



УДК 553.98

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ ГАЗА И ГАЗОГИДРАТЫ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ САХАЛИНА

В.В.Рыбальченко (ПАО «Газпром»), **Г.Н.Гогоненков** (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»), **В.А.Слепченко** (АО «Центральная геофизическая экспедиция»)

Северо-восточный шельф о-ва Сахалин является одним из наиболее активно изучаемых регионов, перспективных для поиска нефти и газа. За последние 10-летия здесь открыто множество крупных месторождений УВ. С каждым годом прирост минерально-сырьевой базы за счет открытых месторождений в осадочном чехле будет неминуемо сокращаться, поэтому актуальность поиска нетрадиционных мест скопления УВ на сегодняшний день встает крайне остро. Современная сейсморазведка 3D на Киринском, Аяшском и Восточно-Одоптинском блоках северо-восточного шельфа о-ва Сахалин вкупе с высококачественными региональными профилями 2D позволяют изучать закономерности распространения каналов миграции газа по площади и их связь с положением зон распространения газогидратов. Рассмотрению этих вопросов и посвящена данная статья. Изучение природы происхождения больших объемов метана, обнаруженного в осадках и придонных толщах шельфа о-ва Сахалин, имеет не только научное содержание, но и важное практическое значение. С ним связаны перспективы поисков месторождений в толще мезозойского фундамента, которые высоко оцениваются многими исследователями.

Ключевые слова: шельф Сахалина; сейсморазведка 3D; миграция газа из фундамента; газогидраты; мезозойский фундамент.

Шельф о-ва Сахалин уже несколько 10-летий является объектом пристального внимания геологов, работающих в области поисков месторождений УВ. В 70-х гг. прошлого столетия на северо-восточном шельфе был открыт ряд крупных месторождений нефти и газа: Чайвинское, Одоптинское-море, Пильтун-Астоское, Лунское, Аркутун-Дагинское, введенных в настоящее время в активную разработку. После длительного перерыва на Киринском лицензионном участке ПАО «Газпром» открыто новое уникальное нефтегазоконденсатное месторождение — Южно-Киринское, что вновь подстегнуло интерес к поисковым работам.

Одновременно с широкомасштабным геологическим изучением продуктивных толщ проводились активные исследования водного слоя и придонных осадков, возглавляемые учеными Тихоокеанского океанологического института им. В.И.Ильичева Дальневосточного отделения РАН. Ими в 1988 г. в западной части Охотского моря при глубине моря 700 м обнаружен поток пузырей метана в водной толще [1]. В процессе дальнейших исследований (1988-2011) выявлено более 500 выходов пузырей газа в воду из придонных отложений [2, 3]. Во всех многочисленных точках изучения потоков состав газа на 95-99 % состоял из метана с примесью малых объемов более высоких гомологов и углекислого газа. На записях эхолотирования потоки пузырей метана регистрируются как субвертикальные тела повышенного затухания акустической энергии, начинающиеся от дна моря и воздымающиеся на десятки и сот-

ни метров. Потоки метана в водной толще обнаружены как на мелководном шельфе, так и склоне Дерюгинской впадины. Отбор проб грунтов из придонных осадков на западном борту впадины позволил установить наличие мощных скоплений газогидратосодержащих толщ на глубине моря 400 м и более в термодинамических условиях, отвечающих устойчивому состоянию газогидратов [2, 4].

Газогидраты как объект геологического изучения, возможно, впервые в мировой практике были изучены и описаны в 1965-1966-х гг. Ю.Ф.Макагоном, в то время сотрудником Института нефти и газа им. И.М.Губкина [4, 5]. Ю.Ф.Макагон и до настоящего времени является одним из ведущих ученых мира в области газогидратов. Исследования показали, что газогидраты метана являются химически устойчивым соединением в относительно узком диапазоне давлений и температур. В акваториях Мирового океана зона гидратообразования начинается от дна океана и обычно составляет несколько сот метров. Субмаринные залежи приурочены главным образом к глубоководному шельфу и океаническому склону при глубине воды от 200 м — для условий Приполярья и от 500-700 м — для экваториальных регионов. «Толщина зоны гидратообразования сильно зависит от донных температур и термоградиента. С повышением донных температур и термоградиента она уменьшается» [4]. Резкое изменение температуры или давления, например при близких землетрясениях, может привести к взрывному разложению газогидратов на метан и воду с

освобождением больших объемов газа и катастрофической деформацией придонных осадков.

Газогидратные скопления широко распространены в различных акваториях мира. Они являются весьма перспективным источником добычи метана, так как в 1 м³ газогидрата содержится около 160 м³ метана. Исследования в области промышленной разработки залежей газогидратов идут в ряде стран. Япония объявила о скором начале экспериментальных работ по опытно-промышленной разработке крупных скоплений газогидратов на своем шельфе.

Дискуссионным остается вопрос о происхождении огромных объемов метана, диффундирующего в толщу воды и захороненного в газогидратных залежах. Есть три точки зрения на эту проблему.

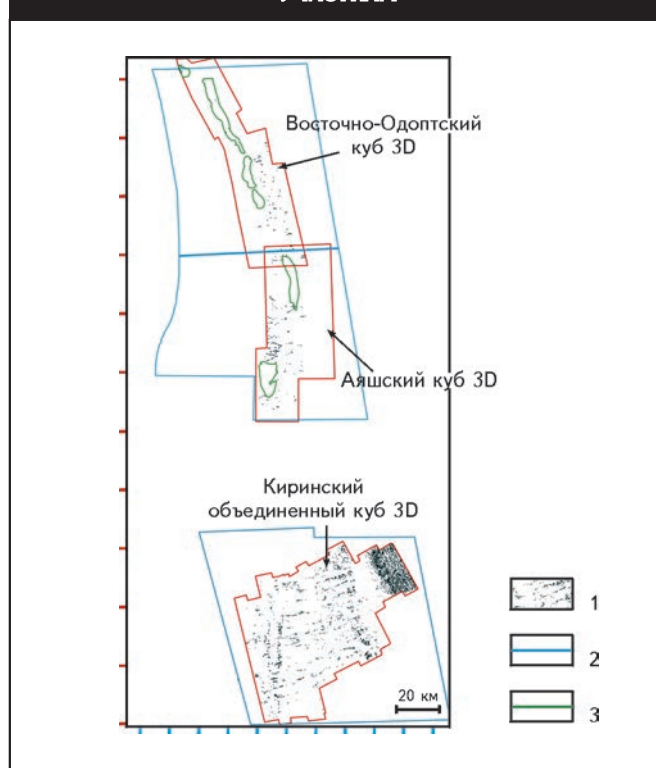
Первая — современный метан образовался за счет продукции деятельности бактерий. В пользу этой гипотезы свидетельствует большой процент содержания легкого изотопа углерода ¹²C в изученных образцах газов и газогидратов шельфа Сахалина [2].

Вторая точка зрения — метан скопился из захороненного в процессе кайнозойского осадконакопления органического материала под действием высоких температур и давлений. В пользу этой позиции свидетельствуют крупные скопления метана в месторождениях на шельфе Сахалина на значительных глубинах — до 3500 м. Обогащение легкими изотопами углерода могло происходить как вторичный процесс при миграции метана в придонные слои [6].

Наконец, третья гипотеза, которую поддерживают авторы настоящей статьи, — миграция метана происходит из толщи мезозойского дислоцированного фундамента. При этом источником метана могут быть как древние мезозойские или докембрийские осадочные толщи, наличие которых в составе офиолитовых блоков и пластин доказано в обнажениях на суше Сахалина [7], так и метан неорганического происхождения, мигрирующий из мантии по глубоким коровым разломам на стыке Охотоморской и Амурской тектонических плит или образовавшийся в результате химических реакций при соединении ультраосновных пород и морской воды при относительно высоких температурах и давлениях [7-9].

Вопрос о происхождении больших объемов метана, обнаруженного в осадках и придонных толщах шельфа Сахалина, имеет не только

Рис. 1. СХЕМА ПОЛОЖЕНИЯ ВЫХОДОВ ГАЗА ПО ТРЕМ АНАЛИЗИРУЕМЫМ ЛИЦЕНЗИОННЫМ УЧАСТКАМ



1 – каналы миграции газа; границы: 2 – лицензионных участков, 3 – амплитудных аномалий в верхней части разреза

Рис. 2. ПРИМЕР АМПЛИТУДНЫХ АНОМАЛИЙ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ СКОПЛЕНИЕМ ГАЗА В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ НАД МОЛОДЫМИ АНТИКЛИНАЛЯМИ

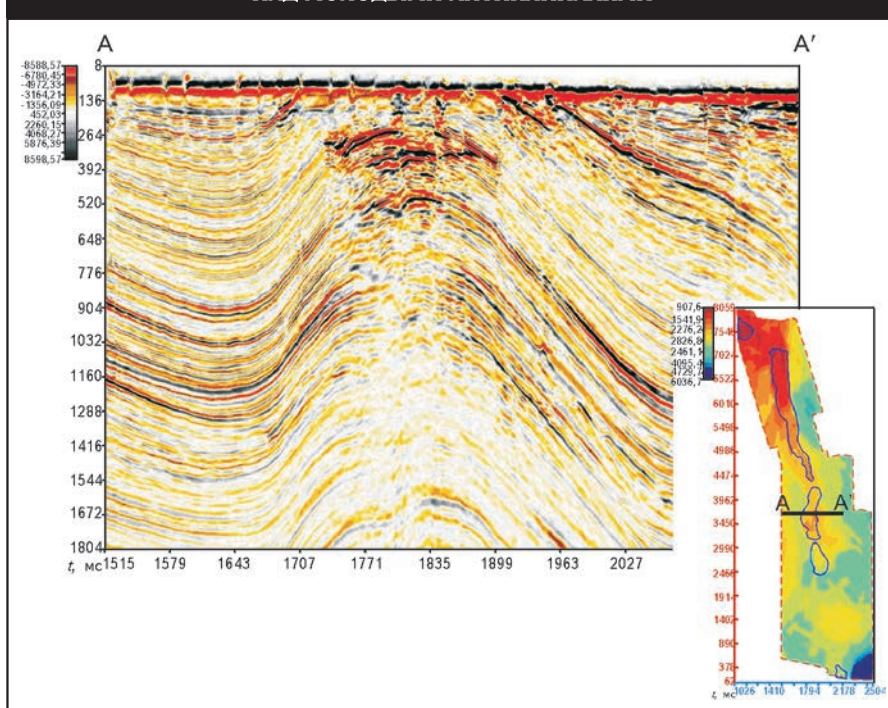


Рис. 3. ФРАГМЕНТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ СУБВЕРТИКАЛЬНЫЕ КАНАЛЫ МИГРАЦИИ ФЛЮИДОВ

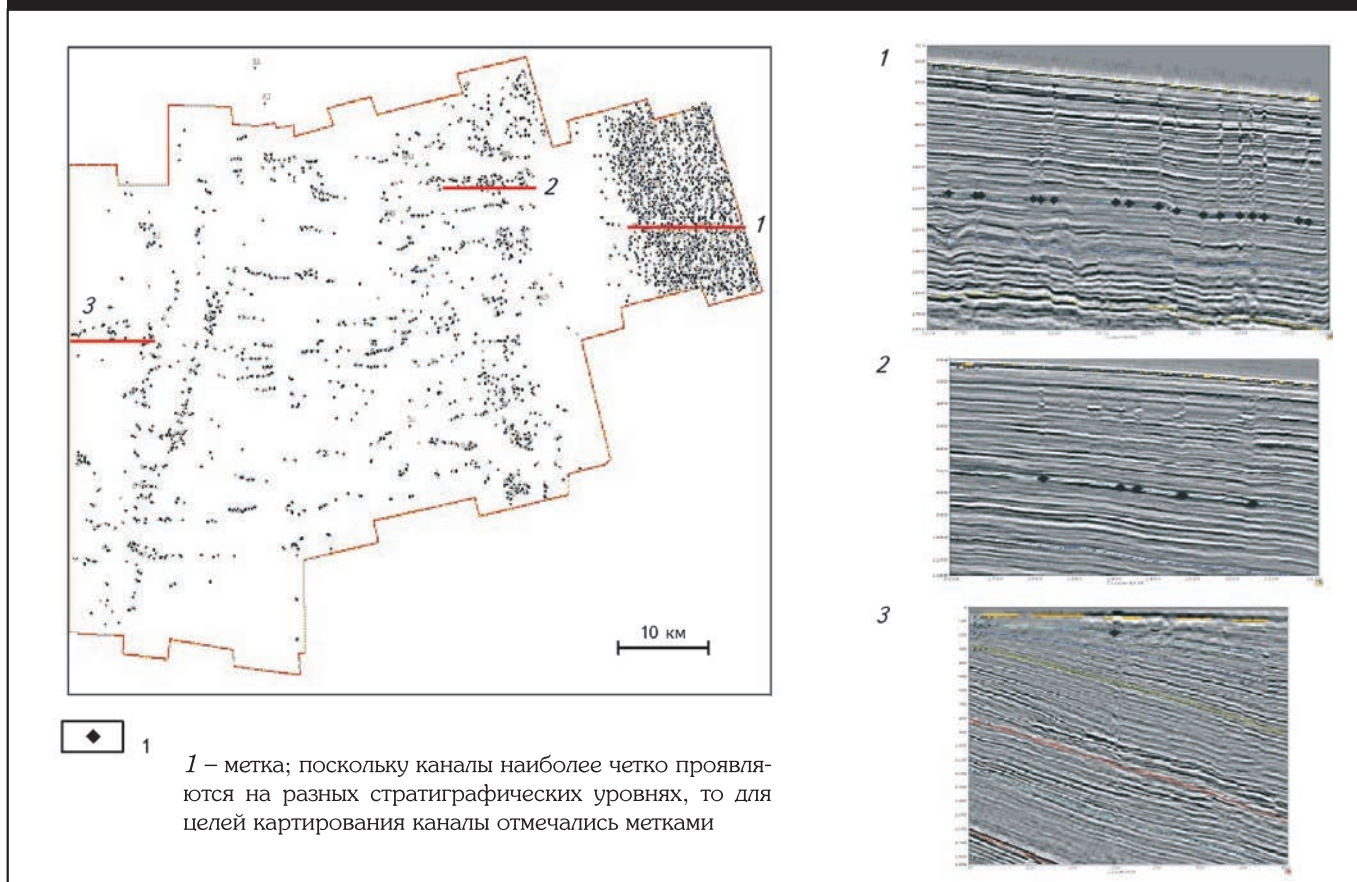
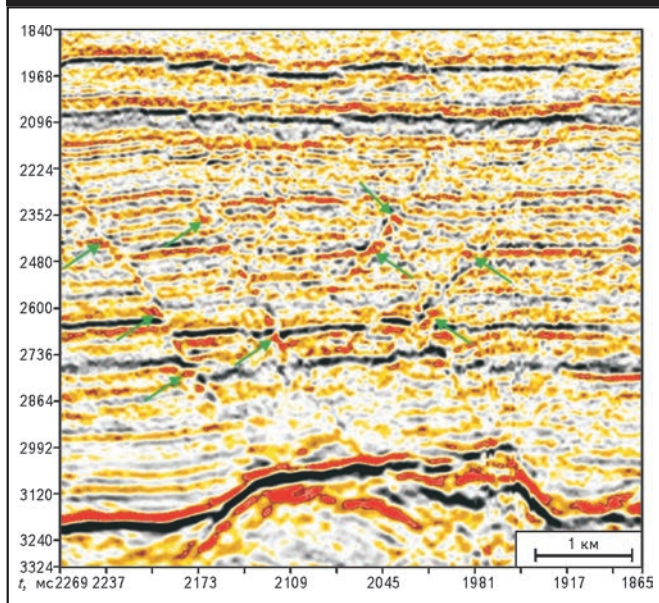


Рис. 4. ПРОЯВЛЕНИЕ МИГРАЦИИ ГАЗА ПО РАЗЛОМАМ В ПРИФУНДАМЕНТНОЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА



Газ, мигрирующий по разломам, скапливается на пути в мелких ловушках и проявляется в локальных аномалиях амплитуд

научное содержание, но и важное практическое значение. С ним связаны перспективы поисков месторождений в толще мезозойского фундамента, которые высоко оцениваются многими исследователями [7, 8, 10-12].

В свете изложенного целесообразно изучить вопрос об источниках метана на базе новейших геолого-геофизических данных. Основой такой работы явились выполненные в течение 2010-2014 гг. масштабные сейсмические работы 3D на лицензионных участках ПАО «Газпром» на северо-восточном шельфе о-ва Сахалин.

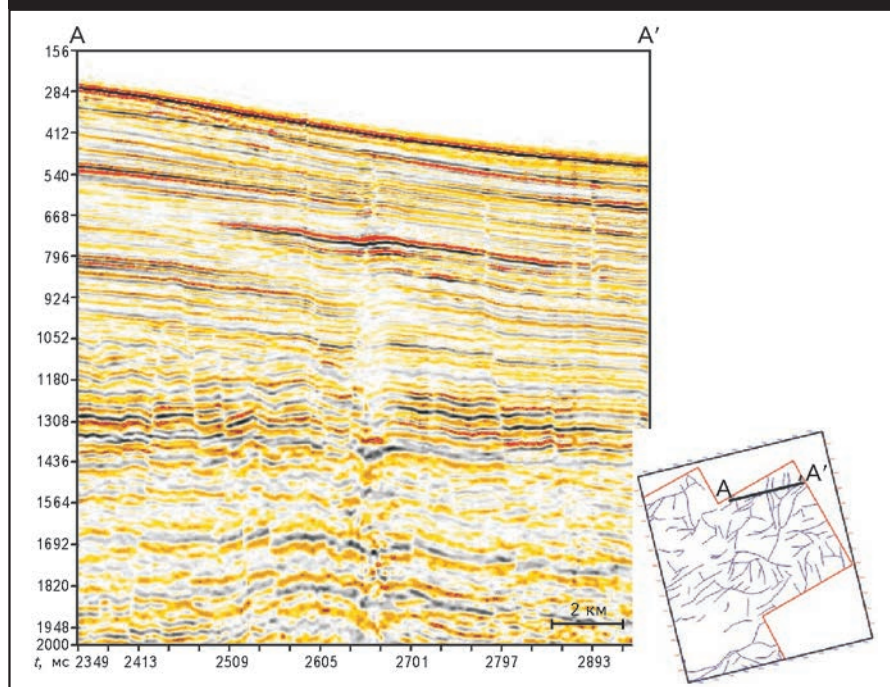
Для определения источников, мигрирующих в придонные слои разреза УВ-газов, были тщательно проанализированы кубы сейсмических записей, прошедших глубокую обработку с глубиной миграцией до суммирования, обеспечивающей максимальную пространственную разрешенность сейсмических изображений. Также было обеспечено сохранение «истинных» амплитуд отражений, играющих важнейшую роль при картировании газовых скоплений в осадочном разрезе.

В процессе анализа сейсмических данных выделено два принципиально различных типа метановых каналов (рис. 1). Один связан с интенсивной новейшей тектоникой, когда в приповерхностных слоях на сводах

молодых антиклинальных структур формируются достаточно крупные многослойные газовые скопления. Они четко выделяются интенсивными отражениями с полярностью, характерной для пластов с понижением акустической жесткости. Приповерхностные аномалии такого типа создают дополнительные эффекты на сейсмических разрезах — зоны зашумления и искусственное прогибание осей синфазности под ними, обусловленные существенным понижением скоростей распространения сейсмических волн в зонах аномалий. Такие аномалии выходов газа выделяются практически на всех неотектонических структурах северо-восточного шельфа Сахалина вне зависимости от существования в глубинных частях такой структуры промышленных залежей нефти и газа (как на Лунском, Чайвинском, Одоптинском и других месторождениях) или отсутствия крупных скоплений УВ в них (Баутинская, Восточно-Одоптинская и др.). Причина формирования таких скоплений газа ясна. Интенсивное зарождение положительных структур в новейшее плейстоцен-голоценовое время сопровождалось растрескиванием с растяжением в осевой части структур. Образовывались многочисленные субвертикальные каналы, по которым рассеянный (или уже частично сформировавшийся залежи) газ устремлялся вверх, скапливаясь под новейшими отложениями, не претерпевшими процессов деформации и растрескивания (рис. 2). Отметим также, что на антиклиналях относительно древнего заложения, таких как (Южно-Кириновская, Мынгинская и др.) мощных скоплений газа в приповерхностных отложениях не отмечено.

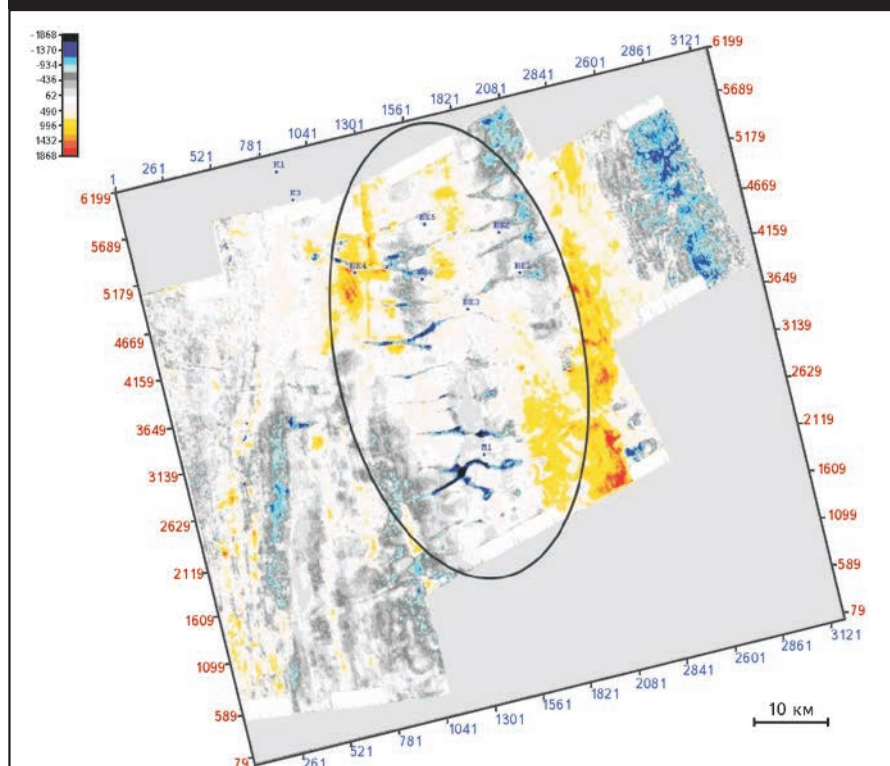
Вторым классом объектов вертикальной миграции газа являются локальные каналы, практически точечные, не связанные напрямую со структурообразованием. Прежде чем перейти к анализу крайне неоднородного распределения плотности

Рис. 5. СКОПЛЕНИЯ ГАЗА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА



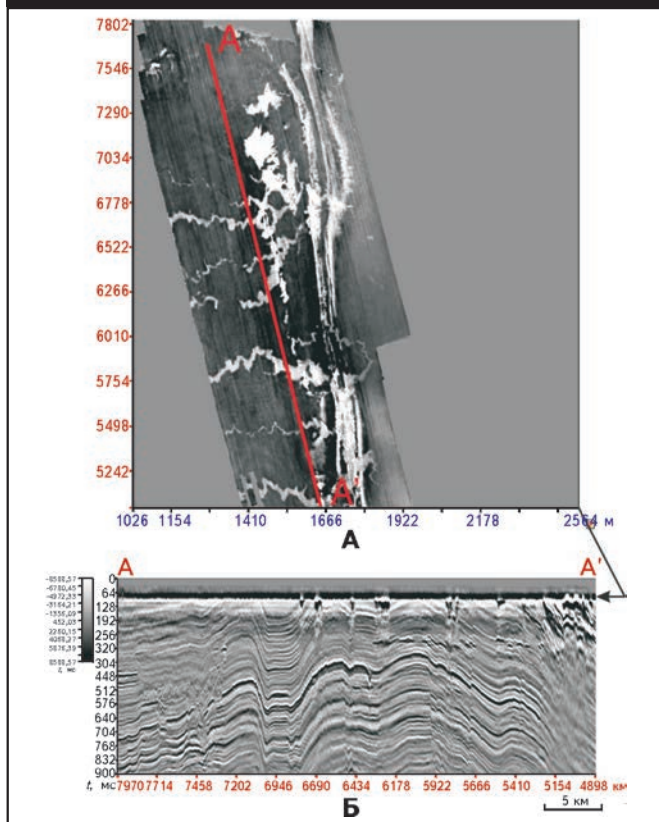
Скопления газа вызвали яркие аномалии амплитуды на сейсмическом разрезе

Рис. 6. СЕДИМЕНТАЦИОННЫЙ СЛАЙС ПО ГОРИЗОНТУ В ВЕРХНЕУТОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ



Поднимающийся газ заполняет палеоруслу транспорта осадков вглубь бассейна, подсвечивая их на сейсмических данных

Рис. 7. СЕДИМЕНТАЦИОННЫЙ СЛАЙС ПО ДОННЫМ ОСАДКАМ НА УРОВНЕ 78 мс (А) И ВЕРТИКАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ (Б), ГДЕ СОВРЕМЕННЫЕ ПОТОКИ ПОДСВЕЧИВАЮТСЯ МИГРИРУЮЩИМ ГАЗОМ

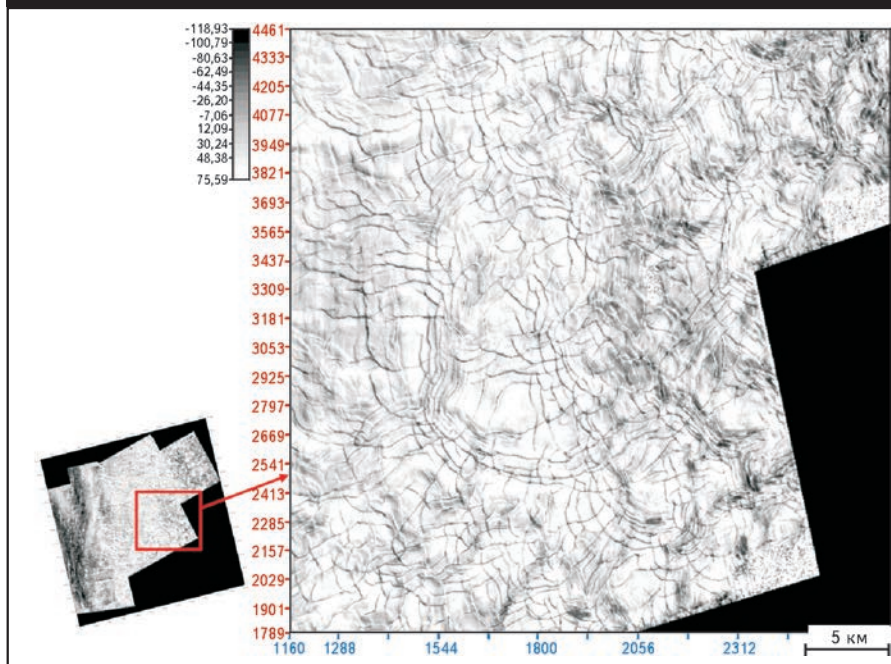


одиночных каналов, рассмотрим на нескольких примерах, как они отображаются на сейсмической записи (рис. 3). Обычно какая-то часть канала миграции проходит по видимому тектоническому нарушению со смещением отражающих границ. В других частях таких смещений не видно, но наличие разрыва сплошности пород, например при малоамплитудной сдвиговой дислокации, следует предполагать. Как правило, канал подсвечивается микроловушками газа на пути миграции (рис. 4) или в своей верхней части, где скопившийся свободный газ формирует яркие аномалии амплитуд (рис. 5).

Практически на всей изученной съемкой 3D площади поднимающиеся газовые потоки заполняют встреченные локальные ловушки. К таковым следует отнести подводные палеоканалы или палеоруслы транспорта осадочного материала с палеобереговой линии вглубь бассейна. Палеоруслы содержат более высокий процент песчаного материала с повышенной пористостью и проницаемостью. Вертикальный канал миграции газа, встречая потоки транспорта осадков, заполняет межзерновое пространство, ярко подсвечивая потоки (рис. 6). Отметим, что даже современные подводные потоки осадочного материала, четко выделяемые на Восточно-Одоптинской площади, также аккумулируют рассеянный газ и ярко «светятся» на сейсмических разрезах в соответствующей газу полярности (рис. 7).

Распределение одиночных каналов по площади неравномерное. Отметим прежде всего снижение общего

Рис. 8. ФРАГМЕНТ КАРТЫ КОГЕРЕНТНОСТИ НА УРОВНЕ НИЖНЕНУТОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ (ОГ 4), ДЕМОНИСТРИРУЮЩИЙ АКТИВНУЮ ПОЛИГОНАЛЬНУЮ НАРУШЕННОСТЬ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ НА КИРИНСКОМ БЛОКЕ



числа одиночных каналов от южного Киринского блока на север к Аяшскому и далее Восточно-Одоптинскому лицензионным участкам. Это уменьшение хорошо коррелирует с ослаблением тектонической активности сдвигового типа в осадочной толще, а также исчезновением полигональной нарушенности в нижне-средненутовских отложениях, активно развитой на Кирином блоке (рис. 8) и практически отсутствующей далее на севере (рис. 9).

Рассмотрим подробнее картину одиночных каналов на Кирином блоке (рис. 10). Миграционные потоки распределены по всей изученной съемкой 3D площади, но крайне неравномерно. Особую зону представляет восточная часть площади в пределах свода Южно-Киринской структуры, где плотность каналов выхода газа в 10-30 раз выше, чем на всей остальной пло-

щади изученной части блока. На остальной части блока прямой связи распределения каналов миграции с разломами на границах крупных тектонических структур в фундаменте не наблюдается. Также не видна связь плотности каналов с открытыми месторождениями — Южно-Киринским и Мынгинским. Остается предполагать, что разрез повсеместно насыщен рассеянными УВ-газами, а их скопления и последующая миграция в приповерхностные слои регулируются мелкомасштабной локальной тектоникой, формирующей в какие-то промежутки времени субвертикальные каналы, по которым газообразные флюиды перемещаются в верхние слои осадочной толщи.

Вернемся к аномальной зоне на востоке площади и прежде всего продемонстрируем как уверенно фиксируются каналы на вертикальных сейсмических сечениях куба 3D (рис. 11). Если в других зонах достаточно сложно увидеть глубины возникновения каналов миграции, то здесь картина другая. Во множестве точек и целых зонах можно видеть, что каналы миграции зарождаются на кровле мезозойского фундамента (рис. 12). Чаще всего зоны выхода газа приурочены к участкам развитой разломной сдвиговой тектоники, проявляющейся в веерах малоамплитудных разломов низов осадочной толщи. Веера разломов плохо видны в зоне активной миграции газа, но четко картируются на сейсмических разрезах западнее области аномальной миграции (рис. 13). Здесь легко установить генетическую связь вееров разломов в осадочной толще с разломами в верхах фундамента.

Наблюдаемая картина не является ложной, обусловленной ошибками или артефактами обработки сейсмических данных 3D. Это подтверждают результаты высококачественной сейсмической съемки 2D, выполненной трестом «Дальморнефтегеофизика» в рамках проекта CSA07 в 2007 г. на серии региональных профилей, часть из которых пересекает аномальную зону. На рис. 14 приведен профиль из этой съемки, демонстрирующий резкое возрастание числа каналов выходов газа в описываемой аномальной зоне.

Картина становится еще более сложной, когда мы сопоставляем результаты вышеописанных сейсмических съемок с данными системы протяженных субширотных региональных сейсмических профилей, прохо-

Рис. 9. ФРАГМЕНТ КАРТЫ КОГЕРЕНТНОСТИ НА УРОВНЕ НИЖНЕНУТОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ (ОГ 4) НА ВОСТОЧНО-ОДОПТИНСКОМ БЛОКЕ, ДЕМОНСТРИРУЮЩИЙ ПОЛНОЕ ОТСУТВИЕ ПОЛИГОНАЛЬНОЙ НАРУШЕННОСТИ

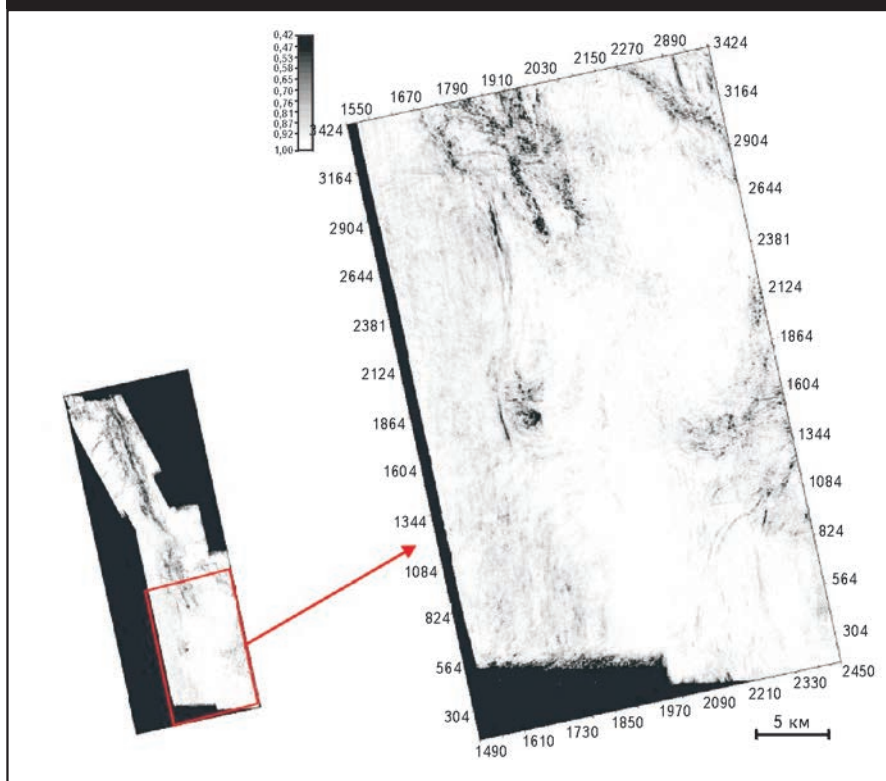
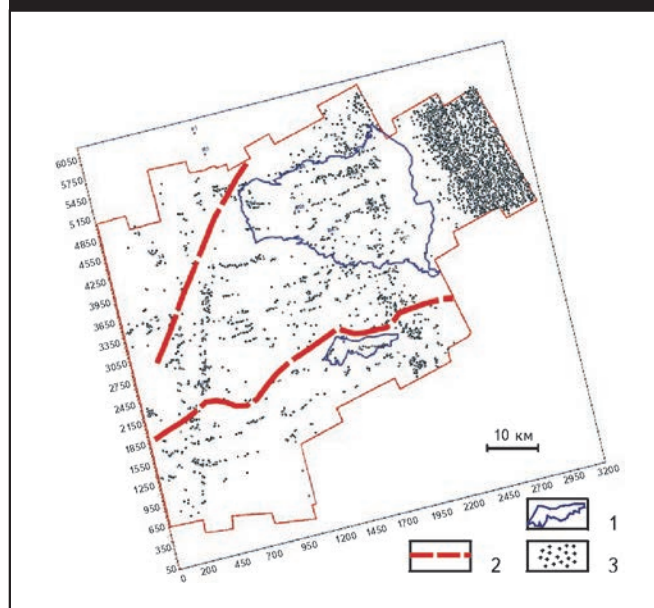
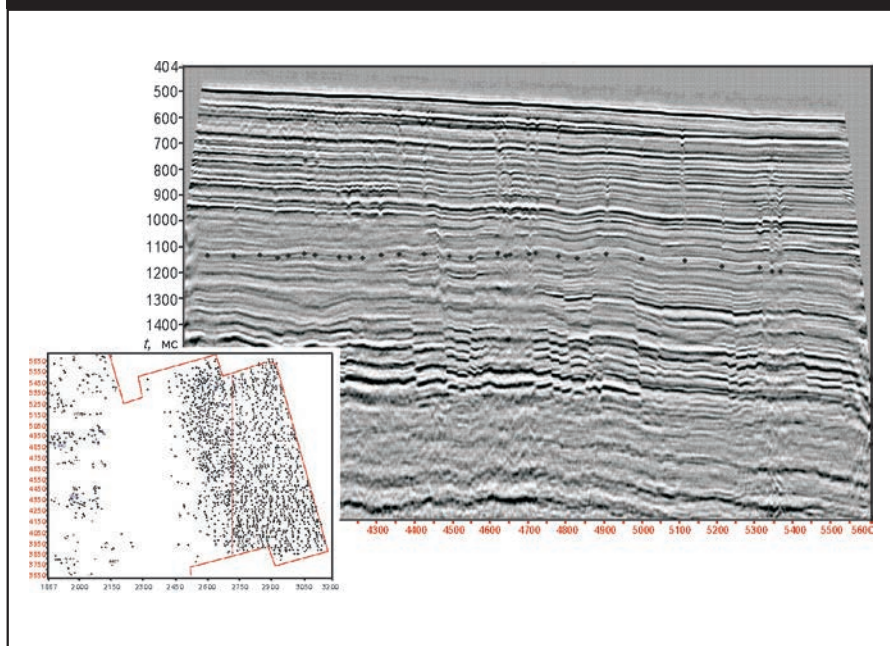


Рис. 10. ОТСУТВИЕ ПРЯМОЙ СВЯЗИ ПЛОТНОСТИ КАНАЛОВ МИГРАЦИИ С РЕГИОНАЛЬНЫМИ РАЗЛОМАМИ И КОНТУРАМИ ИЗВЕСТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



1 – границы газовых залежей; 2 – региональные разломы; 3 – метки

Рис. 11. КАНАЛЫ МИГРАЦИИ ГАЗОВОГО ФЛЮИДА (line 2717)



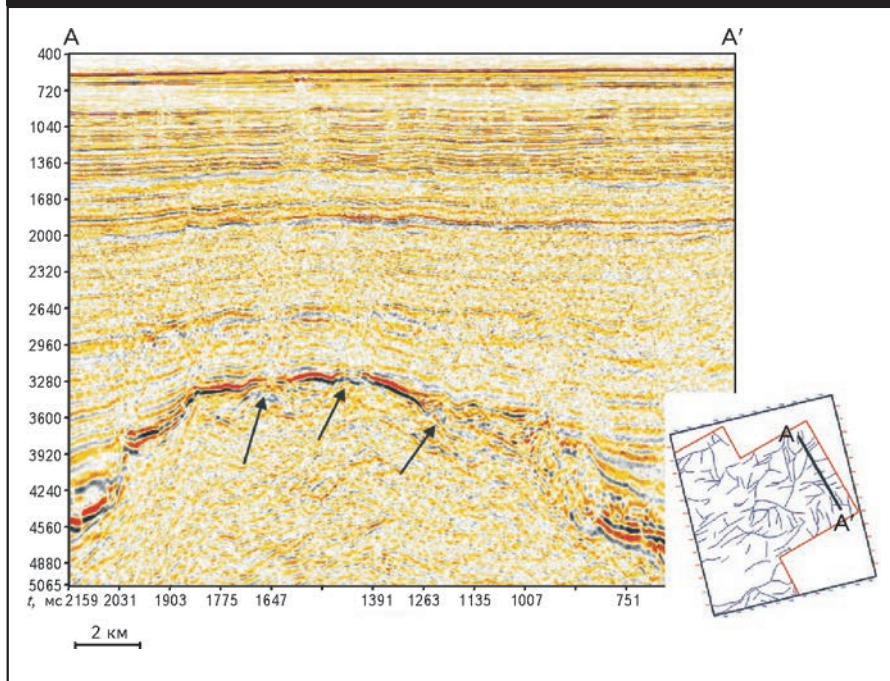
го шельфа Сахалина с нанесенными контурами месторождений и лицензионных участков, а на рис. 16 приведены сейсмические профили. На всех профилях на западном склоне впадины Дерюгина, где глубина моря достигает отметок 450-550 м, в приповерхностных слоях отчетливо выделяется увеличение амплитуд отражений, под которыми видны зона ослабления энергии и размытость сейсмической записи. Это типичная картина отображения на сейсмических разрезах в придонных слоях толщи газогидратов, обуславливающих увеличение амплитуд отраженных волн. Поскольку газогидратная толща является непроницаемой крышкой для мигрирующего газа, то вся толща под ней обогащается свободным рассеянным газом, формирующим «белую» зону ослабления энергии сейсмических отражений.

дящих с северо-восточного шельфа Сахалина вглубь Дерюгинской депрессии, отработанных и обработанных специалистами треста «Дальморнефтегеофизика» в 2004-2007 гг. На рис. 15 показано положение ниже демонстрируемых профилей на карте северо-восточного

О формировании вдоль всего западного склона Дерюгинской депрессии (или вдоль восточной границы северо-восточного шельфа Сахалина, что по сути одно и то же) протяженной зоны скопления газогидратов было известно давно. Дальневосточные сейсморазведчики с середины 90-х гг. прошлого

века выделяли здесь «зону осложненной сейсмической записи». Т.В.Матвеева и В.А.Соловьев [3], базируясь на данных высокочастотного эхолотирования, четко выделяющего потоки пузырей метана в придонном слое, отмечали, что полоса выходов метана протянулась зоной 130 км длиной и 20 км шириной вдоль северо-восточного шельфа Сахалина в интервале глубин моря 620-1040 м, что практически точно соответствует выделяемой сейсморазведчиками «зоне осложненной сейсмической записи». Контуры «зоны осложненной сейсмической записи» и точки отбора приповерхностных грунтов, насыщенных газогидратами, продемонстрированные А.И.Обжировым [6], картировали специалисты треста «Дальморнефтегеофизика» (см. рис. 15). На фотографии скоплений газогидратов в придонных слоях газогид-

Рис. 12. НАЧАЛО МИГРАЦИИ ГАЗА НА КРОВЛЕ МЕЗОЗОЙСКИХ ПОРОД В ЗОНАХ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ДРОБЛЕНИЯ

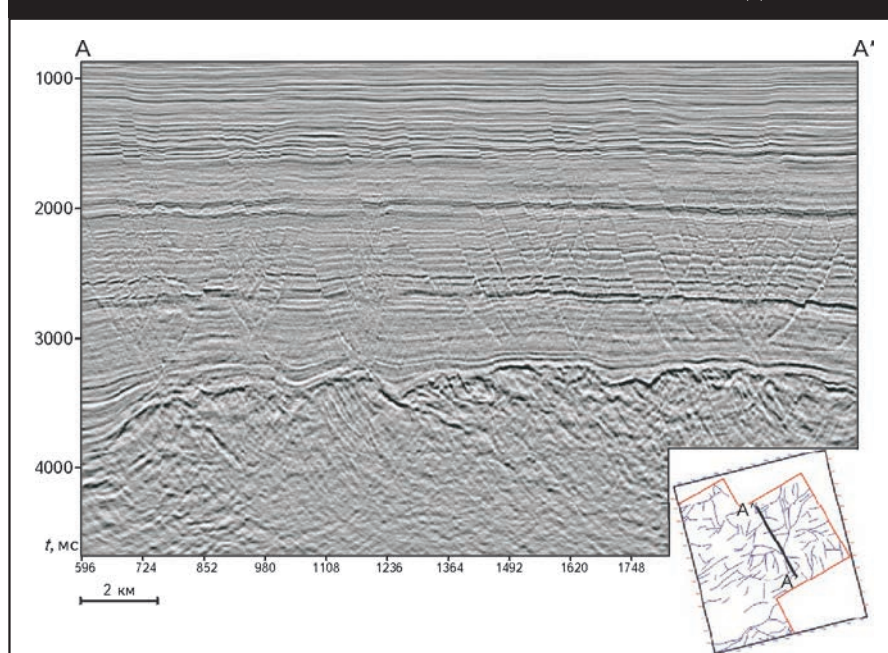


раты хорошо видны в темных илистых осадках на глубине 2-3 м от поверхности дна при глубине моря 700 м (рис. 17).

Рассмотрим основные физические характеристики гидратосодержащих пород. В чистом виде газогидраты имеют относительно низкую объемную плотность ($0,80-1,24 \text{ г/см}^3$) и скорость продольных волн ($1600-1900 \text{ м/с}$). Однако в осадочной породе, насыщенной газогидратами, скорость распространения продольной волны возрастает до $3000-3500 \text{ м/с}$ [13, 14]. Поскольку слои, насыщенные газогидратами, чередуются с интервалами и локальными зонами, где газ может находиться в свободном состоянии [4] и процесс перехода между газогидратами и свободным газом происходит непрерывно и зависит не только от локальных термодинамических условий, но и от состава вмещающих отложений и химизма пластовых вод, среднее значение характеристики акустической жесткости гидратосодержащих отложений будет занимать некоторое промежуточное положение между значениями 4800 и $3500 \text{ гм/см}^3\text{с}$.

В ряде публикаций важным сейсмическим признаком наличия газогидратов считают так называемое отражение BSR (Bottom Simulating Reflector) — интенсивное отражение от подошвы зоны скопления газогидратов. Такого интенсивного отражения на подошве газогидратной толщи на северо-восточном шельфе Сахалина не наблюдается. Судя по публикации американских специалистов по газогидратам А.Джонсона и М.Макса [15], отсутствие здесь BSR не является исключением. Приблизительно в 50 % случаев из многих десятков изученных залежей газогидратов такое особо интенсивное отражение отсутствует. Это связано с возможной тектонической нестабильностью, размывающей резкую границу между породами, насыщенными газогидратами и свободным газом. Но во всех случаях в приповерхностных осадках гидратосодержащие

Рис. 13. ВЕЕРА СДВИГОВЫХ НАРУШЕНИЙ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ, ГЕНЕТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫЕ С РАЗЛОМНОЙ ТЕКТОНИКОЙ ФУНДАМЕНТА



пласты достаточно резко отличаются по акустическим свойствам, являются более жесткими отложениями, отражение сейсмических волн от которых будет иметь обратную полярность по сравнению с аномалиями скопления свободного газа.

Рис. 14. ПРОЯВЛЕНИЕ КАНАЛОВ МИГРАЦИИ ГАЗА НА ДАННЫХ 2D

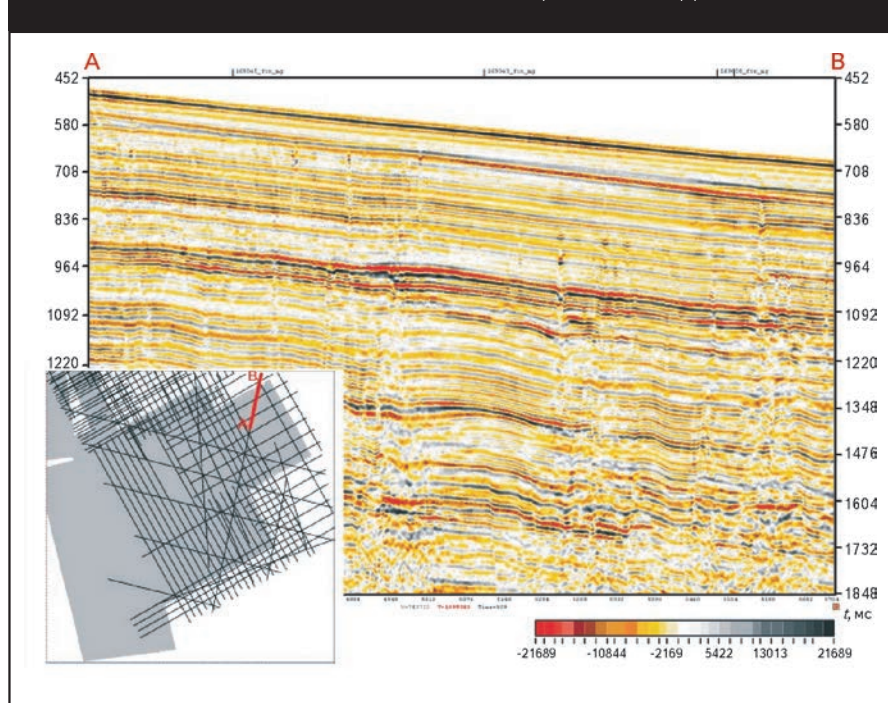
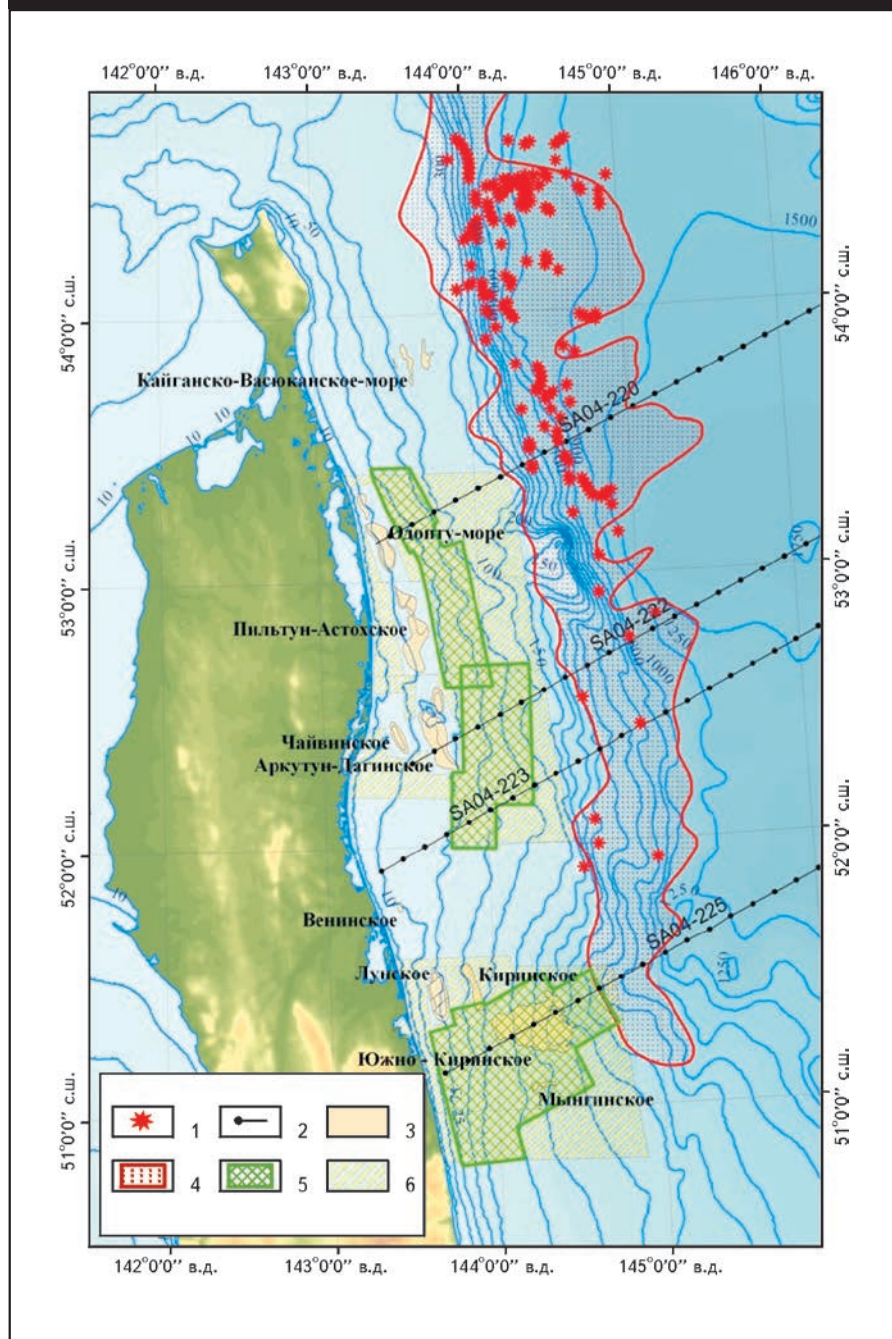


Рис. 15. КАРТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИЛЛЮСТРИРУЕМЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ, «ЗОНЫ ОСЛОЖНЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ» (по данным ОАО «Дальморнефтегеофизика») И ТОЧЕК ВЫХОДА ПОТОКОВ МЕТАНА НА ПОВЕРХНОСТЬ (по данным А.И.Обжирова)



1 – выходы метана на поверхность; 2 – сейсмические профили; 3 – месторождения УВ; 4 – зона сложной сейсмозаписи; 5 – сейсмическая съемка 3D; 6 – лицензионные участки ПАО «Газпром»

На показанных региональных профилях зона повышенных амплитуд отражений по мощности достигает в центральной части склона 400 м, постепенно выклиниваясь с уменьшением глубины моря и уменьшаясь в сторону увеличения глубины впадины Дерюгина.

Учитывая особенности строения северо-восточного склона шельфа Сахалина, вернемся к анализу аномальной зоны выходов газа на Южно-Кириинском своде. Один из демонстрировавшихся региональных профилей (SA04-225) проходит непосредственно через Южно-Кириинский свод. На рис. 18 приведено сопоставление фрагмента этого профиля с фрагментом вертикального сейсмического разреза, вырезанного из куба 3D по траверсу регионального профиля. Различия в графах обработки привели к несколько отличной динамике отраженных волн в верхней части разреза. Но наиболее существенно, что на разрезах отчетливо видны многочисленные каналы миграции газа, число которых резко возрастает еще до начала образования газогидратных скоплений. Следует полагать, что само формирование на склоне мощных скоплений газогидратных толщ является следствием аномально мощных потоков метана вдоль всего восточного склона впадины Дерюгина. Если вернуться к другим региональным профилям и в крупном масштабе посмотреть на зону перехода от шельфа к склону, то можно увидеть аналогичную картину: до появления аномальных амплитуд, обусловленных газогидратами, или непосредственно в начале аномалии, когда отражения от подстилающей толщи еще не нарушены скоплениями свободного газа, мы видим резкое увеличение числа каналов миграции газа (рис. 19). Съемки 3D на Аяшском и Восточно-Одоптинском блоках выполнены существенно западнее границы области аномальных потоков метана, поэтому на них мы не видим картину, аналогичную восточной части съемки 3D на Кириинском блоке.

Таким образом, представленные материалы свидетельствуют, что обширная зона «осложненной сейсмической записи», включающая области формирования газогидратных скоплений, обусловлена аномально высокой интенсивностью потоков метана из толщи мезо-

Рис. 16. РЕГИОНАЛЬНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ, ДЕМОНИСТРИРУЮЩИЕ НА СКЛОНЕ ШЕЛЬФА ЗОНУ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ, ПОД КОТОРОЙ СКАПЛИВАЕТСЯ СВОБОДНЫЙ ГАЗ, СВЕТЫМ ОБЛАКОМ МАСКИРУЮЩИЙ НОРМАЛЬНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ

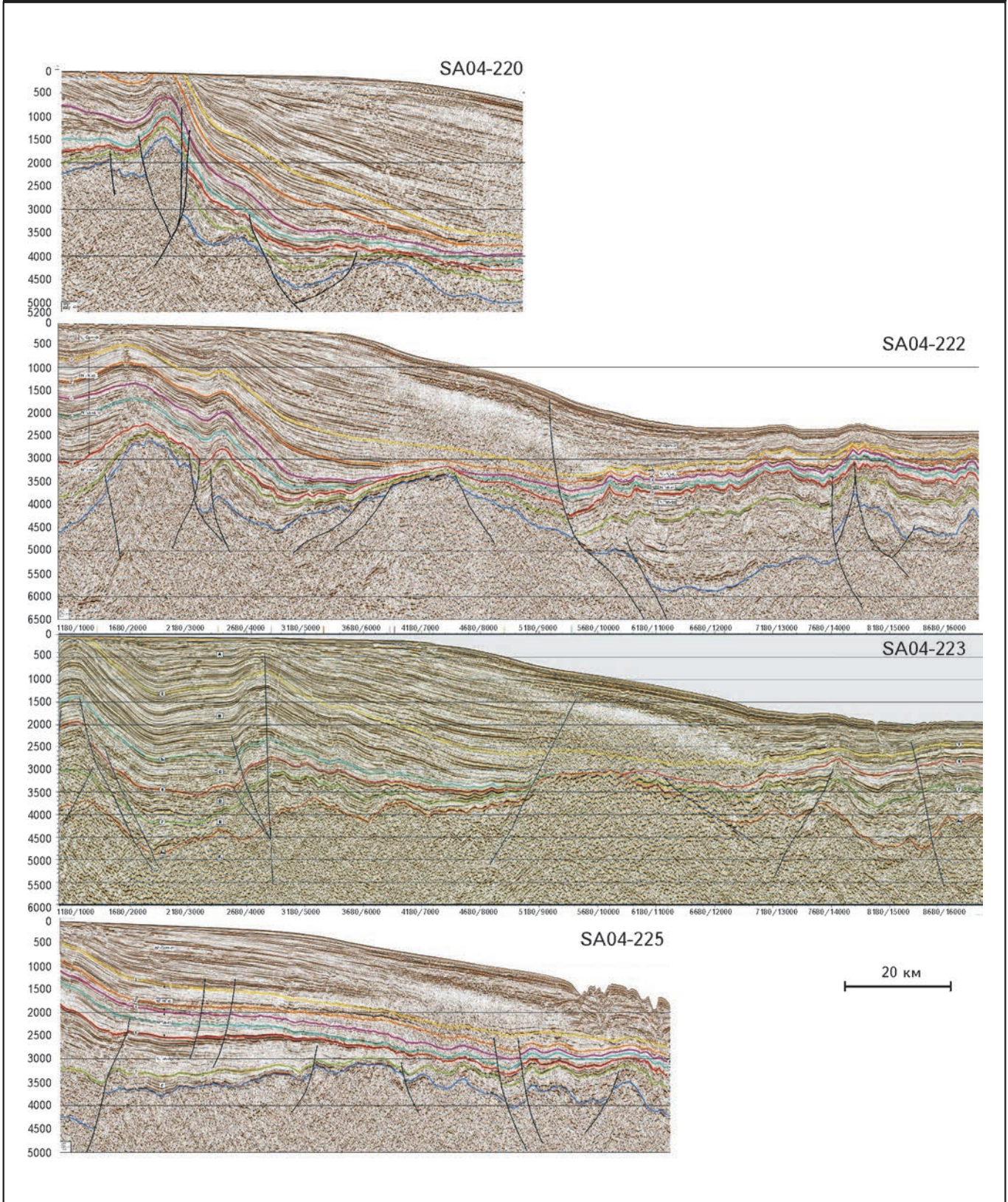


Рис. 17. КЕРН СТАНЦИИ LV31, РЕЙС 50 «АКАДЕМИК М.А.ЛАВРЕНТЬЕВ», РАЙОН ЮЖНЫЙ, ОХОТСКОЕ МОРЕ, ИЮНЬ, 2010 г. (данные А.И.Обжирова)



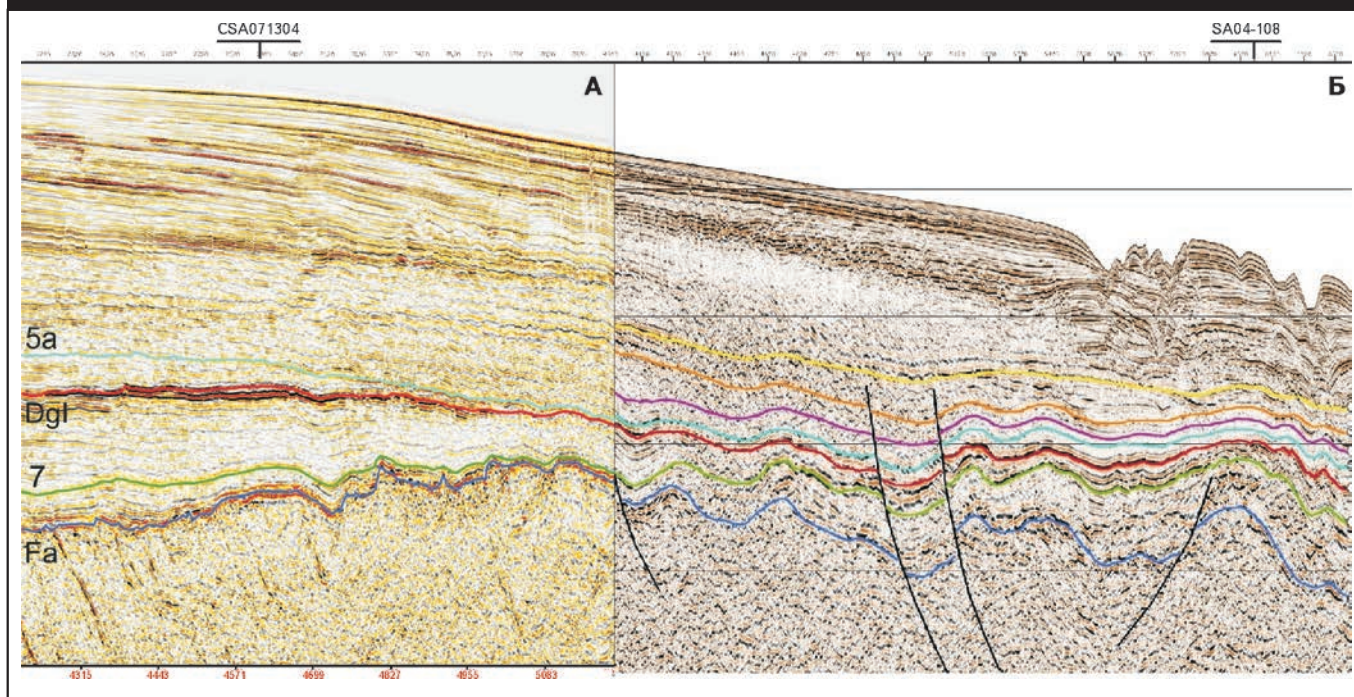
Газогидраты (белые слои) в илистых донных осадках, глубина 2-3 м от поверхности дна, глубина моря 700 м

зойского фундамента. Геологическим обоснованием формирования такой аномальной зоны вдоль северо-восточного склона шельфа является факт, что именно здесь, по кромке шельфа, по мнению ведущих геологов Сахалина [12], проходит Восточно-Сахалинский тектонический сдвиговый шов системы глубинных субмеридиональных разломов — сдвигов активной зоны сочле-

нения Амурской и Охотоморской тектонических плит. Разломы-сдвиги сопровождаются интенсивной флюидодинамикой — движением глубинных растворов и газов из недр к поверхности. Сочетание активного глубинного разлома с зоной растяжения, обусловленной формированием глубоководной впадины Дерюгина, способствовало проникновению морской воды в толщу ультраосновных пород, обеспечивая масштабные процессы их серпентинизации с выделением больших объемов метана [7]. Значительные массы серпентинитов прослеживаются вдоль восточного края о-ва Сахалин практически на всем его протяжении, выходя на поверхность в районе Южно-Шмидтовского гипербазитового массива. По мнению Ю.Н.Разницына [7], серпентиниты в виде мощных пластин и серпентинитового меланжа, заполняющего шовные зоны отдельных блоков, слагающих мезозойскую и более древние толщи фундамента, составляют не менее 50 % общего объема офиолитов Восточного Сахалина. Серпентиниты вскрыты глубокими скважинами на Окружном месторождении, находящемся непосредственно на восточном побережье Сахалина, 40 км южнее границы Киринского блока.

Несомненно, процессы генерации и накопления метана проходили и происходят сейчас не только на Восточно-Сахалинском разломе, но и по всем другим коровым разломам. Однако из основных глубинных разломов только Восточно-Сахалинский расположен

Рис. 18. СТЫКОВКА РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ SA04-225 (А) С СЕЧЕНИЕМ КУБА 3D (Б) КИРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО ЕГО ТРАВЕРСУ



Несмотря на различие динамики записи, в верхней части разреза видно, что зона высокой плотности каналов газа непосредственно примыкает к области формирования толщ газогидратов

на шельфе, остальные — на суше о-ва Сахалин, где эффекты миграции газа фиксируются наличием ряда грязевых вулканов [12], извержения которых происходят спорадически до настоящего времени.

Подводя итоги проведенному анализу новых сейсмических данных 3D на северо-восточном шельфе о-ва Сахалин совместно с опубликованными данными о мощной зоне образования газогидратов вдоль западного склона впадины Дерюгина, отметим следующее.

Огромные объемы метана, необходимые для формирования газогидратной толщи, мигрировали из толщи пород мезозойского возраста и более древних пород, образующих акустический фундамент осадочной толщи на шельфе о-ва Сахалин. На Кириновском блоке процесс миграции газов из толщи фундамента наблюдается в явном виде. Севернее о наличии аномальных потоков метана свидетельствует характер сейсмической записи в зоне, предшествующей области формирования газогидратной толщи.

Доказательство массивированной эманации УВ-газов из толщи фундамента резко повышает перспективы обнаружения там крупных промышленных скоплений сырья, причем не только в зоне аномальной плотности каналов миграции газа, но и в значительном удалении от нее, учитывая вероятный глубинный источник УВ и наличие развитой системы глубинных разломов на всей площади шельфа, формирующих внутреннюю гидродинамическую систему каналов латерального транспорта жидких и газообразных флюидов.

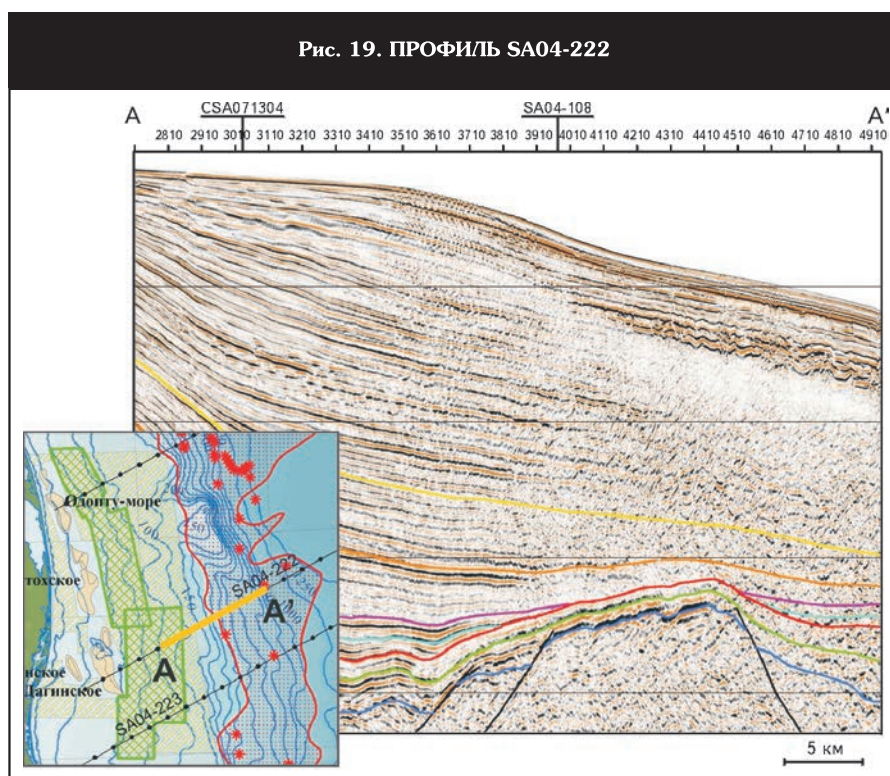
Задачи выявления структурных ловушек и наличия достаточно мощной глинистой покрывки успешно решаются современной сейсморазведкой. Вопросом остается доказательство наличия коллекторов в толще весьма гетерогенного фундамента. Присутствие многочисленных, в том числе молодых, незалеченных, всегда сопровождаемых трещиноватостью разломов в фундаменте также достоверно доказывают сейсмические данные. Известны примеры крупных месторождений УВ в кристаллических породах, где существенная доля емкости обусловлена трещинами. Достаточно вспомнить нефтяное месторождение Белый Тигр в гранитах на шельфе Вьетнама с доказанной вторичной пустотностью, составляющей в среднем 2,5 %, и трещиной пустотностью — 0,4 %. Тем не менее важной нерешенной задачей, обуславливающей основ-

ные риски при поисковых работах на фундамент, остается обоснование наличия коллекторских толщ. На решении этой задачи должны быть сконцентрированы усилия геологов и геофизиков, привлечены современные методики геологического прогноза, применены новейшие системы наблюдений и алгоритмы обработки сейсмических данных.

Развитая инфраструктура добычи, близкие рынки сбыта, промышленная освоенность ресурсов кайнозойского чехла северо-восточного шельфа Сахалина обеспечивают высокий интерес к скорейшему освоению потенциала мезозойской толщи фундамента.

Литература

1. **Обжиров А.И.** Эффект звукорассеивающей придонной воды в краевых частях Охотского моря / А.И.Обжиров, В.А.Казанский, Ю.И.Мильниченко // Тихоокеанская геология. — 1989. — № 2.
2. **Обжиров А.И.** Нефтегазоносность и газогидраты в Охотском море / А.И.Обжиров, Е.В.Коровицкая, Н.Л.Пестрякова, Ю.А.Телегин // Подводные исследования и робототехника. — 2012. — № 2.
3. **Матвеева Т.В.** Газовые гидраты Охотского моря: закономерности формирования и распространения / Т.В.Матвеева, В.А.Соловьев // Российский химический журнал. — 2003. — Т. XLVII. — № 3.



Четко видно, что возрастание плотности каналов миграции газа предшествует формированию газогидратных скоплений; усл. обозначения см. на рис. 15

VERTICAL GAS MIGRATION AND GAS HYDRATES IN THE NORTHEAST SHELF OF SAKHALIN

Rybalchenko V.V. (PAO "Gazprom"), *Gogonenkov G.N.* (FGBU "All-Russian Scientific Research Geological Oil Institute"), *Slepchenko V.A.* ("AO Central Geophysical Expedition")

The north-eastern shelf of Island Sakhalin is one of the most actively studied oil and gas promising regions. Over the past decades many large hydrocarbon fields have been discovered here. However, with each year the increase in reserves owing to discovery of new fields in the sedimentary cover will inevitably decline, so the urgency of exploration for non-traditional hydrocarbon accumulations is extremely acute today. The modern 3D seismic survey of the Kirinsk, Ayashsk and East Odop-tinsk blocks of the Sakhalin northeastern shelf together with high-quality regional 2D lines allow to study the patterns of distribution of gas migration channels over the area and their relationship to the position of gas hydrate occurrence zones. This article is devoted to discussion of these questions. Study of the nature of origin of the huge amounts of methane found in the sediments and bottom layers of the Sakhalin shelf is not only scientifically significant, but also practically important. It relates to exploration for potential fields in the Mesozoic basement very positively evaluated by many researchers.

Key words: Sakhalin shelf; 3D seismic; migration of gas from the basement; gas hydrates; Mesozoic basement.

4. **Макагон Ю.Ф.** Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы / Ю.Ф.Макагон // Российский химический журнал. — 2003. — Т. XLVII. — № 3.

5. **Макагон Ю.Ф.** Образование гидратов в газоносном пласте в условиях многолетней мерзлоты / Ю.Ф.Макагон // Газовая промышленность. — 1965. — № 5.

6. **Обжиров А.И.** Геологические условия формирования газогидратов и нефтегазовых залежей в Охотском море и их отражение в геофизических полях / А.И.Обжиров // Тез. докладов на конференции ЕАГО, 2011, Калининград. — 2011.

7. **Разницын Ю.Н.** Геодинамика офиолитов и формирование месторождений углеводородов на шельфе восточного Сахалина / Ю.Н.Разницын // Геотектоника. — 2012. — № 1.

8. **Дмитриевский А.Н.** Формирование залежи углеводородов в зонах растяжения океанической коры (на примере о.Сахалин) / А.Н.Дмитриевский, И.Е.Баланюк, А.В.Каракин // Газовая промышленность. — 2004. — № 5.

9. **Дмитриев Л.В.** Образование водорода и метана при седиментации мантийных гипербазитов и происхождение нефти / Л.В.Дмитриев // Российский журнал наук о Земле. — 2000. — Т. 1. — № 1.

10. **Черепанов В.В.** Мезозойский фундамент — перспективное направления поисков углеводородов на шельфе Сахалина / В.В.Черепанов, В.В.Рыбальченко, Г.Н.Гогоненков // Геология нефти и газа. — 2013. — № 6.

11. **Коблов Э.Г.** Освоение нетрадиционных объектов нефтепоисковых работ — один из главных резервов роста ресурсной базы шельфа Сахалина / Э.Г.Коблов, А.В.Харахинов, Н.А.Ткачева // Нефтяное хозяйство. — 2008. — № 8.

12. **Харахинов В.В.** Нефтегазовая геология Сахалинского региона / В.В.Харахинов. — М.: Изд-во Научный мир, 2010.

13. **Донченко С.И.** Гидроакустические признаки газогидратов и возможности их учета при моделировании среды / С.И.Донченко // Гидроакустический журнал (Украина). — 2009. — № 6.

14. **Bellefleur G.** Seismic characterization and continuity analysis of gas-hydrate horizons near Mallik research well, Mackenzie Delta, Canada / G.Bellefleur, M.Riedel, T.Brent // The Leading Edge. — May 2006.

15. **Johnson A.** The path to commercial hydrate gas production / A.Johnson, M.Max // The Leading Edge. — May 2006.

© **В.В.Рыбальченко, Г.Н.Гогоненков, В.А.Слепченко, 2017**

Вадим Викторович Рыбальченко,
начальник Управления,
кандидат геолого-минералогических наук,
gazprom@gazprom.ru;

Георгий Николаевич Гогоненков,
профессор,
доктор технических наук,
gogonenkov.g@yandex.ru;

Виктор Александрович Слепченко,
ведущий геофизик,
vaslepchenko@cge.ru.