

УДК 550.4:553.98:552.578

МОРФОТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОТОКОВ МЕТАНА В ОХОТСКОМ МОРЕ

Р.Б. Шакиров, А.И. ОбжировТихоокеанский океанологический
институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток

Целью работы является изучение тектонических закономерностей распределения подводных выходов метана и их выражение в рельефе дна во второй по величине окраинной акватории Тихого океана – Охотском море. Классифицированы различные типы выходов метана, деятельность которых контролируется тектоникой. Подводные и поверхностные проявления природного газа изучались в период 1989-2008 гг. Выходы метана (венты) пространственно и генетически связаны главным образом с залежами нефти и газа, а также со скоплениями свободного газа в верхней части осадочного разреза и газогидратами. Эмиссию CH_4 в районе исследований условно можно разделить на четыре вида: (1) локальные (сосредоточенные) выходы (газовые венты, грязевые вулканы, газогидротермальные источники и др.); (2) продолжительная разгрузка метана из газогидратоносных осадков на СВ склоне о-ва Сахалин; (3) площадное поступление метана над нефтегазоносными структурами через сеть разломов; (4) площадная эмиссия метана в зоне размыва складчатых структур.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что Охотское море является одним из самых активных в северных широтах районов подводной разгрузки метана [1; 11; 5; 22]. В данном районе представлены практически все виды геологических систем разгрузки природного газа. Генетическая связь подводных выходов метана с залежами нефти и газа, скоплениями газогидратов, глубинными разломами, поверхностными разрывами и складками установлена для многих морей северо-западной части Тихого океана [10; 21; 27; 19; 16; 20; 25; 28]. Однако вопросы изучения сложных геологоструктурных условий образования подводных выходов метана в Охотском море остаются по-прежнему дискуссионными, что требует дополнительных исследований. Основными структурами для изучения были выбраны тектонические прогибы в западной части Охотского моря: Северо-Сахалинский, Дерюгинская котловина, Восточно-Дерюгинский грабен,

Пограничный прогиб, прогиб зал. Терпения и Анивский. В осадочных толщах, выполняющих данные прогибы, сосредоточены основные открытые и прогнозируемые скопления углеводородов: нефтегазовые залежи, газогидраты, а также свободный газ в осадочной толще. Одними из основных целей экспедиций с участием авторов были комплексное геологическое и газогеохимические исследования систем разгрузки природного газа в Охотском море и детальное изучение Сахалинского северо-восточного шельфа и склона, где были открыты гидраты метана.

■ МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа основана на материалах, полученных при участии авторов в международных проектах КОМЕХ (Россия – Германия, 1998-2004 гг.), CHAOS (Россия–Япония–Корея, 2003, 2005-2006 гг.), Sakhalin Slope Gas Hydrate Project (SSGH, Россия–Япония–Корея, 2007-

2008 гг.) и данных региональной газогеохимической съемки, выполненной в Охотском море совместно с ФГУНПП «Севморгео» в 2008 г. Подробное изложение методологии исследований приведено в соответствующих отчетах.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Локальные выходы метана

В Охотском море существуют два основных вида локальных выходов метана: с образованием «факелов» - гидроакустических аномалий, отражающих потоки газовых пузырей, и без них. Локальные выходы могут быть также единичными или образовывать скопления. Большинство факелов, согласно тектонической карте Охотоморского региона [15], расположено в пределах прогибов (рис. 1): Северо-Сахалинского (факелы «Николь», «Миллениум»), Дерюгинской котловины (факелы «Гизелла», «Эрвин»

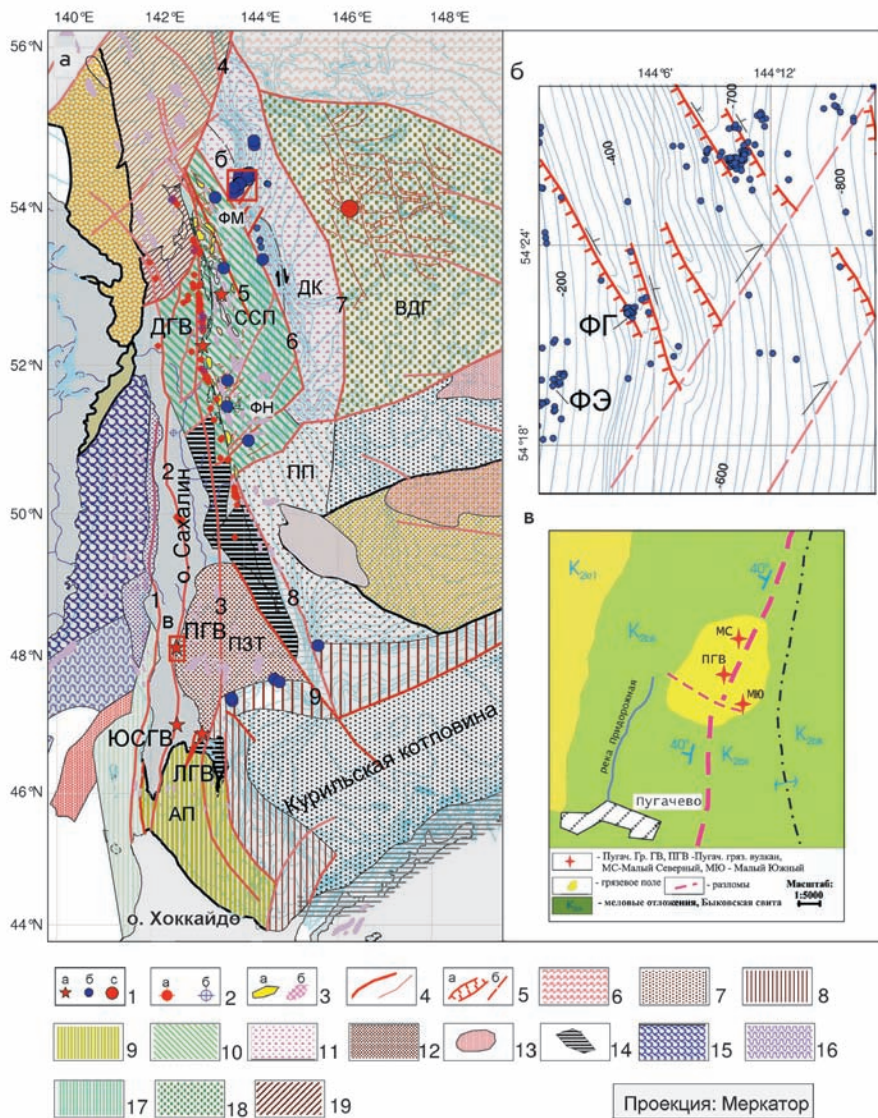


Рис. 1. Тектонический контроль распределения подводных и наземных выходов природного газа в Охотском море и на о-ве Сахалин. Расположение подводных выходов метана и грязевых вулканов в районе исследований на карте тектонического районирования [15] (а); расположение факелов на морфо-тектонической схеме участка с приповерхностными скоплениями газогидратов в осадке (б); структурное положение Пугачевской группы грязевых вулканов (в). Условные обозначения. 1: а – грязевые вулканы, б – факелы (ФМ – «Миллениум», ФН – «Николь», ФГ – «Гизелла», ФЭ – «Эрвин»), с – локальный выход метана во вп. Дерюгина (участок «Баритовых Холмов»); 2: а, б – поверхностные нефте- и газопрооявления (С.Н. Алексеевич, 1959); 3: а – нефтегазовые и газоконденсатные месторождения, б – локальные структуры; 4: а – глубинные разломы и разломные зоны (1 – Западно-Сахалинская, 2 – Центрально-Сахалинская, 3 – Хоккайдо-Сахалинская, 4 – Западно-Охотская, 5 – Восточно-Сахалинская, 6 – Западно-Дерюгинская, 7 – Восточно-Дерюгинская, 8 – Пограничная (Пограничный надвиг), 9 – Вальзинская), б – разрывные нарушения; 5: а – системы взбросов и сбросов, б – сдвиги (предп.); 6 – Центрально-Охотский массив; 7 – Пограничный прогиб (ПП); 8 – континентальный склон; 9 – Анивский прогиб (АП); 10 – Северо-Сахалинский прогиб (ССП); 11 – Дерюгинская котловина (ДК); 12 – Прогиб зал. Терпения (ПЗТ); 13 – поднятия; 14 – зоны абразии; 15 – Северо-Татарский прогиб; 16 – Южно-Татарский прогиб; 17 – прогиб Исикари; 18 – Восточно-Дерюгинский грабен (ВДГ); 19 – Шмидтовская складчато-сдвиговая зона. ПГВ – Пугачевская группа грязевых вулканов; ЮСГВ – Южно-Сахалинский грязевой вулкан; ЛГВ – Лесновский грязевой вулкан; ДГВ – Дагинский грязевой вулкан (устаревшее неверное название). Расположение врезок (б) и (в) указано на карте красными квадратами и буквами (б) и (в)

и др.) и прогиба Терпения (факелы бровки шельфа). Выход метана без факела на участке «Баритовых Холмов» находится в западной части Восточно-Дерюгинского грабена.

Дерюгинская депрессия

Наиболее многочисленные выходы метана (около 300 к 2008 г., высота акустически регистрируемых потоков газовых пузырей «факелов» до 350 м) обнаружены в Дерюгинской депрессии вблизи пересечений неглубоких взбросов С-СЗ или С-З простирания и предполагаемых сдвигов С-СВ простирания, закартированных между Западно- и Восточно-Дерюгинской разломными зонами (рис. 1). Убедительным доказательством того, что эти структуры контролируют расположение долгоживущих выходов природного газа, является обнаружение над ними сквозных аномальных полей метана с пиками до 10000-30000 нл/л в нижних горизонтах толщи вод. Мониторинг аномальных полей метана в данном секторе Охотского моря за период 1988-2008 гг. свидетельствует о постоянстве увеличения встречаемости газовых выходов, что связано с высокой сейсмо-тектонической активностью этого района [22]. Потоки метана из донных отложений в водную толщу оказывают здесь наиболее интенсивное воздействие на окружающую среду, проявляемое нарушением рельефа морского дна, развитием биогенных матов и других организмов.

В плане основное скопление активных выходов метана вытянуто в С-СВ направлении и совпадает с простиранием сдвигов, занимающих секующее положение по отношению к глубинным границам котловины. Заметны более мелкие скопления (рис. 1,б), которые приурочены к пересечениям вышеу-

казанных разнонаправленных разломов. При этом группы наиболее активных выходов расположены в узких (1,2-1,6 км) зонах между взбросами. Метан – основной компонент восходящего газового потока, активно мигрирует по разрывным нарушениям из зоны газонасыщения под осадками, сцементированными газогидратами, обнаруженными здесь неоднократно (рис. 2). При диссоциации газогидратов, вызванной сейсмо-тектонической активностью и нестабильностью склоновых осадков, в газовый поток вовлекается метан из разрушенных газогидратных тел.

Газогидраты в общем случае являются своеобразным флюидоупором, экранирующим площадную дегазацию осадочной толщи. Обнаружение здесь самых высоких для района исследований аномальных концентраций метана характеризует высокую активность его выходов на дне. Это, вероятно, обусловлено современным компрессионным геодинамическим режимом [18] и высокой сейсмической активностью этой части дна Охотского моря. Структуры выхода метана характеризуются различными аномалиями акустических и сейсмических волн (рис. 3).

Северо-Сахалинский прогиб (мелководные факелы)

Единичные факелы «Миллениум» (глубина 25 м) и «Николь» (глубина 40 м) обнаружены в Северо-Сахалинском прогибе, где они также регистрировались вблизи локальных разрывных нарушений (рис. 1). Факел «Николь» закартирован в пределах Лунской антиклинальной структуры (амплитуда поднятия 200-500 м, рис. 1,а). Здесь же в течение 1998-2004 гг. фикси-



Рис. 2. Образец снежно-белого гидрата метана (длина 34 см) из гидростатического пробоотборника ГСП-2. Структура КОПРИ. Проект ХАОС II, 2005. Интервал 48-82 см. Отбор выполнен Крайниковым Г.А., ТОИ ДВО РАН

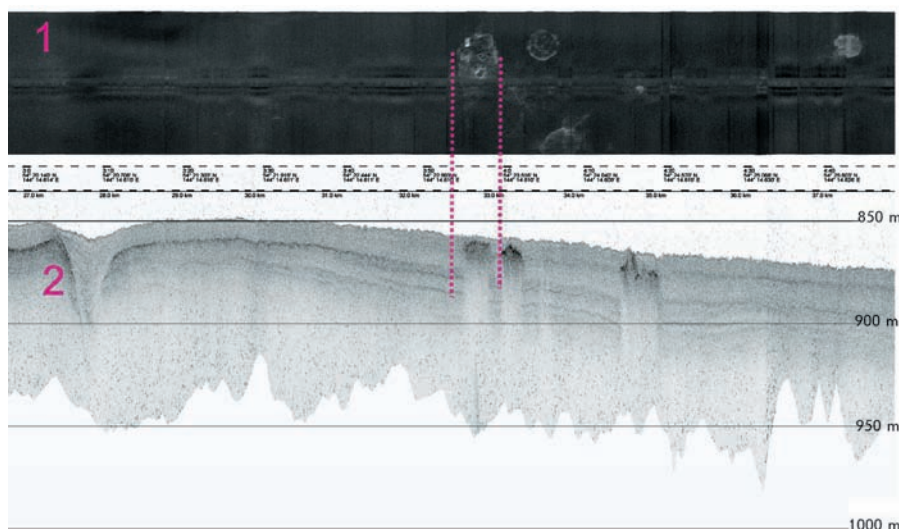


Рис. 3. Одни из многочисленных примеров характерных изменений морфологии дна под влиянием восходящих потоков метана и строение верхней части осадочного разреза в районе скопления гидратов метана. Съемка дна (1) выполнена глубоководным гидролокатором бокового обзора Sonic-3M (масштаб 1:50000), сейсмическое профилирование (2) выполнено системой Спаркер (масштаб 1:2000). ВНИИОкеангеология. Проект SSGH, 43-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2007 г.

ровался сквозной устойчивый тип аномального поля метана с вариациями значений 500-3000 нл/л. Структура Лунского газоконденсатного месторождения представляет собой антиклинальную складку, разбитую разломами на блоки, что создает благоприятные условия для дегазации залежи.

Восточно-Дерюгинский грабен (участок «Баритовых Холмов»)

Выход метана здесь не образует факела, однако был закартирован благодаря обнаружению придонного устойчивого аномального поля метана (до 5700 нл/л) в ходе нескольких экспедиций на

небольшом участке в районе северо-восточного борта впадины Дерюгина. Наблюдения на соседних станциях выявили фоновое распределение метана. Участок контролируется пересечениями разнонаправленных разломов, из которых выделяются взбросы с крутыми углами падения, занимающие секущее положение к сдвиговым дислокациям. Эти разломы контролируют на этом же участке образование в осадках аутигенного барита [7], постройки которого на дне достигают здесь высоты 15 м. Вышеназванные разломы активны, так как достигают поверхности дна, а места их пересечений являются наиболее благоприятными зонами миграции метан-, барий-содержащего флюида.

Площадное поступление метана над нефтегазоносными структурами

Северо-Сахалинский прогиб

Обнаружение в водах мелководного северо-восточного шельфа о-ва Сахалин сквозного устойчивого аномального поля метана порядка 1000-4000 нл/л на протяжении 1998-2004 гг. объясняется миграцией этого газа из нефтегазоносных структур. Поступление метана со дна северо-восточного и восточного шельфа о-ва Сахалин обусловлено наличием здесь многочисленных разрывных нарушений, осложняющих локальные структуры. В пределах рассматриваемого прогиба на С-В побережье о-ва Сахалин расположено Дагинское гидротермальное поле. Оно контролируется субмеридиональной разломной зоной и не формирует характерных для грязевых вулканов построек. Во время широкого отлива (между полнолуниями) на дне лагуны были

обнаружены многочисленные выходы природного газа в виде пузырей. Пузыри непрерывно пробулькивали из небольших ванн (до 1,5-3 м в диаметре), равномерно рассеянных по дну. Газ пузырями состоял в основном из метана: до 93 % об., что хорошо согласуется с существованием сквозных устойчивых аномальных полей метана на прилегающем шельфе. Эти факты позволяют предположить, что аномалии метана на шельфе могут формироваться, помимо «холодной разгрузки», благодаря выходам природного газа, аналогичным Дагинским гидротермальным источникам. Это предположение подкрепляется наличием на С-В шельфе о-ва Сахалин структуры, возможно, грязевулканической природы и расположенной в 80 км на С-СВ от Дагинского газопроявления, по соседству с платформой РА-В.

Прогиб залива Терпения

Основным источником метана, по-видимому, здесь являются нефтегазоносные структуры. В открытой части залива закартированы локальные структуры, контуры которых расположены среди надвигов, взбросов и сбросов (рис. 4). Наблюдаемое нами устойчивое сквозное аномальное поле метана в мелководной части залива наиболее естественно объясняется миграцией метана по зонам разломов из нефтегазоносных и предположительно нефтегазоносных пород. Вывод подтверждается обнаружением в районе бровки шельфа залива нескольких акустических аномалий типа «факел».

Анивский прогиб

В этом районе обнаруженные аномалии метана на порядок ниже, чем на северо-восточном шельфе Сахалина.

Слои осадочных пород без размыва слагают верхнюю часть осадочного разреза [13], что характеризует менее благоприятную обстановку для эмиссии метана в толщу вод. Однако обнаружение вблизи разрывных нарушений аномалий метана порядка 600 нл/л в придонном слое свидетельствует, что его подток из донных отложений, хоть и слабый, но существует. Согласно данным [8], во внутренних частях и на склоне Анивского прогиба в осадочных комплексах на глубинах от 300 м встречаются прослойки и линзы углей. В этом случае уголь может быть дополнительным источником, а надвиги и сбросы (рис. 4) – дополнительными каналами для эмиссии метана. Этим можно объяснить невысокое, но сквозное аномальное поле метана порядка 200 нл/л, которое было обнаружено летом 1999 г. (станция Ge99-3).

Эмиссия метана в зонах размыва складчатых структур

Пограничный прогиб

Субвертикальная миграция метана из осадков возможна на широкой площади абразионной террасы в Пограничном прогибе. В первую очередь это подтверждается наблюдениями на шельфе восточнее м. Терпения придонных аномалий метана (1000-2000 нл/л). Здесь в процессе тектонических движений западного борта кайнозойского бассейна седиментации была сформирована флексура [14], в которой осадочные породы палеогенового возраста обнажаются на морском дне в западной части прогиба и образуют абразионную террасу (рис. 4). Южнее м. Белинсаугена на поверхность дна выходит горизонт, возможно, являющийся отражением кровли борской

свиты (ранний миоцен), которая подстилается пиленгской свитой (олигоцен). В районе юго-восточного Сахалина в пределах Пограничного прогиба пиленгская и нижняя часть борской свиты нефтеносны (Окружное месторождение). При этом основной объем нефти сосредоточен в органогенно-кремнистых преимущественно кристобаллитсодержащих породах. Благодаря обильной трещиноватости они являются хорошими коллекторами для углеводородов.

Подобные геолого-структурные условия, благоприятные для поступления метана, могут быть на шельфе и с восточной стороны Тонино-Анивского полуострова. Здесь на станции 311, 1989 г. (глубина 100 м) была обнаружена придонная аномалия метана 1320 нл/л также над зоной абразии (рис. 4), подтверждаемой разрезами НСП [13].

Предварительные результаты 45-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2008 г.

Одним из основных научных результатов, полученных в данной экспедиции, стало обнаружение в донных отложениях северо-западной части Охотского моря новых зон с аномальными концентрациями метана в осадке, указывающими на наличие миграции углеводородного флюида (рис. 5). При этом выявлено, что распределение аномалий подчиняется тектоническому контролю. Максимальные содержания метана до 5% об. (метод "headspace") установлены в донных отложениях Восточно-Сахалинского склона на глубинах 300-1000 м. Данная зона располагается в пределах Дерюгинского прогиба (или Дерюгинской котловины). Здесь при непосредственном

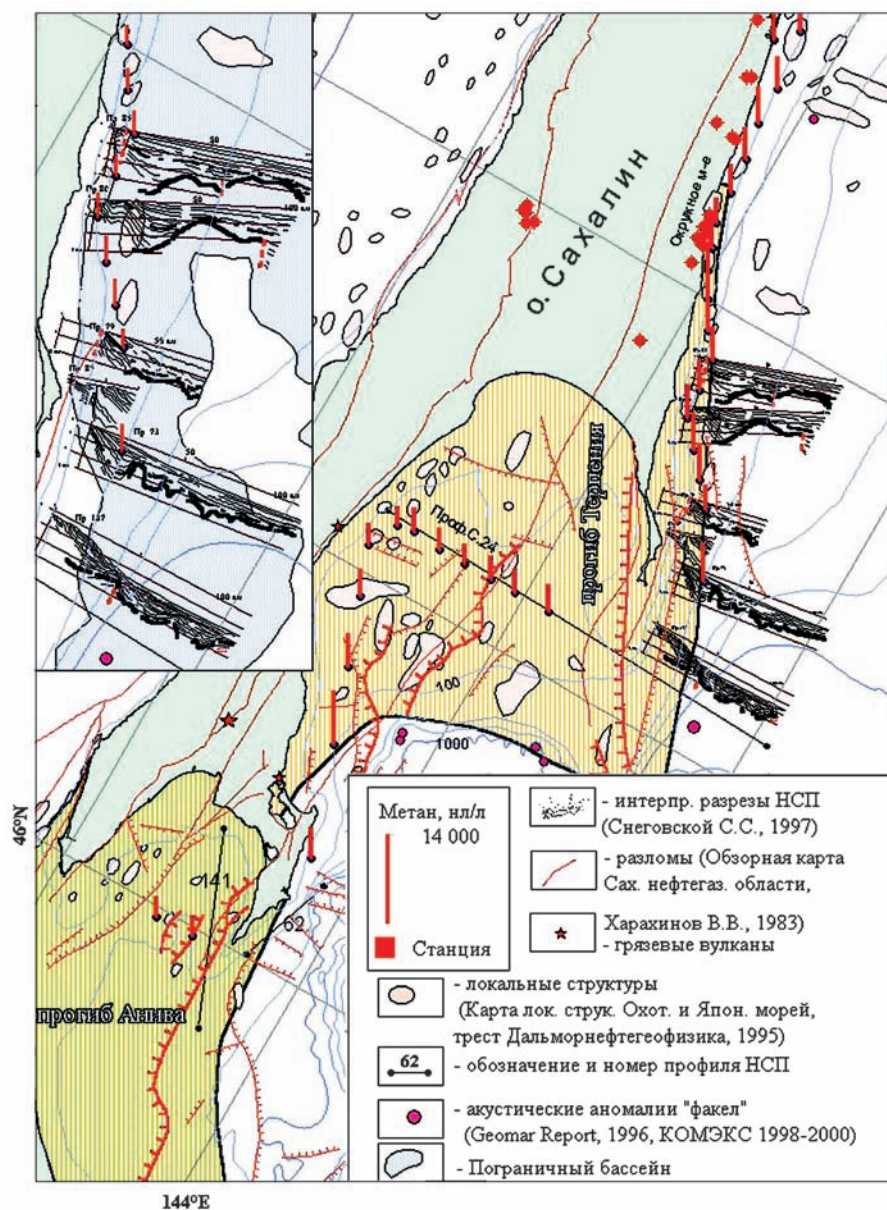


Рис. 4. Распределение аномалий метана в придонном слое юго-восточного шельфа о-ва Сахалин по результатам рейса НИС «Морской Геофизик» (1989 г.), включая заливы Терпения и Анива (структурная схема прогибов Пограничного, заливов Терпения и Анива составлена по данным [15; 8; 13]). Жирные зубчатые линии обозначают фронтальные части надвигов, тонкие зубчатые – сбросы. Врезка в левом верхнем углу рисунка – по данным [14]

участия лаборатории газогеохимии ТОИ в осадках многократно были обнаружены газогидраты. В полученных кернах осадка (61 пикет) гидратов метана обнаружено не было, что указывает на неравномерное распространение верхней границы газогидратоносных осадков на северо-восточном склоне о-ва Сахалин. Однако обнаруженное в осадке содержание ме-

тана 5% маркирует наличие активной локальной зоны свободного выхода природного газа, где при благоприятных Р-Т условиях образование газогидратов возможно. Необходимо отметить, что в пределах участка на газогидратоносном островном склоне, где обычно удавалось поднять представительный осадочный материал, геологический пробоотборник

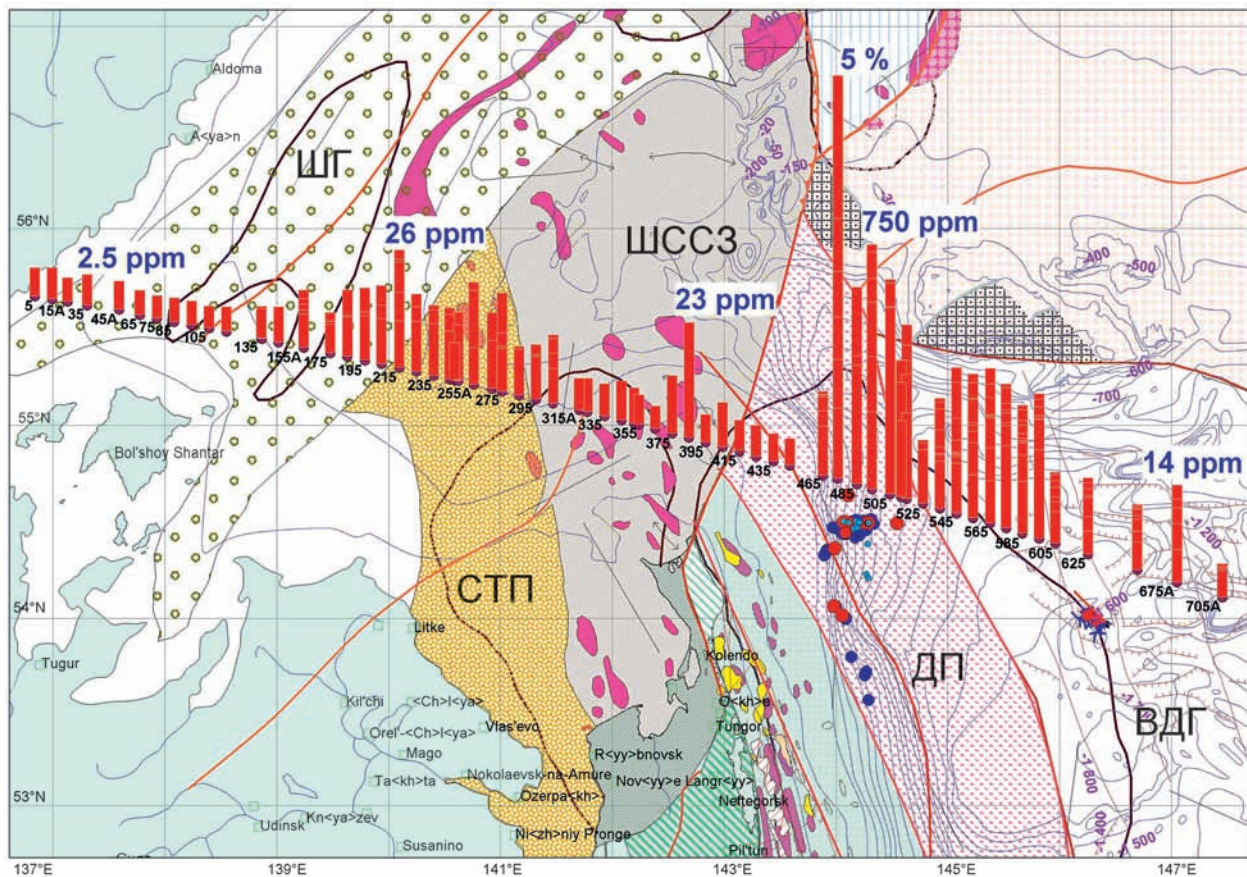


Рис. 5. Аномалии метана в осадках Охотского моря. 45-й Рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2008 г. ШГ – Шантарский грабен, СТП – Северо-Татарский прогиб; ДП – Дерюгинский прогиб; ВДГ – Восточно-Дерюгинский грабен. Красные кружки – места находок газогидратов; синие – газовые «факелы». Розовые пятна – локальные структуры; желтые – нефтегазовые месторождения. Столчатые диаграммы содержания метана (ppm) в осадках построены по логарифмической шкале

неожиданно ударился в коренные породы. После поднятия инструмента в нем были обнаружены мелкие осколки песчаника. Вполне может оказаться, что здесь недавно сошел подводный оползень.

Данное предположение подкреплено тем, что в Охотском море для районов, характеризующихся наличием газогидратов в донных осадках, контролируемых активными разломными зонами, характерно образование оползней, и особенно на крутых склонах (рис. 6).

Влияние подводных выходов метана на развитие бентосной фауны Охотского моря

Доказано, что некоторые морские биогеоценозы в Охот-

ском море основаны на бактериальном хемосинтезе и метаноокислении (биогеоценозы газовых выходов и гидротерм) [4; 9; 23; 26]. Например, за счет метанотрофных бактерий на участках выходов метана существуют двустворчатые моллюски, вступающие с бактериями-хемосинтетиками в настоящий симбиоз, культивируя их в собственных жабрах [4; 3].

Конкретно в проекте КО-МЭКС установлено, что в Охотском море существуют участки аномально высокого развития бентосной фауны: Amphipoda *Byblis pearevi*, *Bivalvia*, *Echinoidea*, *Polychaeta* [18; 23] (рис. 7,а), максимальные концентрации которой приурочены к местам выхода природного

газа через активные тектонические разломы. За пределами газовых выходов концентрация биомассы минимальна или наблюдаются отмершие организмы там, где разгрузка газа прекратилась (рис. 7,с).

Нами установлено, что в Пильгунском прибрежном районе (основной район кормления серых китов) из нефтегазоносных структур по разломам поступают природные газы (CH_4 до 90% об.), которые должны усваиваться хемоавтотрофными бактериями. Бактерии, возможно, вступают в симбиотические отношения с некоторыми видами ежей, моллюсков, ракообразных (амфиподы), а последние являются основной пищей серых китов. Аномалии метана превышают здесь фоно-

вые концентрации в 10 раз и более (рис. 8).

В 2002 г. в пределах газогидратного поля «Обжиров» было зафиксировано присутствие крабов, голотурии и рыб. Что интересно, в районах с фоновыми концентрациями метана бентосная макрофауна представлена гораздо беднее, чем на шельфе и склоновых участках с очагами газовой разгрузки. Окраинные области газовыделений демонстрируют в общем схожую с фоновыми территориями картину, однако здесь отмечено присутствие живых двустворчатых моллюсков *Calyptogena*. Бурное развитие бактериальных матов характерно для центральных частей очагов газовой разгрузки: поля с белым налётом порой охватывают участки морского дна до 10-15 метров в поперечнике. При этом области присутствия бактериальных матов нередко окружены восстановленным осадком черного цвета. Работа прибором TV-multicorer подтвердила сопряженность процесса развития бактериальных матов и активного поступления метанонасыщенных флюидов из осадочных отложений в водную толщу. На гидратном поле «Китами», например, поверхность морского дна представлена углублениями в несколько метров шириной и до одного метра глубиной, аналогично мелкомасштабным «rockmarks», описанным на других площадях с газовыми выходами Мирового океана (например, в Северном море). В центре некоторых покмаков этой структуры обнаружены бактериальные маты. По мере приближения к центральным частям газовых выходов отчетливо наблюдается концентрирование живых

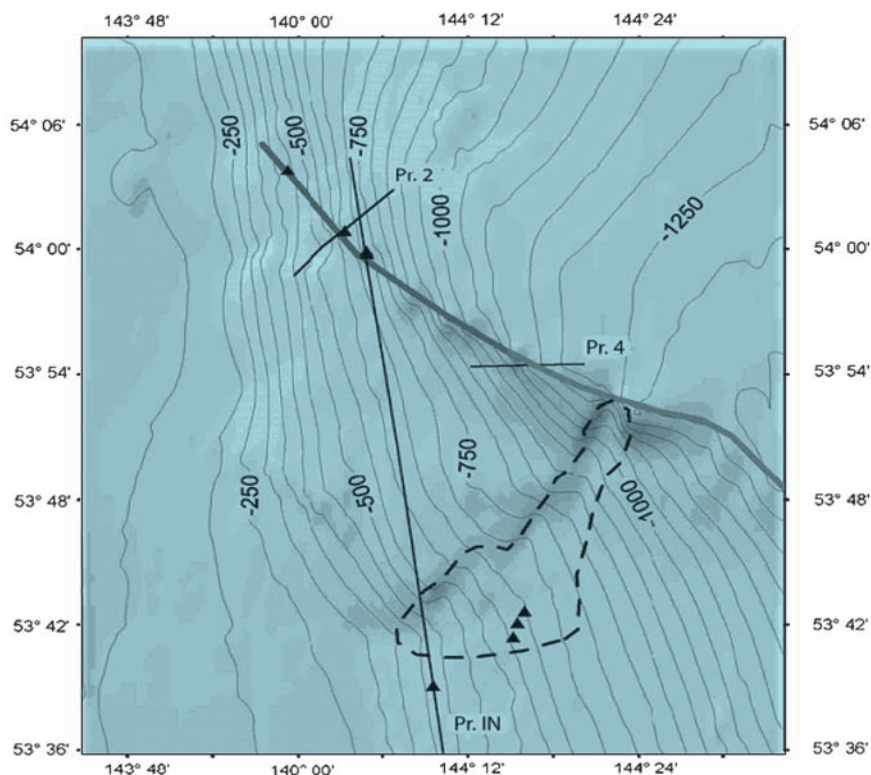


Рис. 6. Батиметрическая карта района разлома (толстая черная линия) «НИС Лаврентьев». Пунктирная линия ограничивает юго-восточную оконечность изображенной формы рельефа, которая, возможно, является оползневой блоком. Треугольники – гидроакустические аномалии. Проект CHAOS, 2003 г.

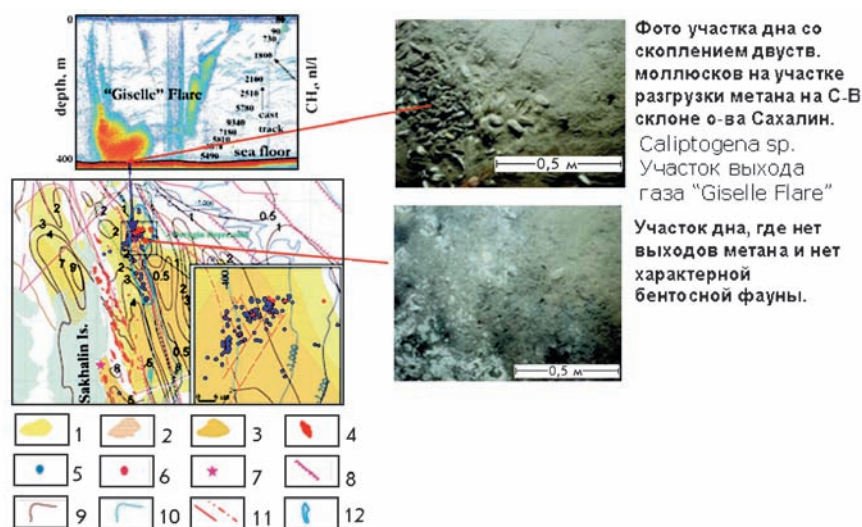


Рис. 7. Карта обнаружения газогидратов на СВ склоне о-ва Сахалин (на 2006 г.). Условные обозначения: 1-3 - потенциал генерации углеводородов в осадках; 5-10- 15×10^6 т/км² [6]; 4 – нефтегазовые месторождения; 5 – метановые источники (факалы); 6 – обнаружения гидратов метана; 7 – грязевые вулканы; 8 – рифтовые зоны; 9 – мощность осадочного чехла; 10 – изобаты; 11 – тектонические разломы; 12 – установленное распространение газогидратов (около 7000 км² на 2008 г.).

моллюсков *Calyptogena* и/или *Conchocele*. Размеры полей двустворчатых моллюсков составляют до 10 м в поперечни-

ке. При этом раковины густо и плотно покрывают дно, до некоторой степени погружившись в осадок.

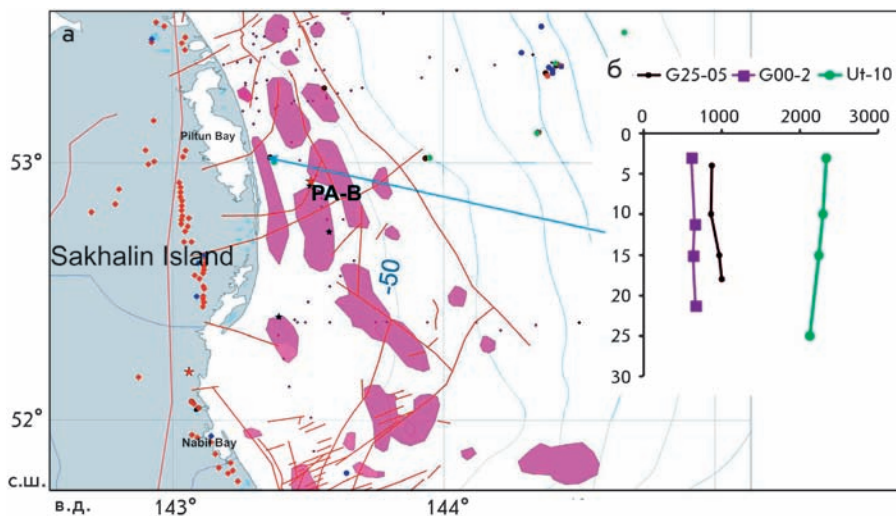


Рис. 8. Карта распространения нефтегазоносных структур и скоплений амфипод в Пильтунском Прибрежном Районе: а – нефтегазоносные структуры и тектонические разломы; б – диаграммы распределения аномальных концентраций метана в водной колонке северо-восточного шельфа о-ва Сахалин (Ga25 – сентябрь 1998; Ut-10 – май 1999; G00-2 – июнь 2000). Фоновые концентрации метана составляют 100 нл/л (нанолитр/литр). PA-B – платформа Пильтун-Астохская Б

ВЫВОДЫ

Крупные прогибы фундамента и ограничивающие их разломные зоны являются основными факторами, определяющими геолого-структурное положение локальных выходов и площадных просачиваний метана в западной части Охотского моря и на о-ве Сахалин. Наземные поверхностные нефте- и газопроявления на о-ве Сахалин [2] также расположены вдоль субмеридиональных разломов. Многочисленные выходы метана на С-В склоне о-ва Сахалин трассируют локальные разломы, занимающие секующее положение к крупным субмеридиональным разломным зонам. При этом основные скопления выходов метана расположены в узлах пересечений разнонаправленных разломов.

Положение локальных долгоживущих подводных выходов метана в западной части Охотского моря и грязевых вулканов на о-ве Сахалин определяют узлы пересечений разнонаправленных разрыв-

ных нарушений, как правило, составляющих структурный план субмеридиональных разломных зон.

Слои осадочных пород, смятые в складки и тектонически выведенные на поверхность дна и срезанные волновой эрозией, могут быть каналом для субвертикальной миграции углеводородных газов, вероятно, формирующихся в основании осадочного чехла Пограничного прогиба. Мощность чехла последнего достигает 2-3 км и достаточна для образования углеводородов. Зоны абразии, в пределах которых слои пород складчатых нефтегазоносных структур подвергнуты волновому размыву в области шельфа, могут являться, возможно, более значимыми каналами для подводной разгрузки метана в Охотском море по сравнению с разрывными нарушениями.

Гидратоносные участки характеризуются развитием на поверхности морского дна неровностей (холмов, воронок),

также обнаруживаются оползневые блоки или тенденции к развитию оползневых процессов в пределах С-В склона о-ва Сахалин. Эти участки морского дна могут быть потенциально опасными для человека в случаях осуществления различного рода инженерно-технических мероприятий, например, при проведении поисково-разведочных работ. В подобных ситуациях крайне важно своевременно и максимально объективно оценивать состояние газогеохимической обстановки наряду с инженерно-геологической и геофизической характеристиками среды.

Сквозные, придонные и, вероятно, глубинные аномальные поля метана непосредственно связаны с геологическими структурами, контролирующими размещение углеводородных залежей. Аномальные поля с максимальными концентрациями метана (10000-30000 нл/л) формируются над участками с приповерхностными скоплениями газогидратов в осадках С-В склона о-ва Сахалин. Наиболее вероятный источник метана здесь — скопления свободного газа ниже зоны стабильности газогидратов. Основными источниками метана на северо-восточном, восточном и юго-восточном шельфе о-ва Сахалин являются нефтегазовые залежи и газоносные слои осадочных пород.

Наиболее мощные газовые выходы в Охотском море приурочены к зонам разломов, контролирующим скопление газогидратов.

Выходы природного газа создают благоприятные условия для развития бентосной микро- и макрофауны в пределах шельфа и склона о-ва Сахалин.

Авторы выражают благодарность за научную, аналитическую и организационную поддержку сотрудникам ТОИ ДВО РАН Верещагиной О.Ф., Салюку А.Н., Воронину А.А., Крайникову Г.А., Соснину В.А. и экипажам: НИС «Академик М.А. Лаврентьев», НИС «Профессор Гагаринский», ГС «Маршалл Геловани», МБ «Утес» (УНИФ ДВО РАН) и вертолета МИ-8 (ВладАвиа). Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН 09-III-B-07-372 и Президиума РАН 09-I-П17-10. Региональная газогеохимическая съемка в Охотском море в 2006-2008 гг. выполнена совместно и при финансировании ФГУНПП Севморгео.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдейко Г.П., Гавриленко Г.М., Черткова Л.В. и др. Подводная газогидротермальная активность на северо-западном склоне о. Парамушир (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1984. №6. С. 66-81.
2. Алексейчик С.Н. Геологическое строение и газонефтеносность северной части Сахалина // Тр. Всесоюз. нефт. науч.-исслед. геологоразвед. института. 1959. Вып. 135. 233 с.
3. Виноградов Г. Хемобиос океанских глубин // Биоокеанология. 2007. С. 61-72.
4. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.
5. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. Л.: ВНИИОкеангеология, 1994. 86 с.
6. Грецкая Е.В., Ильев А.Я., Гнибиденко Г.С. Угледородный потенциал осадочно-породных бассейнов Охотского моря. Южно-Сахалинск, 1992. 44 с.
7. Деркачев А.Н., Борман Г., Грайнерт Й., Можеровский А.В. Аутигенная карбонатная и баритовая минерализация в осадках впадины Дерюгина (Охотское море) // Литология и полезные ископаемые. 2000. №6. С. 568-585.
8. Куделькин В.В., Савицкий В.О., Карпей Т.И., Болдырева В.П. Структура и эволюция осадочного чехла присахалинского обрамления Южно-Охотской котловины // Тихоокеанская геология. 1986. №4. С. 3-13.
9. Малашенко Ю.Р., Романовская В.А. и Троценко Ю.А. Метаноокисляющие микроорганизмы. М: Наука, 1978. 196 с.
10. Обжиров А.И., Ильичев В.И., Кулинич Р.Г. Аномалия природных газов в придонной воде Южно-Китайского моря // Доклады академии наук СССР. Геохимия. 1985. Т. 281, № 5. С. 1206-1209.
11. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 С.
12. Обжиров А.И. Газогеохимические поля и прогноз нефтегазоносности морских акваторий: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Владивосток, 1996. 266 с.
13. Снеговской С.С. Особенности осадконакопления и формирования шельфа юго-восточного Сахалина // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск, 1997. Т. 4. С. 79-89.
14. Соловьев С.Л., Туезов И.К., Снеговской С.С. и др. Глубинное строение Охотоморского шельфа Центрального Сахалина // Геология и геофизика. 1979. №3. С. 104-116.
15. Харахинов В.В. Тектоника Охотоморской нефтегазоносной провинции: Дис. ... д-ра геол. - минер. наук. Оха-на-Сахалине, 1998. 77 с.
16. Aloisi G., Wallmann K., Bollwerk S., Derkachev A., Bohrmann G. and Suess E. The effect of dissolved barium on biogeochemical processes at cold seeps // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. Vol. 68, No. 8. P. 1735-1748.
17. Baranov V.V., Karp B.Ya., Wong H.K. Areas of gas seepage // KOMEX Cruise Report I RV Professor Gagarinsky, Cruise 22. GEOMAR Report 82 INESSA. Kiel, 1999. P. 45-52.
18. Biebow N. and Huetten E. (eds.) KOMEX Cruise Reports I & II RV "Professor Gagarinsky", Cruise 22, RV «Akademik M.A. Lavrentyev», Cruise 28. GEOMAR Report 82 INESSA. Kiel, 1999.
19. Greinert J., Bollwerk S.M., Derkachev A., Bohrmann G., Suess E. Massive barite deposits and carbonate mineralization in the Derugin Basin, Sea of Okhotsk: precipitation processes at cold seep sites // *Earth and Planetary Science Letters*. 2002. Vol. 203. P. 165-180.
20. Haeckel M., Suess E., Wallmann K., Rickert D. Rising methane gas bubbles form massive hydrate layers at the seafloor // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. Vol. 68, No. 21. P. 4335-4345.
21. Lammers S., Suess E., Mansurov M.N. and Anikiev V.V. (1995): Variations of atmospheric methane supply from the Sea of Okhotsk induced by seasonal ice cover // *Global Biogeochemical Cycles*. 1995. №9 (3). P. 351-358.
22. Obzhairov A., Shakirov R., Salyuk A. et al. Relations between methane venting, geological structure and seismo-tectonics in the Okhotsk Sea // *Geo-Marine Letters*. 2004. Vol. 24. P. 135-139.
23. Sahling H., Galkin S.V., Salyuk A.N. et al. Depth-related structure and ecological significance of cold-seep communities-a case study from the Sea of Okhotsk // *Deep Sea Research. Part I. Oceanographic Research Papers*. 2003. Vol. 50, No. 12. P. 1391-1409.
24. Shakirov R., Obzhairov A., Suess E. et al. Mud volcanic and gas vents in the Okhotsk Sea area // *Geo-Marine Letters*. 2004. Vol. 24. P. 140-149.
25. Shakirov R.B., Obzhairov A.I., Biebow N. et al. Classification of anomalous methane fields in the Okhotsk Sea // *Journ. of Polar Meteorology and Glaciology*. 2005. Vol. 19. P. 50-66.
26. Strizhkov V.P., Kuznetsov A.P., Gurina N.V., Compounds of early diagenesis in sediments as energy source in food web of bottom community of *Conchocele* sp. (*Bivalvia*) around gashydrate vents near the Paramushir Island (the Sea of Okhotsk). // *Okeanologia*. 1990. No. 30 (4). P. 666-671.
27. Von Rad U., Berner U., Delisle G. et al. Gas and fluid venting at the Makran accretionary wedge off Pakistan // *Geo-Marine Letters*. 2000. Vol. 20. P. 10-19.
28. Wallmann K., Aloisi G., Haeckel M., Obzhairov A., Pavlova G., Tishchenko P. Kinetics of organic matter degradation, microbial methane generation, and gas hydrate formation in anoxic marine sediments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2006. Vol. 70, № 15. P. 3905-3927.