

УДК 4:553.98:552.578

НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ И ГАЗОГИДРАТЫ В ОХОТСКОМ МОРЕ

**А.И. Обжиров, Е.В. Коровицкая,
Н.Л. Пестрикова, Ю.А. Телегин**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения РАН¹

Рассматриваются возможные источники метана – термогенный нефтегазосодержащих слоев и современный микробный, которые участвуют в образовании газогидратов в Охотском море. Представлена методика исследований, дана характеристика геологоструктурных условий формирования газовых гидратов в морских условиях.

ВВЕДЕНИЕ

Потоки метана и газогидраты имеют большое значение в развитии геосферы, гидросферы и атмосферы Земли. Они взаимосвязаны с процессами сейсмостектонической активизации, формированием нефтегазовых залежей, морфоструктур морского дна, землетрясений, цунами, а также с процессами глобального изменения (потепления) климата.

Лаборатория газогеохимии ТОИ ДВО РАН с 1984 года изучает распределение природных газов в донных осадках и воде Охотского моря. В результате были обнаружены аномальные поля метана и тяжелых углеводородов в придонной воде, которые использовались как индикаторы для прогноза залежей нефти и газа. В этот период были открыты потоки пузырей метана из донных отложений в воду в Охотском море, и их изучением заинтересовались ученые из Германии и других зарубежных стран [1, 2]. С 1998 по 2012 г. эти исследования продолжались по трем международным проектам: Российско-Германскому (ГЕОМАР, 1998–2004 гг.) и двум

Российско-Японско-Корейским (ХАОС, 2003–2006 гг.; САХАЛИН, 2007–2012 гг.). В результате комплекса геолого-геофизических, гидроакустических, газогеохимических и океанологических исследований в научных морских экспедициях по международным проектам были обнаружены газогидраты на 15 площадях в Охотском море, выявлены геолого-геофизические, гидроакустические, газогеохимические закономерности формирования и разрушения газогидратов. Представленные в работе закономерности могут служить предметом дискуссии об основном источнике метана газогидратов.

В настоящее время ученые активно обсуждают процесс формирования–разрушения газогидратов в морских условиях. Один из основных вопросов, который до сих пор является актуальным, касается источника метана, образующего газогидраты. Им может быть термогенный метан нефтегазосодержащих отложений, который мигрирует из глубоких слоев к поверхности и образует газогидраты в зоне его стабильности. Соот-

ветственно это характеризует высокий объем потока метана в верхние слои донных отложений, в воду и частично из воды в атмосферу и связано с запасами метана в недрах. Если принять за источник метана современный микробный процесс, то расчет его количества должен основываться на этом источнике.

■ Методика работ

Одним из важных по-прежнему остается вопрос повышения эффективности решения геологических задач: изучения взаимосвязи различных современных геологических процессов, которые дают основание для понимания условий формирования и разрушения полей газогидратов, процесса сейсмостектонической активизации, выяснения природной составляющей экологического загрязнения, а также определения геологических закономерностей прогноза нефтегазовых месторождений и газогидратов. Для изучения газогидратов в Охотском море применяются следующие основные методы.

¹ 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43; e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru

1. Геоструктурный

Метод представляет собой сочетание стандартных геологических подходов (структурного, литолого-фациального, тектонического, стратиграфического, сейсмо- и электроразведки и др.) для анализа геологического контроля потоков углеводородных флюидов. Проводится увязка локальных зон газогидратной флюидной разгрузки с контролирующими структурами первого и второго порядков, включая региональные линеаменты. Выполняется анализ пространственной и генетической связи газогидратного скопления с соседствующими нефтегазовыми залежами на присахалинском шельфе с запада и газонасыщенными осадками глубоководной части впадины Дерюгина с востока. Систематизация и анализ результатов, полученных данными методами, реализуются на базе ГИС-технологии, прикладных геологических программ (RockWorks и др.).

2. Термодинамический

Используется метод Питцера для установления разницы между давлением диссоциации гидрата в чистой и морской воде для широкой области температур (0–25°C) и соленостей (0–70‰). Широкий диапазон параметров обусловлен необходимостью геофизического моделирования «отражения, подобного дну», или BSR (Bottom-Simulating Reflectors), который, как правило, располагается на глубине 200–300 м ниже дна при увеличении температуры с глубиной в соответствии с геотермическим градиентом. Широкий диапазон соленостей необходим для моделирования возможного процесса образования рассолов,

находящихся в непосредственной близости с гидратами метана. Метод Питцера обеспечивает строгий расчет активности воды в морской воде для столь широкого диапазона температур, соленостей и давлений. Результаты термодинамического моделирования для гидрата метана (давление диссоциации и растворимость) обобщаются в форме эмпирических уравнений, которые в дальнейшем используются для моделирования искусственной диссоциации подводных газогидратов.

3. Акустический

С помощью многолучевого эхолотирования на разных частотах детально изучаются характеристики дна района исследований. По результатам составляется карта специфических для газовых потоков морфоструктур, считается количество потоков пузырей газа (метана) и рассчитывается величина эмиссии метана с газогидратных участков.

4. Изотопно-геохимический

Метод является сочетанием методических приемов натурных, лабораторных и теоретических исследований. В его основе лежат технология представительного отбора газовых проб из различных сред, газохроматографический анализ и применение комплекса критериев анализа фоновых и аномального газогеохимических полей, использование данных о поведении стабильных изотопов углерода метана и других углеродсодержащих газов в очагах их разгрузки. Применяются уникальные методы отбора и подготовки проб, а также модифицированный ме-

тод высокоразрешающей масс-спектрометрии.

5. Геоэкологический

Выполняется интерпретация полученных и архивных газогеохимических, изотопно-геохимических и геологоструктурных материалов с целью сравнительной оценки характера и величин эмиссии метана из нефтегазовых и газогидратных залежей в районах исследования. Отдельное внимание уделяется кинетике окисления растворенного метана с помощью анализа поведения стабильных изотопов углерода для контроля бактериального фильтра на пути восходящих газовых потоков.

6. Геомоделирование формирования и разрушения газогидратов

Одним из главных результатов начальной стадии разработки технологии поиска нефтегазовых залежей и газогидратов является создание комплексных геологической, акустической и физико-химической моделей формирования нефтегазонасыщенных структур на шельфе и подводного скопления гидратов метана на северо-восточном склоне о-ва Сахалин. Данные модели позволяют всесторонне выявить и описать основные параметры нефтегазосодержащей и гидратоносной толщи в районе исследований. Знание этих параметров, а также характера их изменчивости позволяет выработать в дальнейшем наиболее эффективный метод поиска нефтегазовых залежей и экологически безопасный подход воздействия на гидратоносную толщу с целью извлечения метана.

7. Отбор проб донных осадков и газогидратов

В рамках разработки технологии поиска нефтегазовых и газогидратных залежей сконструированы модифицированные гидростатические грунтозаборные трубки на базе уникальной технологии. Данные трубки способны отбирать керн осадка до поддонной глубины 8–10 м с максимальной сохранностью керна донных осадков. Такие геологические трубки способствуют корректному изучению гидратоносных интервалов.

8. СТД-зондирование и пробоотбор колонок воды для измерения газа

Изучение температуры, солености и газового состава колонок воды важно для понимания характера и масштаба поступления метана из донных отложений в воду. Эти данные используются как индикаторы для поиска нефтегазовых залежей и газогидратов, трассирования зон разломов и прогноза их сейсмической активности, расчета поступления метана в атмосферу и участия его в процессе глобального изменения (потепления) климата.

9. Изучение газового состава донных отложений и воды

Выполнялось изучение газовой составляющей (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2 , He , CH_4 и тяжелые углеводороды) в колонках воды и донных осадков на борту судна газовыми хроматографами [3, 4]. Использовались методы вакуумной дегазации и метод Head Space. В процессе исследований методика извлечения и анализа газа постоянно совершенствовалась [3].

■ Современные геологические процессы, их связь с газогидратами и нефтегазоносностью

Впервые поток метана из донных отложений в воду был обнаружен нами в 1988 г. в западной части Охотского моря на глубине 700 м [5]. За период исследований с 1988 по 2011 г. обнаружено более 500 выходов пузырей метана из донных отложений в воду (рис. 1).

При выходе в водную толщу поток метана представляет собой большое количество пузырей, поднимающихся от дна субвертикально к поверхности. Экспедиция 1991 года в этом районе обнаружила уже около 10 таких потоков пузырей метана, а в донных осадках на площади выхода пузырей метана, зафиксированного в 1988 г., были открыты газогидраты.

Существует две точки зрения на источники формирования газогидратов. Первая – метан образуется за счет продукции бактерий, при этом он содержит больше легкого изотопа углерода ^{12}C , и $\delta^{13}C$ составляет -70...-110 ‰. Вторая – в процессе термогенного образования из органического вещества осадочных отложений, при этом $\delta^{13}C$ составляет -30...-40 ‰. Одни исследователи считают, что основным поставщиком метана для образования газогидратов является современный микробный метан. Их доводы основаны на анализе изотопного состава углерода метана газогидратов, в котором $\delta^{13}C$ составляет -55...-65 ‰. Другие исследователи, включая нас, считают, что преобладающим поставщиком метана газогидратов является термогенный метан нефтегазовых залежей. По нашему мнению, изотопный состав углерода не полностью отражает генезис метана.

Во-первых, изотопный состав углерода ($\delta^{13}C = -55...-65$ ‰) указывает на возможную смесь термогенного и микробного метана, во-вторых, существуют работы [6], в которых указывается на возможность вторичных процессов микробной переработки термогенного метана и облегчение в этом случае изотопного состава углерода. В то же время на то, что метан является термогенным, указывает наличие в Охотском море нефтегазовых залежей и мощной толщи осадочных отложений с нефтегазосодержащими слоями, нарушенными зонами разломов, по которым метан мигрирует к поверхности. В зоне, благоприятной по давлению и температуре для образования газогидратов, формируются слои газогидратов, которые являются и покрывкой, и резервуаром углеводородов.

Следует отметить, что в районе потока метана в донных осадках происходит его окисление бактериями до углекислого газа с увеличением в нем легкого изотопа C^{12} . Этот углекислый газ участвует в формировании карбонатных конкреций, прослоев, фрагментов в донных осадках и является источником для образования микробно-

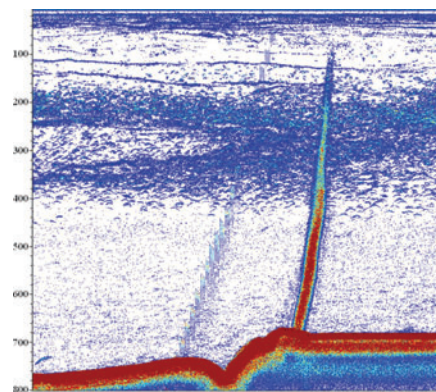


Рис. 1. Гидроакустическая запись выхода пузырей метана (субвертикальное тело) из донных отложений в воду на Сахалинском северо-восточном склоне Охотского моря (запись А.С. Саломатина, 2011 г.)

го метана метанобразующими бактериями. Поэтому углерод метана газогидратов в своем составе имеет большое количество легкого углерода C^{12} и его изотопный состав равен минус 55–65 ‰. Такой изотопный состав характеризует преимущественно микробный источник метана, что и декларируют большинство ученых. Источником же метана в Охотском море является термогенный метан нефтегазовых залежей, который мигрирует к поверхности через зоны разломов. Подтверждением этому является то, что в Охотском море многие потоки метана приурочены к зонам разломов, по которым мигрирует газ (метан), что хорошо проявляется на сейсмических профилях, где газ разрывает слои и создает вертикальные стволы в осадках с отсутствием отражающих горизонтов. Кроме того, они имеют очаговое распространение, что противоречит закономерному площадному микробному процессу на поверхности донных осадков Охотского моря. Именно в этих

очагах наблюдаются оазисы развития бентоса и другой биоты, питанием которой являются энергетические процессы и продукты микробного окисления метана. Приведем некоторые геологические особенности нефтегазоносности восточного Сахалинского шельфа и склона Охотского моря.

■ Характеристика нефтегазоносности шельфа и склона Сахалина

Нефтегазоносная область района северного Сахалина является одним из богатейших нефтегазоносных бассейнов в своем регионе. Большая часть ресурсов (нефть, свободный газ, конденсат) сосредоточена на шельфе Охотского моря, прилежащем к северо-восточному Сахалину (рис. 2). Из открытых месторождений нефти и газа на шельфе к наиболее крупным относят Одопту-море, Пильтун-Астохское, Чайво, Аркутун-Дагинское и Лунское. Преобладают легкие (65 %), маловязкие (82 %), малосернистые (99 %) и

малопарафинистые (70 %) нефти. В составе свободных газов месторождений нефти и газа присутствуют в основном метан (около 90–95 %) и примесь тяжелых углеводородов (C_2 – C_4 до 5 %) [7].

Мощность осадочного чехла шельфовой зоны рассматриваемой области доходит до 10 км. Этаж нефтегазоносности – от первых десятков метров до 2849 м, глубины распространения залежей – от 218 до 4850 м [7]. Важным в аспекте рассмотрения источника метана, который образует газогидрат, является простираение нефтегазодержащих пород с шельфа в сторону склона. Потоки пузырей метана встречены как на шельфе, так и на склоне, но на шельфе в донных осадках газогидрат образоваться не может в связи с недостаточным давлением, а на склоне в районе таких же потоков метана на глубине моря 400 м и более в верхних слоях формируются газогидраты.

Важной характеристикой Сахалинского шельфа и северо-восточного склона является распределение метана в придонном слое воды. К 2009 г. на шельфе и склоне Охотского моря обнаружено около 500 выходов метана из донных отложений в воду. Концентрация метана в районе выхода пузырей составляет 20000–200000 нл/л, что превышает фон в 1000–10000 раз. В районе очагов газовой разгрузки в верхних слоях осадков обнаружены слои и прослойки газогидратов. На Сахалинском шельфе в районе открытых месторождений нефти и газа – Одоптинском, Пильтун-Астохском и др. – в придонной воде наблюдаются концентрации метана порядка 2000–3000 нл/л. Исключение составляет Лунское месторождение. Здесь

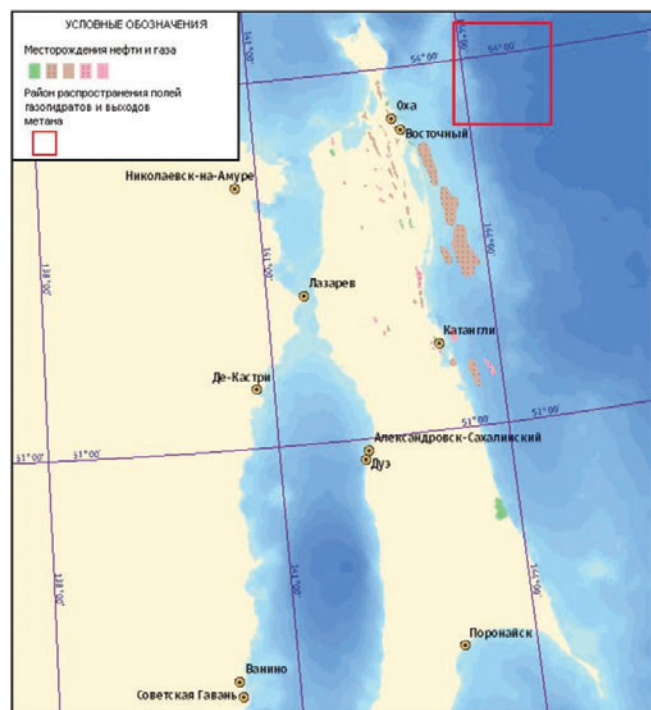


Рис. 2. Схема распределения некоторых залежей нефти и газа на Северном Сахалине и прилегающем к нему шельфе Охотского моря

отмечена наибольшая аномалия метана в придонной воде – 10900 нл/л. Аномальное поле метана на Лунской площади обусловлено сильным нарушением структуры, большой мощностью продуктивной толщи (500 м), преимущественно газовой залежью, средняя глубина залегания которой составляет 1700 м [3]. В целом формирование аномально высоких концентраций метана в Охотском море над нефтегазоносными структурами, как показывают исследования, связано с наличием определенных условий. Так, над Чайвинским месторождением (глубина залегания продуктивного горизонта – 2000 м) концентрация метана в 1,5 раза меньше, чем над Одоптинским (глубина залегания продуктивного горизонта – 1000 м, структура нарушена сильнее). Таким образом, аномально высокое содержание метана в водной толще Охотского моря в районе нефтегазоносных структур о-ва Сахалин можно объяснить прежде всего степенью нарушения их структуры и глубиной залегания верхнего продуктивного горизонта.

Также важно отметить, что нефтегазосодержащие отложения, которые образуют нефтегазовые залежи на шельфе и из которых по разломам мигрирует метан, простираются на сахалинском склоне, где обнаружены газогидраты. Показано [7], что «в строении осадочного бассейна впадины Дерюгина выделяется 2 региональных сеймо-стратиграфических комплекса, суммарной мощностью до 8–9 км, которые соответствуют региональной последовательности кайнозойского осадконакопления, установленной на Сахалине».

Еще одним доводом в пользу термогенного метана является

то, что в Охотском море газогидраты встречаются на локальных участках, приуроченных к зонам разломов. Если бы источником CH_4 был микробный метан, то газогидраты должны были бы формироваться на всей площади акватории.

Все это позволяет говорить о том, что метан нефтегазосодержащих пород является источником газогидратов. Примером такой сопряженности газогидратов и нефтегазовых залежей являются геологические особенности нефтегазовых месторождений Прадхо-Бей и Купарук-Ривер Аляски (рис. 3). На них газ из нефтегазосодержащих пород по зоне разлома поднимается вверх, и в зоне, благоприятной по давлению и температуре для образования газогидратов, формируются слои газогидратов, которые являются и крышкой и резервуаром углеводородов.

■ Современные геологические процессы и их связь с морфотектоникой

Метан и тяжелые углеводороды (C_2 – C_4) по зонам разломов мигрируют из нефтегазосодержащих слоев к поверхности. Их поток усиливается в период сейсмотектонической актив-

зации. Нашими наблюдениями по газогеохимическим критериям было установлено увеличение сейсмической активности в окраинных морях западной части Тихого океана с 1988 года, которое продолжается и в настоящее время. В районе образования газогидратов поверхность донных осадков нарушается. Во-первых, газогидраты внедряются в слои осадков, увеличивая их мощность, создавая бугорки на поверхности осадка. Во-вторых, стабильность газогидратов нарушается при небольших изменениях давления и температуры. При уменьшении давления и повышении температуры газогидраты начинают разрушаться, и 1 м³ газогидрата превращается в 165 м³ метана. При этом происходит нарушение поверхности дна, образуются бугры и ямки глубиной 10–20 м, случаются оползни. В районе выходов потока метана концентрация его в донных осадках достигает 50–100 мл/кг осадка, что превышает фоновое количество в 100 тыс. раз.

По данным статистики за последние 15 лет только на континентах случилось столько землетрясений, сколько за прошедшие полтора столетия. Линейные градиенты силы тя-

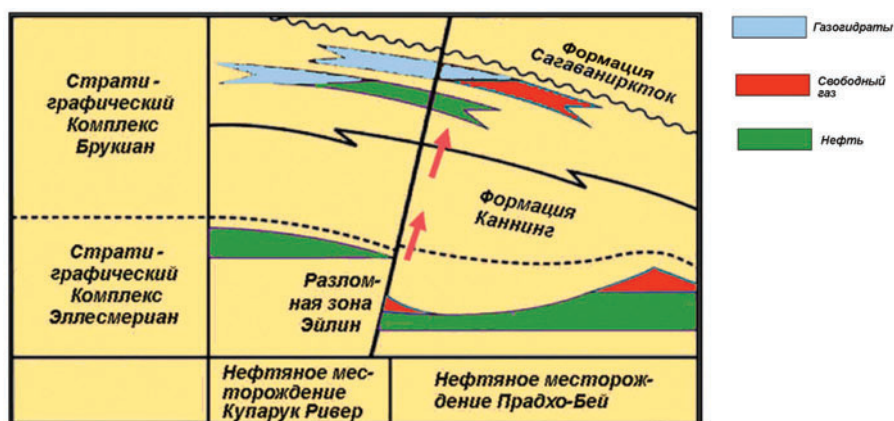


Рис. 3. Схематический разрез через месторождения Купарук-Ривер, Прадхо-Бей и газогидратное скопление Эйлин [8]

жести ограничивают структуры и отражают нарушения земной коры, которые относятся к категории глубинных разломов. Они перекрываются рыхлыми осадками, мощность которых достигает тысяч метров. Возникающие при взаимодействии плит тектонические напряжения получают разрядку и частично гасятся (демпфируются) в региональном или локальном масштабе полей деформаций и далее не распространяются. Они влияют на строение осадков и иногда выражаются в микро-рельефе поверхности, что служит признаком недавних тектонических событий. Поэтому линеамент выполняет функцию своеобразного динамического буфера, где напряжения выражаются в дискретном распределении сейсмических событий. Хонсю-Сахалинский сегмент встраивается в границы Амурской, Охотоморской, Филиппинской и Тихоокеанской плит, иногда отдельно выделяется Япономорский геоблок.

Строение линеамента составляют морфоструктуры Татарского пролива с северной частью Японского моря, Хоккайдо-Сахалинской складчатой области с о-вом Хонсю и прилегающих акваторий Охотского моря и Тихого океана. Существенное увеличение количества землетрясений и выделяемой сейсмической энергии в пределах Хонсю-Сахалинского сегмента происходит с 1993 г. В районе Сахалина эпицентры землетрясений распределялись примерно равномерно по 1991 г. Согласно выборке землетрясений с $M > 3$, включающей 183 сейсмических события в период 1985–2002 гг., коровые землетрясения внутри Сахалина с 1991 г. смещались на СВ и ЮЗ [9]. Со стороны Охотского моря зарегистрировано лишь 20 сей-

мических событий, эпицентры которых вплотную прилегают к побережью острова. Пики сейсмической активности приходятся на периоды Кунаширского (октябрь 1994 г., $M = 6$), Нефтегорского (май 1995 г., $M = 9$), Углегорского (август 2000 г., $M = 6$), Хоккайдского (сентябрь 2003 г., $M = 6$), Невельского (август 2008 г., $M = 7,7$) землетрясений. То же наблюдается в обширном регионе с координатами $30\text{--}60^\circ$ с.ш. – $128\text{--}147^\circ$ в.д. По выборке из [9] за 1984–2010 гг., насчитывающей 15486 сейсмических событий, активность с $M > 3$ смещается в сторону островов Японии. Здесь произошло катастрофическое Фукусимское землетрясение с $M = 8,9$ баллов (март 2011 г.). Серия автошоков с $M > 6$ продолжалась еще в мае. Таким образом, наряду с усилением сейсмической активности линеамента наблюдается тенденция некой периодичности катастрофических землетрясений, смещающихся на юг. Это связано как с факторами глобального характера, так и особенностями строения линеамента, формирующими тектонодинамическую обстановку их регионального и локального проявления.

Опубликованные материалы оценивают режим геодинамических напряжений в коре Сахалина и его окружении как субмеридиональное чередование зон сжатия и растяжения [5]. В осевой части острова преобладают горизонтальные напряжения сжатия. Горизонтальные напряжения растяжения преобладают на охотоморском побережье, в Сахалинском заливе, Татарском проливе. При этом очаги землетрясений определяются на глубинах 5–33 км. Следствием этих процессов является переработка структуры

и вещества земной коры и рыхлых осадков, что создает условия для раскрытия трещин, разрушения нефтегазовых залежей и газогидратов, обеспечивается облегченный доступ тепла и газов к верхним горизонтам коры и появление специфических флюидогенных морфоструктур морского дна типа грязевых вулканов. Поэтому почти одновременно с повышением сейсмической активности наблюдается резкое изменение эманаций метана и сопутствующих газов.

Результаты многолетних газогеохимических исследований показывают усиление активности метановых эманаций с 90-х годов прошлого века. Первым признаком является увеличение содержания метана в придонном слое воды. В период 1984–1988 гг. в районах сахалинского шельфа и акватории Охотского моря фоновые концентрации метана в воде составляли 20–30 нл/л, а аномальные (обычно ассоциирующие с нефтяными и газовыми месторождениями) – около 300–400 нл/л. Они увеличились к 1990 году соответственно до 70–80 и 10000 нл/л. Концентрации метана скачкообразно возросли в периоды Нефтегорского и Углегорского землетрясений. Подобное увеличение концентраций метана в десятки раз наблюдалось нами в рейсе НИС «Профессор Богоров» (1994 г.) в районе о-ва Итуруп непосредственно после Кунаширского землетрясения. На сахалинском шельфе аномальные концентрации метана увеличились в 10–1000 раз (500–15000 нл/л). В пределах участка разгрузки концентрации метана превышали 20000 нл/л, а вблизи них – 1000–3000 нл/л. Содержание метана в донных осадках составило 5–10 мл/л,

а в слоях осадков, где содержатся газогидраты, количество метана достигает 200 мл/л. Это означает, что метан в толщу воды проникает через осадок из зоны разлома.

Усиление активности метановых эманаций на морском дне проявляется также в увеличении числа их источников. Множество новых гидроакустических аномалий обнаружено в июне 2002 г. в 29-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев», который сопровождался сейсмической активностью региона. Она стала вероятной причиной роста количества выходов метана и одновременного увеличения его концентраций в воде. К 2004 г. на шельфе и в котловине Дерюгина их было выявлено уже более сотни. Всего за время наших газогеохимических исследований обнаружено к 2011 г. более 500 выходов пузырей метана из донных отложений в воду и из воды частично в атмосферу.

Указанные изменения в эманациях метана наблюдались после отмеченных выше пиков сейсмической активности, т.е. после динамической «встряски» тектонической системы и раскрытия разломов. Сопоставление сейсмической динамики

с изменениями активности метановых эманаций показывает существование их взаимосвязи. В результате многолетних наблюдений оказалось, что увеличение количества выходов метана и его концентраций в водной толще взаимосвязано с ростом межгодовой динамики коровой сейсмичности Сахалина, например, по наблюдениям с 1985 по 2002 г. Расчет сделан по 247 эпизодам землетрясений магнитудой больше 3. По 457 эпизодам землетрясений подсчитана выделенная энергия землетрясений с магнитудой от 2,1 до 6,7 [9]. Кривые распределения энергии землетрясений, динамики сейсмичности хорошо коррелируют с кривыми распределения количества выходов пузырей метана и его концентрациями в придонной воде (рис. 4, а, б). При сейсмотектонической активизации разломные зоны раскрываются и становятся путями миграции газа. Его источником могут быть разрушающиеся нефтегазовые и газогидратные залежи, остаточная или продолжающаяся вулканическая деятельность [10].

В экспедиции 2011 г. в верхнем слое донных осадков обнаружена новая площадь га-

зогидратов. В этом районе выполнен широтный газогеохимический профиль водной толщи с шельфа на склон, на котором обнаружен промежуточный слой воды с низкой температурой (от -0,5 до -1,5 °C) и сверхвысоким содержанием метана (10000–11000 нл/л), превышающим фон в 1000 раз. Важно правильно оценивать эти данные в целях использования их для поиска газогидратов, нефтегазовых залежей, оценки экологического влияния аномалий метана на биоценоз донных осадков, водную толщу и расчета объема поступления метана в атмосферу и его участия в процессе глобального изменения (потепления) климата.

Важной особенностью является то, что потоки метана обнаруживаются в районе зон разломов на Сахалинском северо-восточном склоне Охотского моря в области распространения нефтегазосодержащих осадочных отложений, из которых добываются нефть и газ на месторождениях шельфа Сахалина. В период сейсмотектонической активизации по разломам из нефтегазосодержащих слоев метан мигрирует в верхние слои донных осадков, где образуются газогидраты в

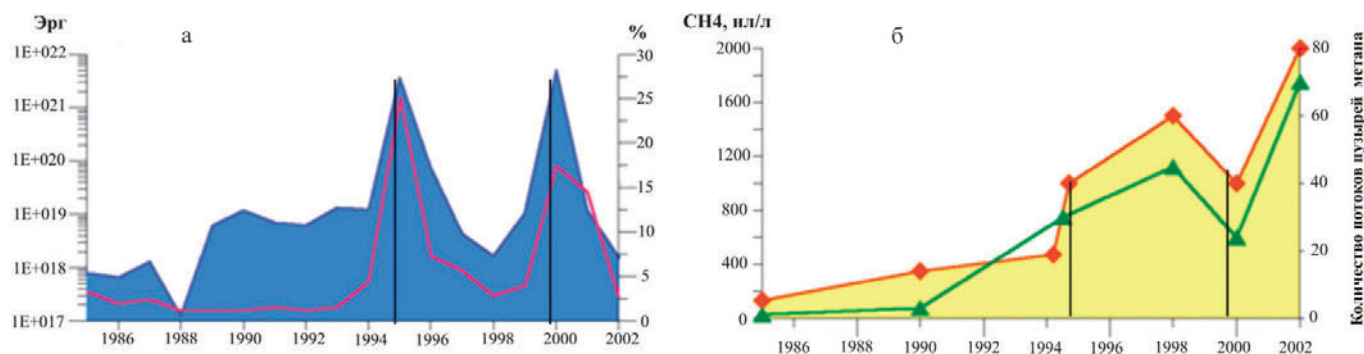


Рис. 4. Корреляция потоков пузырей метана и сейсмической активности Сахалинского региона за период 1985–2002 гг.: а – межгодовое изменение динамики коровой сейсмичности. Верхняя кривая – распределение выделенной энергии землетрясений (расчет сделан Е.А. Бессоновой [9] по 457 землетрясениям с амплитудами от 2,1 до 6,7). Нижняя (красная) кривая показывает процентное распределение количества землетрясений с магнитудой больше 3 (расчет сделан Е.А. Бессоновой [9] по 247 эпизодам землетрясений); б – распределение потоков и концентраций метана по годам исследований на Сахалинском северо-восточном склоне Охотского моря. Верхняя кривая (квадраты) – концентрации метана (нл/л) в придонной воде. Нижняя кривая (треугольники) – количество потоков пузырей метана

условиях их стабильности (низкой температуры и высокого давления). В то же время газогидраты являются хорошей покрывкой, консервируют углеводородные газы и тем самым способствуют формированию нефтегазовых залежей. В определенное геологическое время в период накопления осадков в море газогидраты опускаются глубже, где температура повышается, и снова переходят в газ. Часть этого газа затем по разломам переходит в верхние слои донных осадков и образует газогидраты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, согласно нашим исследованиям в Охотском море следует сделать вывод, что

основным источником метана в этом регионе является термогенный метан нефтегазосодержащих слоев нефтегазовых месторождений. Метан по зонам разломов поступает из недр к поверхности, и в зоне стабильности газогидратов, в районе метановых потоков в донных осадках, образуются газогидраты. Изотопный состав углерода метана изменяется (облегчается) в связи с его фракционированием в процессе микробной переработки термогенного метана – окисления и вновь образования в подповерхностных слоях донных осадков.

Проведенные исследования показывают, что выявленное в результате многолетнего мониторинга усиление газогидротермальной активности в Охотском море связано с общим тектони-

ческим оживлением земной коры в переходной области от Азии к Тихому океану. Эманация и концентрации метана и сопутствующих газов в приповерхностных слоях коры могут служить своеобразной «смазкой» или «подушкой», способствующей сдвигу и перемещению блоков коры в условиях сейсмической активизации при имеющихся тектонических напряжениях. Их следует рассматривать как один из факторов усиления геодинамического эффекта. Поэтому газогеохимические поля и газогидротермальные источники можно использовать для оценки прогноза сейсмической активности региона, картирования зон активных разломов, поиска залежей углеводородов и газогидратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cruise reports: R/V «Akademik M. A. Lavrentyev». Cruise 29. GEOMAR. 2002.
2. Jin Y.K., Kim Y.G., Baranov B., Shoji H., Obzhirov A. Distribution and expression of gas seeps in a gas hydrate province of the northeastern Sakhalin continental slope, Sea of Okhotsk // *Marine and Petroleum Geology*. 2011. Vol. 28. P. 1844–1855.
3. Обжиров А.И. Газогеохимические поля придонного слоя морей и океанов. М.: Наука, 1993. 139 с.
4. Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д., Обжиров А.И., Дуглас В.К. Газовые гидраты Охотского моря // *Отечественная геология*. 1994. С. 190–197.
5. Обжиров А.И., Казанский Б.А., Мельниченко Ю.И. Эффект звукоассеивания придонной воды в краевых частях Охотского моря // *Тихоок. геол.* 1989. № 2. С. 119–121.
6. Лейн А.Ю. Биохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.
7. Белонин М.Д., Григоренко Ю.Н., Маргулис Л.С., Кушмар И.А. Состояние и воспроизводство сырьевой базы нефте- и газодобычи на Востоке России [Электронный ресурс] // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2004. № 1. URL: www.geoinform.ru
8. Collett T. Natural gas production from Arctic gas hydrates // *The future of energy gases*. US geological survey professional paper. 1993. № 1570. P. 299–311.
9. Кулинич Р.Г., Бессонова Е.А., Обжиров А.И. О корреляции метановых эманаций со структурой фундамента северо-восточного шельфа и склона о. Сахалин и сейсмической активностью региона // *Дальневосточные моря России*. Кн. 3. М.: Наука, 2007. С. 277–285.
10. Обжиров А.И., Телегин Ю.А. Метан нефтегазосодержащих пород – основной источник формирования газогидратов в Охотском море // *Газохимия*. 2011. № 1. С. 44–49.

