г., Нечхаев С.А. [Глубинное строение Шпицбергенского краевого плато северо-восточной части Гренландского моря](#) // Докл. АН СССР. 1989. Т. 306, № 4. С. 925-930.
2. Валяев Б.М. Тектонический контроль нефтегазоаккумуляции и углеводородной дегазации Земли // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М., 1999. С. 222-252.
3. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. СПб., 1994. 199 с.
4. Гусев Е.А. [К вопросу о возрасте складчатости шпицбергенской континентальной окраины](#) // Тектоника и геодинамика: общие и региональные аспекты: Мат-лы совещ. Т. 1. М., 1999. С. 229-232.
5. Чамов Н.П. Литогенез осадков в аккреционных призмах и его роль в формировании вещества континентальной коры // Вертикальная аккреция земной коры. М., 2002. С. 38-55.
6. Bunz S., Mienert J., Berndt C. [Geological controls on the Storegga gas hydrate system of the mid-Norwegian continental margin](#) // Earth Planet. Sci. Lett. 2003. Vol. 209. P. 291-307.
7. Chow N., Morad S., Al-Aasm I.S. [Origin of authigenic carbonates in Eocene to Quaternary sediments from the Arctic ocean and Norwegian-Greenland sea](#) // Proc. Ocean Drilling Program / Sci. Res. 1996. Vol. 151. P. 415-436.
8. Crane K, Doss H., Vogt P. et al. [The role of the Spitsbergen shear zone in determining morphology, segmentation, and evolution of the Knipovich ridge](#) // Marine Geophys. Res. 2001. Vol. 22. P. 153-205.
9. Knies J., Damm E., Gutt J. et al. [Near-surface hydrocarbon anomalies in shelf sediments off Spitsbergen: Evidences for past seepages](#) // Geochem. Geophys. Geosyst. 2004. Vol. 5. Q06003, doi:06010.01029/02003GC000687.
10. Ritzmann O., Jokat W., Czuba W. et al. [A deep seismic transect from Hovgard Ridge to northwestern Svalbard across the continental-ocean transition: a sheared margin study](#) // Geophys. J. Inter. 2004. Vol. 157. P. 683-702.
11. Savostin L.A., Karasik A.M. [Recent plate tectonics of the Arctic Basin and of the northeastern Asia](#) // Tectonophysics. 1981. Vol. 74. P. 111-145.
12. Vanneste M., Guidard S., Mienert J. [Bottom simulating reflections and geothermal gradients across the western Svalbard Margin](#) // Terra Nova. 2005. Vol. 17, N 6. P. 510-516.

### EVIDENCE OF GASHYDRATES IN UPPER PART OF SEDIMENTARY COVER ADJACENT TO MOLLOY FAULT ZONE (FRAM STRAIT, NORWEGIAN-GREENLAND BASIN)

*N.P. Chamov, K.O. Dobrolyubova, A.A. Peyve, S.Yu. Sokolov*

Sedimentary cover in the vicinity of the Molloy Fault Zone (MFZ) was examined with various methods during 24 cruise of the R/V Akademik Nikolay Strakhov. Acoustic profiling showed the presence of structureless "bright spots" or "blankings" within well-stratified sediments to the southwest of the MFZ. These blankings result from decrease in amplitude of seismic waves within intervals of homogenized sediments and demonstrate strong correlation with their enrichment in hydrates. Small lens-shaped spots are oriented along the bedding. Larger rounded or vertically elongated spots penetrate bedding. These bodies serve as "pockets" which accumulate gas-bearing fluids that migrate upward along normal faults. The latter always accompany such accumulations and could be traced deep in the sedimentary cover. Some of the bright spots are directly restricted to normal faults and represent near-vertical injections or channels. These channels connect acoustically translucent lenses located at various levels and either died out within sediments or reach the bottom surface in case they restricted to large faults. Bottom simulating reflectors (BSR) are recognized to the northeast of the MFZ on the continental shelf of the West Spitsbergen. Side sonar data indicate the presence of single rounded edifices that are believed to represent growing mud volcanoes. Groups of pockmarks are recognized further southward. These forms are evidently restricted to northwest stretching faults and are probably resulted from sediments sinking after expulsion of significant volume of gas. The obtained data reflect the existence of intense processes of gas migration as well as of gas hydrate accumulation in the upper part of sedimentary cover adjacent to the MFZ. The driving force for this process routes in large-scale dextral strike-slip that governs tectonic setting of the studied area.

#### Ссылка на статью:

Чамов Н.П., Добролюбова К.О., Пейве А.А., Соколов С.Ю. **Признаки присутствия газогидратов в верхней части осадочного чехла на бортах разломной зоны Моллой (пролив Фрама, Норвежско-Гренландский бассейн)** // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. Геол. 2008. Т. 83, Вып. 2. С. 51-60.