

УДК 553.982.23.052

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТенок РИФОГЕННЫХ ПОСТРОЕК МЕТОДОМ МИГРАЦИИ ДУПЛЕКСНЫХ ВОЛН

© 2017 г. | А.Д. Саетгараев¹, И.Ю. Хромова², Н.Я. Мармалевский³¹ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», Усинск, Республика Коми, Россия; Almir.Saetgaraev@lukoil.com;²ИП «Хромова И.Ю.», Москва, Россия; ingakhr@inbox.ru;³TetraSeis Inc., Калгари, Канада; naum.marmalevskiy@tetrale.com

IDENTIFICATION OF VERTICAL WALLS OF REEF-RELATED FORMATIONS BY THE DUPLEX WAVE MIGRATION METHOD

© 2017 | A.D. Saetgaraev¹, I.Yu. Khromova², N.Ya. Marmalevsky³¹ООО "LUKOIL-Komi", Russia, the Komi Republic, Usinsk; Almir.Saetgaraev@lukoil.com;²IE "Khromova I.Yu.", Russia, Moscow; ingakhr@inbox.ru;³TetraSeis Inc., Canada, Calgary; naum.marmalevskiy@tetrale.com

Поступила 07.04.2017 г.

Принята к печати 19.08.2017 г.

Ключевые слова: *Тимано-Печорский нефтегазоносный бассейн; пинакл-риф; интерпретация сейсмических данных; миграция дуплексных волн.*

Использование новых алгоритмов обработки сейсмических данных позволяет увидеть на сейсмических разрезах пинакл-риффы, ранее недоступные для их визуализации в силу малых размеров в плане и большой высоты в разрезе. Ловушки в таких рифах, как правило, заполнены на 100 % углеводородами, обладают высокой плотностью запасов и являются предметом нефтепоискового интереса. Их обнаружение и геометризация возможны при привлечении результатов миграции дуплексных волн к интерпретации стандартных сейсмических данных. Такая работа была проведена на одном из участков Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна, что позволило не только оконтурить вскрытую скважиной рифогенную постройку типа пинакл-риф, но и закартировать протяженный барьерный риф, не выделявшийся ранее на стандартных сейсмических разрезах, но предполагавшийся по общегеологическим представлениям.

Received 07.04.2017

Accepted for publishing 19.08.2017

Key words: *Timan-Pechora oil and gas basin; pinnacle-reef; seismic data interpretation; duplex waves migration.*

Use of new algorithms of seismic data processing allows to distinguish pinnacle reefs on seismic sections earlier inaccessible for visualization because of their shape (small horizontal and great vertical dimensions). High density of the shooting geometry, wide azimuthality of modern seismic survey in the northeast of the Khoreyverskaya depression, and carefully selected processing graph using the latest noise reduction and migration algorithms, provided high-quality images of such exotic objects as pinnacle reefs. The lateral extension of the buildings indicates that the belt of the pinnacle reefs continues beyond the seismic survey area. However, there were seismic data for cross-border regions from past years with a narrow-azimuthal, less dense shooting geometry traditional for the region, and processed according to a standard, yearly formed graph. Traps in such reefs are usually characterized by 100 % fill and high density of reserves, therefore they are reputed as interesting oil prospects. Their identification and geometrization is possible by attracting results of the duplex wave migration to interpretation of standard seismic data. Such technique has been used in an area of the Timan-Pechora OGB, where it permitted not only to delineate an object of the "pinnacle" reef type, but also to map a stretched barrier reef not visible earlier on standard seismic sections, but supposed to exist based on general geological considerations.

Совершенствование систем наблюдения полевых сейсморазведочных работ в сочетании с использованием новейших алгоритмов обработки позволило современным исследователям обнаружить в волновом поле объекты, ранее недоступные для визуализации на временных разрезах.

Одним из таких удивительных примеров являются рифогенные объекты типа «пинакл» (pinnacle-reef) — изолированные столбчатые карбонатные постройки, образующиеся в лагунах, в непосредственной близости от окраины шельфа либо в зоне

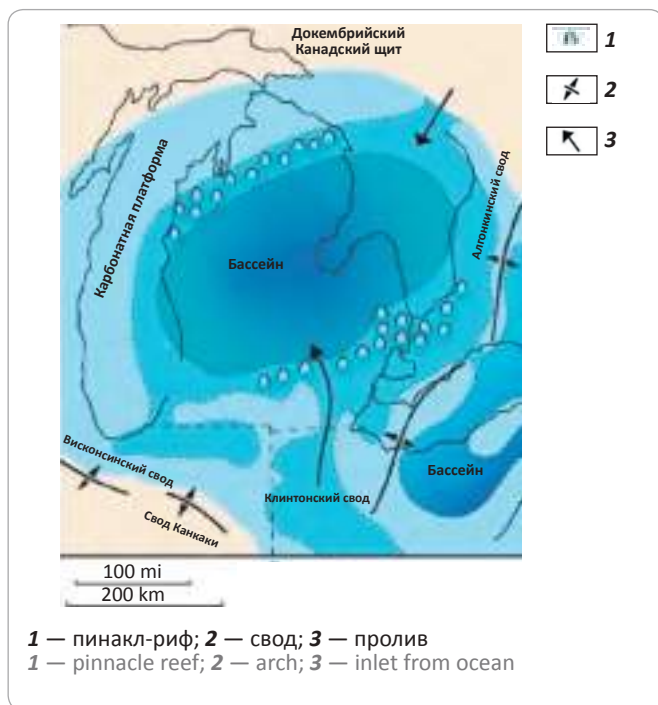
широких эпиконтинентальных морей [4, перевод с англ. с изменениями]. Иногда этот термин переводится как «рифовый пик» [5].

Характерной особенностью данного типа карбонатных построек является их небольшой диаметр (0,2–0,8 км) при значительной высоте (несколько сотен метров). Именно из-за небольшого размера объектов в плане они оказываются на грани или даже за гранью латерального разрешения сейсморазведки. При этом, благодаря их значительной высоте и изолированности, они становятся надежным резервуа-

GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 1. Палеофациальная схема Мичиганского бассейна в силурийское время [6]

Fig. 1. Paleofascial scheme of the Michigan basin in the Silurian [6]



ром для УВ практически со 100 %-м заполнением, а это ловушки высотой в сотни метров с высокой плотностью запасов. Как правило, они характеризуются хорошими фильтрационно-емкостными свойствами.

Пинакл-риффы часто образуют целые архипелаги, рассеянные на широкой площади, иногда их называют «кучки рассыпанной дроби» (рис. 1). Пинакл-риффы ниагарской серии силурийской системы на окраине Канадского щита [7] наиболее изучены бурением и активно разрабатываются. Пинакл-риффы также насыщены девонский (нижнефранский) интервал бассейна Кэнинг (Canning Basin) в Австралии [9]. Россыпь франских пинакл-риффов была обнаружена в ходе современных сейсморазведочных работ на северо-востоке Хорейверской впадины Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна (рис. 2).

Высокая плотность системы наблюдения, широкая азимутальность современной сейсмической съемки на северо-востоке Хорейверской впадины, а также тщательно подобранный граф обработки с использованием новейших алгоритмов шумоподавления и миграций обеспечили высококачественное изображение столь экзотических объектов, как пинакл-риффы. Площадное распространение построек свидетельствует о том, что пояс пинакл-риффов продолжается за пределы области сейсмической съемки.

Рис. 2. Россыпь пинакл-риффов на карте изохрон по ОГ III_f_{3,1} (А) и временные разрезы по кросслайнам 5215, 5290, 5350 (В) через отдельные пинакл-риффы

Fig. 2. Pinnacle-reefs placer accumulation on the isochronic map of the OG III_f_{3,1} (A) time cross-sections on crosslines 5215, 5290, 5350 (B) through individual pinnacle-reefs

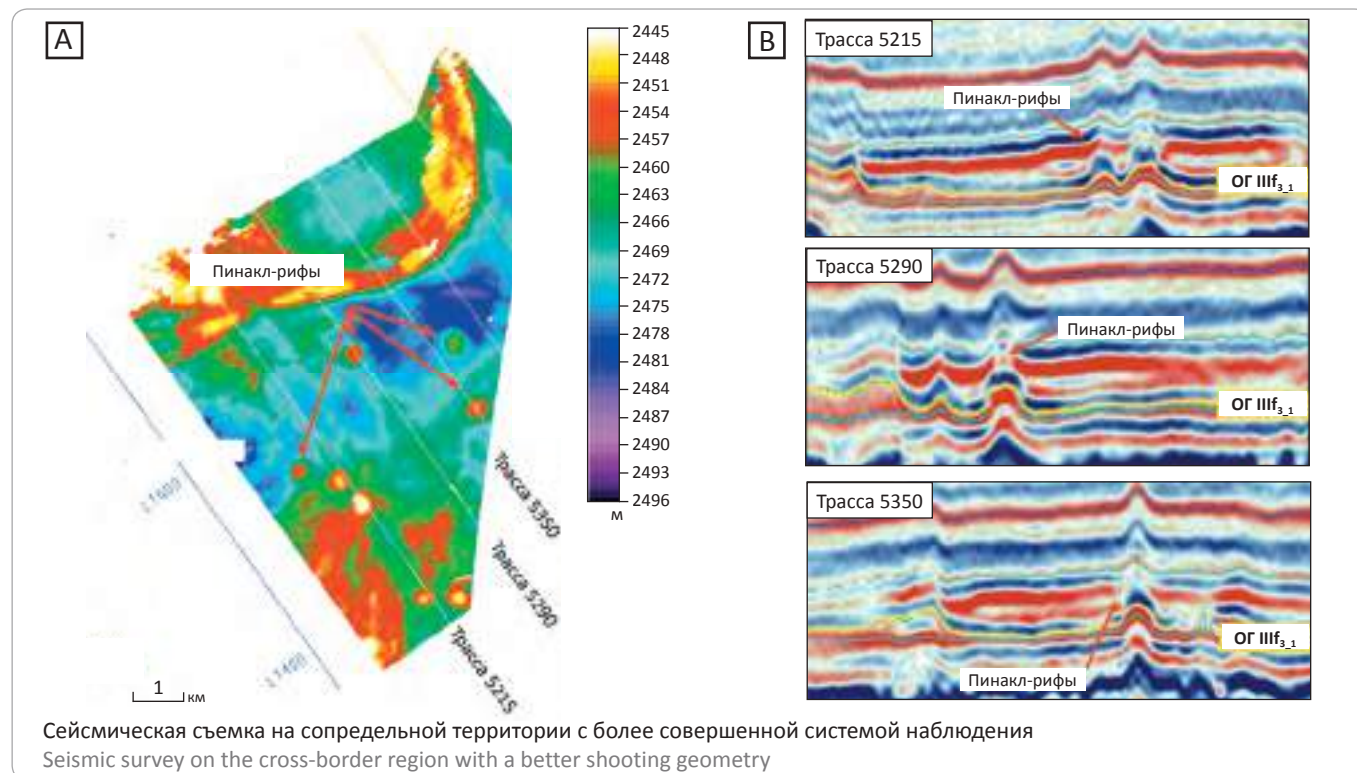


Таблица. Сравнение систем наблюдения сейсмических съемок на соседних участках — пригодной и непригодной для обнаружения пинакл-риффов**Table.** Comparison of seismic surveys surveillance systems in neighboring areas, suitable and unsuitable for detecting pinnacle reefs

Параметр	Сейсмическая съемка ВТ, 2010 г., север Хорейверской впадины	Сейсмическая съемка ТТ, 2013 г., северо-восток Хорейверской впадины
Кратность	48 (16 — продольная, 3 — поперечная)	128 (16 — продольная, 8 — поперечная)
Число активных приемных линий	8	16
Расстояние взрыв — прибор: минимальное, м	35	35
Расстояние взрыв — прибор: максимальное, м	3763	5735
Азимутальность, доли ед.	0,2	0,5

Однако сопредельные территории были освещены сейсмическими данными прошлых лет с традиционной для региона узкоазимутальной, менее плотной системой наблюдений, обработанными по стандартному, годами сформированному графу (таблица).

При меньшей плотности наблюдений, низкой азимутальности в сочетании с искажением волнового поля от **нижнепермских высокоскоростных рифов**, традиционно осложняющих временные разрезы для Тимано-Печорского региона, объекты типа пинакл-риф становятся «прозрачными» для исследователя. В волновом поле не просматривается ни одного уверенного критерия для выделения органогенных построек такого типа: за счет небольшого в плане размера хаотичная картина в теле рифа либо сглаживается при обработке, либо выглядит как артефакт от вышележащих неоднородностей (рис. 3). В результате стандартной комплексной интерпретации сейсмических данных на Лидинском лицензионном участке сделан вывод, что на его территории развитие рифов позднефранского возраста не предполагается в связи с более глубоководными условиями осадконакопления.

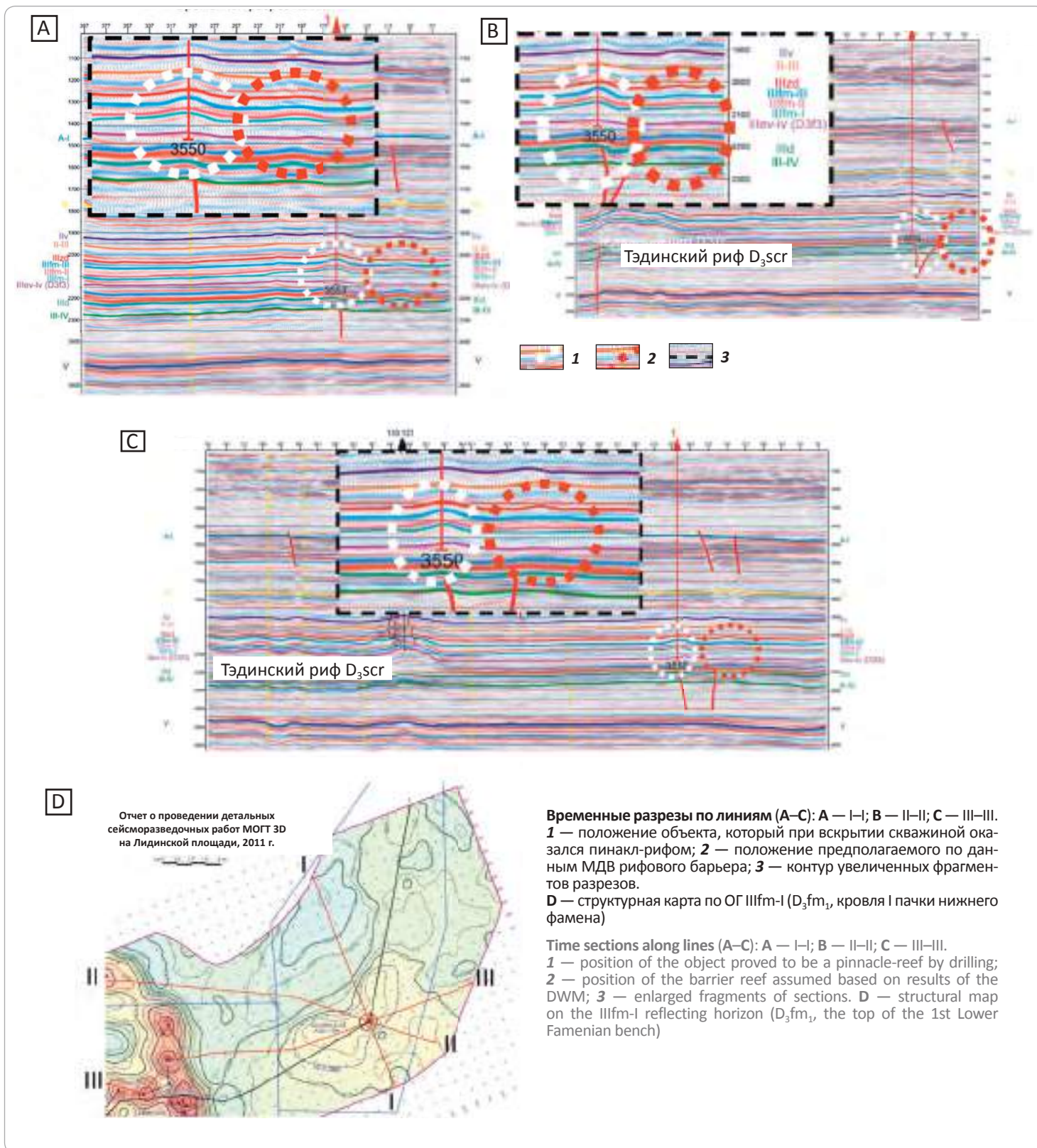
Тем не менее небольшая антиклинальная структура изометричной формы (как впоследствии оказалось — структура облекания пинакл-рифа) дала основание для бурения глубокой поисковой скважины. Традиционно для сопредельного Тэдинского месторождения, включающего ряд залежей в фаменских шельфовых пластах, строительство поисково-разведочной скважины по конструкции предполагалось остановить бурением в водоносных франских отложениях. Но на забое, при входе скважины в сирачойские отложения, был извлечен нефтенасыщенный керн и принято экстренное решение продолжить бурение с

отбором керна до вскрытия подошвы залежи. Нефтенасыщенные известняки сменились глинисто-мергелистыми породами через 250 м. Столь неожиданный результат вызвал множество вопросов, в их числе — что является ловушкой? Ведь на структурных картах по ближайшим отражающим горизонтам (кровле франа и подошве доманика) нет антиклинальных поднятий высотой 250 м. Опоискованная скв. 1-Vt структура по фаменскому горизонту имела амплитуду 30 м. Результаты замеров давления (ГДК-ОПК прибором MDT) в 19 точках показали ограниченное пространство залежи. Тогда возникла гипотеза, что скважина вскрыла один из таких пинакл-риффов, хорошо видных на прилегающей современной сейсмической съемке большей кратности. Для подтверждения выдвинутой гипотезы было решено провести работы по технологии миграции дуплексных волн, основным преимуществом которой является способность картировать субвертикальные границы в традиционном зарегистрированном поле продольных волн.

Дуплексные волны — это волны, отразившиеся дважды: последовательно от субгоризонтальной границы и затем от субвертикальной, или наоборот [1]. Считалось, что энергия дважды отраженных волн очень слаба и не может быть зарегистрирована на поверхности. Однако теоретические моделирования последних лет [2, 3] показали, что при наличии на субвертикальной границе сред минимального контраста дуплексные волны характеризуются достаточной энергией для выделения на фоне помех и отражений от субгоризонтальных границ, а их значительно более высокая горизонтальная медленность, по сравнению с однократно отраженными волнами, позволяет уверенно разделить их в волновом поле. Для миграции дуплексных волн для формирования изображений

GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 3. Изображение на стандартных временных разрезах поля однократно отраженных волн пинакл-рифа, вскрытого скв. 1, и предполагаемого по данным миграции дуплексных волн одновозрастного с ним барьерного рифа
Fig. 3. Image of single-reflected pinnacle-reef waves on the standard time sections, exposed by borehole 1, and image of barrier reef of the same age expected according to its duplex waves migration data

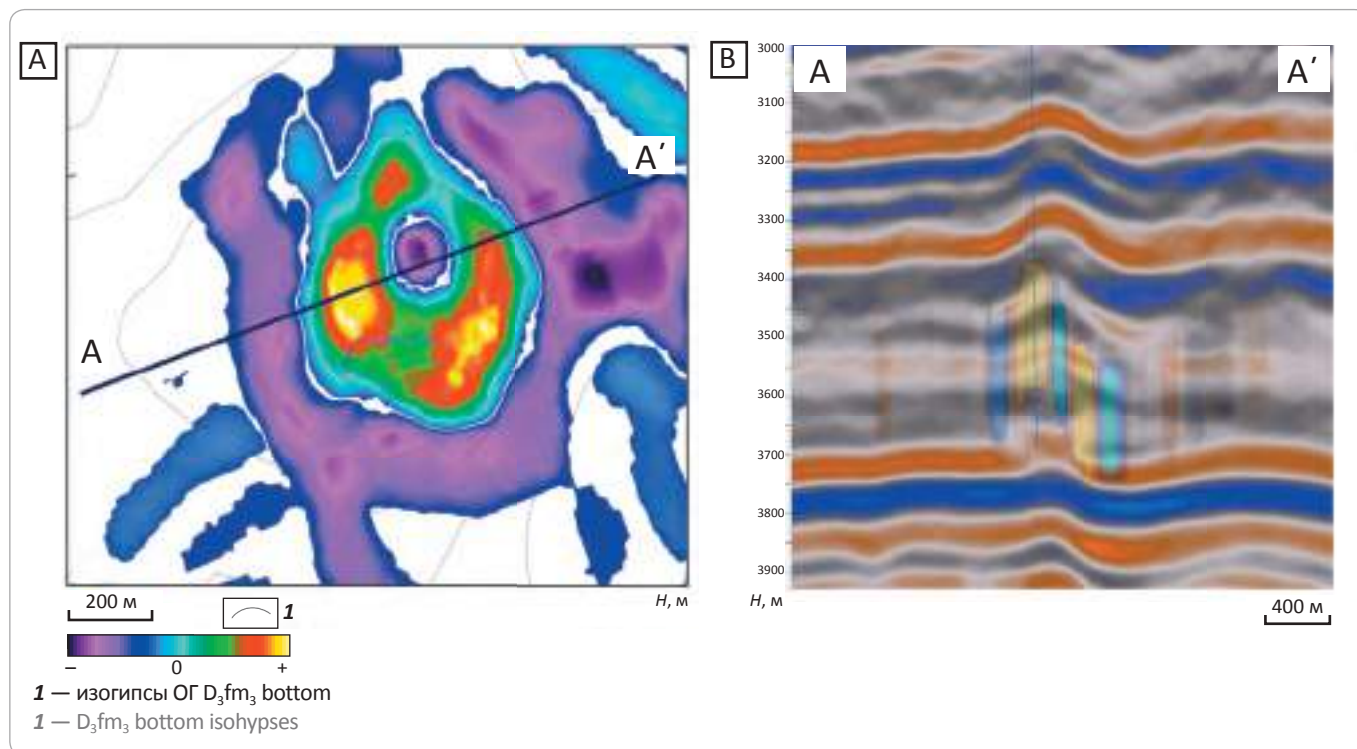


субвертикальных границ используется глубинная Кирхгоф-миграция с регуляризацией (МДВ — миграция дуплексных волн), в которой функция Грина рассчитывается в соответствии с кинематикой дуплексной волны. Регуляризация преобразования позволила минимизировать основную неопределенность любых глубинных миграций — неточность глубинно-скоростной модели. Решение регуляризируется за счет введения в миграцию, помимо обычной глубинно-скоростной модели, глубинной поверхности (опорной границы), в частности соответствующей подошве целевого горизонта, построенной по кубу глубинной миграции. Это необходимо, чтобы стандартные погрешности глубинных изотропных миграций в определении глубинного положения отражающих горизонтов могли достигать 300 м даже в условиях простого горизонтально-слоистого разреза. Привлечение к миграциям параметров VTI-анизотропии, учитывающей тонкую горизонтальную слоистость разреза, позволяет повысить точность глубинных построений до уровня погрешности в первые десятки метров. Таким образом, в любой ситуации мы имеем две погрешности — одна относится к глубинно-скоростной модели, другая — к положению базовой поверхности. Регуляризация решения состоит в том, что взаимная компенсация этих по-

грешностей позволяет значительно уменьшить погрешность формирования субвертикальных границ по латерали. Данный подход в сочетании с более высокой горизонтальной разрешающей способностью МДВ приводит к получению более точного изображения субвертикальных границ (по сравнению со стандартными видами миграции) [8].

В ходе работ МДВ на Лидинском лицензионном участке в интервале сирачойских отложений были обнаружены две высокоамплитудные кольцевые аномалии, вложенные одна в другую по принципу «матрешки», в районе поисково-разведочной скв. 1-Vt (рис. 4). Скважина расположена в пределах внутреннего кольца. Судя по интенсивной трещиноватости, определенной по данным FMI в стволе скважины в интервале сирачойских отложений, оно может быть связано с кольцевой субвертикальной зоной трещиноватости, развитой вдоль границ постройки. Субвертикальные границы органогенной постройки, по мнению авторов статьи, отражаются как внешняя кольцевая аномалия. Исходя из этого предположения, можно сделать следующий важный вывод: вмещающие постройку породы, не вскрытые ни одной скважиной в ближайших окрестностях, являются акустически более мягкими, чем породы в рифе. При анализе поля однократно отраженных

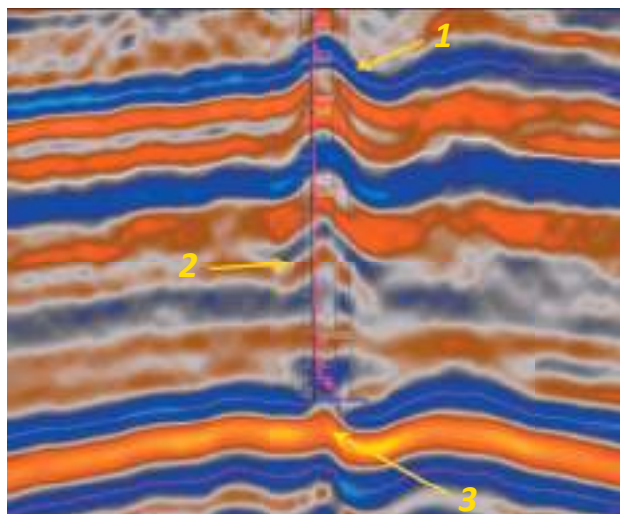
Рис. 4. Изображение пинакл-рифа, вскрытого скв. 1-Vt, на карте амплитуд дуплексных волн (А) и глубинном разрезе куба (инлайн 168) дуплексных волн, наложенном в режиме прозрачности на разрез однократно отраженных волн (В)
Fig. 4. Image of the pinnacle-reef, exposed by borehole 1-Vt, on the map of duplex waves amplitudes (A) and cube duplex waves depth section (inline 168) superimposed on the section of single-reflected waves (B) in the transparency mode



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 5. Глубинный сейсмический разрез в интервале сирачойских отложений по инлайну 163 через скв. 1-Vt

Fig. 5. Depth seismic section in the interval of the Sirachoyiski deposits along Inline 163 across Well 1-Vt



1 — структура облегания; **2** — слоистая запись — отсутствие хаотичных отражений; **3** — ложное поднятие вследствие высокоскоростной аномалии

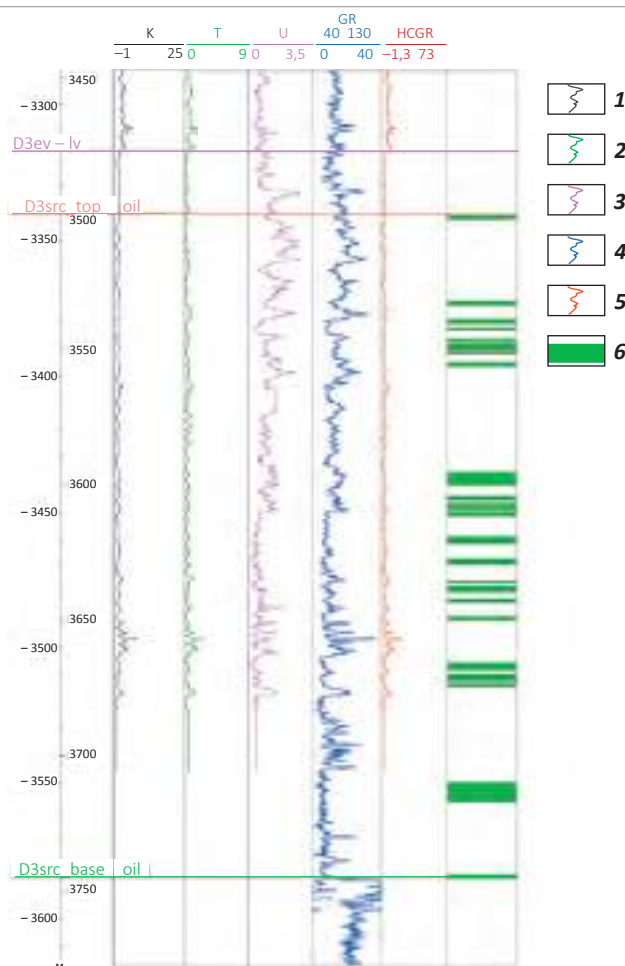
1 — draping structure; **2** — stratified record — lack of chaotic reflections; **3** — false uplift caused by a high-velocity anomaly

волн выявлен ряд признаков, его подтверждающих: скоростная аномалия под пинаклом, структура облекания, которая образуется при дифференциальном уплотнении пород, подстилающих изначально субгоризонтально накапливавшиеся мелководно-шельфовые отложения фаменского возраста (рис. 5), а также большие значения амплитуд дуплексных волн на границах сред с контрастными упругими свойствами, которые наблюдаются у той самой аномалии дуплексных волн, окольцовывающей пинакл-риф. Диаметр кольцевой аномалии вокруг пинакл-рифа (если измерять от середины аномалии дуплексных волн с одной стороны до середины аномалии дуплексных волн с другой) достигает 850 м, что свидетельствует о конусообразной форме рифа, поскольку диаметр изометричной структуры облекания в перекрывающих отложениях имеет размеры только 550 м.

Несмотря на то, что скважина вскрыла рифогенную постройку, никак не затронув вмещающие ее породы, некоторые данные позволяют предположить фациальные условия формирования этой постройке. Такими свидетельствами являются: **1** — повышенное содержание урана, зарегистрированное спектральным гамма-каротажем практически по всему разрезу постройке (рис. 6); **2** — наличие сульфатов в керне. Оба этих компонента (уран и сера) с высокой долей вероятности свидетельствуют о замкнутых условиях

Рис. 6. Кривые спектрального гамма-каротажа в интервале сирачойских отложений

Fig. 6. Curves of spectral gamma-ray log in the interval of Sirachoyiski sediments



1 — содержание калия, %; **2** — содержание тория, 10^{-4} %; **3** — содержание урана, 10^{-4} %; **4** — гамма-каротаж, мкР/ч; **5** — естественная радиоактивность пород; **6** — нефтенасыщенные коллекторы

1 — concentration of Potassium, %; **2** — concentration of Thorium, 10^{-4} %; **3** — concentration of Uranium, 10^{-4} %; **4** — gamma ray log, mcR/h; **5** — natural radioactivity of rocks; **6** — oil-saturated reservoirs

осадконакопления в обстановке изолированной застойной засоленной лагуны. Для того чтобы длительное время существовала изолированная засоленная лагуна, необходимо существование барьера, препятствующего проникновению и свободной циркуляции свежей воды. Таким ограничением мог быть барьерный риф, наличие которого, как было отмечено, на этой площади по сейсмическим данным не предполагалось.

Против ожиданий, на Лидинском участке не обнаружено «россыпи дроби» — двойная кольцевая аномалия была только одна. Однако на площади зарегистрировано множество линейных аномалий различных направлений, складывающихся в зигзагообразную полосу меридионального направления. Для

интерпретации этой группы аномалий было привлечено поле однократно отраженных волн. Внимательное рассмотрение этого поля в районе аномалий дуплексных волн позволило идентифицировать особенность волнового поля на этих участках — прерывание положительного отражения над интенсивным отрицательным отражением, по которому прослежен ОГ IIIsrc_bottom, соответственно определить окно для расчета информативного сейсмического атрибута, а затем и провести расчет сейсмического атрибута «Классификация по форме волны» в интервале 100 м над отражающим горизонтом ОГ IIIsrc_bottom (рис. 7). Благодаря описанной последовательности действий удалось обнаружить барьерный риф сирачойского возраста с характерными для такого типа построек признаками: помимо линейных структур облекания и линейных же ложных поднятий в подстилающих породах, волновые картины по обе стороны от рифа отличаются — с востока наблюдаются примыкающие и выклинивающиеся отражения, вероятно, связанные с толщиной заполнения некомпенсированной во время роста рифов впадины, а с запада отражения субпараллельны и субгоризонтальны, что более характерно для сейсмофаций внутренней мелководной лагуны.

В ходе МДВ проводится сканирование пространства разнонаправленными апертурами, т. е. в непоследовательные кубы суммируются те дуплексные волны, которые приходят только с одной стороны от целевого объекта. При таком подходе возможно выделение в волновом поле отражений от субвертикальных границ, наклоненных в ту или иную сторону под углом 0–15° от вертикали. При внимательном сопоставлении разрезов однократно отраженных волн с картами аномалий дуплексных волн, полученных с разнонаправленными апертурами, была составлена схема сейсмофаций (рис. 8) с изображением внутренней и внешней границы барьерной рифогенной постройки. Исходя из того, что внешняя и особенно внутренняя стенки барьерного рифа нашли свое отражение на картах дуплексных волн, очевидно, что эти стенки довольно круто наклонены, т. е. практически субвертикальны. Однако яркие линейные аномалии проявлены на частичных апертурах гораздо лучше, чем на полной (гексагональная апертура). Причем на кубе Left (падение на запад) лучше проявлен западный внутренний лагунный борт барьера, а на кубе Right (падение на восток) — внешний, обращенный на восток глубоководный борт барьера.

Направление падения субвертикальных границ (условно) на разные стороны света принимается авторами статьи в системе координат сейсмической съемки, которая расположена под углом 21° к широте, т. е. ближе к субширотному положению, чем к диагональному или субмеридиональному. И когда используется выражение «UP — падение на север»,

это значит, что падение субвертикальной границы происходит на северо-северо-запад, и наоборот, фраза «VK-падение на юг» означает падение на юго-юго-восток. Соответственно, фраза «Left — падение на запад» означает падение на юго-запад-запад, а фраза «Right — падение на восток» — на северо-восток-восток. Как показал опыт, дуплексные волны хорошо регистрируются на каждой апертуре при вращении границы относительно осей системы наблюдения на $\pm 45^\circ$ от нормали. Поэтому, например, внутренняя граница барьерного рифа к югу от пинакл-рифа, вскрытого скв. Восточно-Тэдинская-1, имеющая падение с азимутом 311° к географическому меридиану, т. е. под углом 70° к короткой оси съемки и 20° — к направлению длинной оси съемки, отчетливее, ярче видна на апертуре UP (см. рис. 8С), фрагментарно — на апертуре Left (см. рис. 8А) и вообще не проявлена на апертурах Right (см. рис. 8В) и VK (см. рис. 8D).

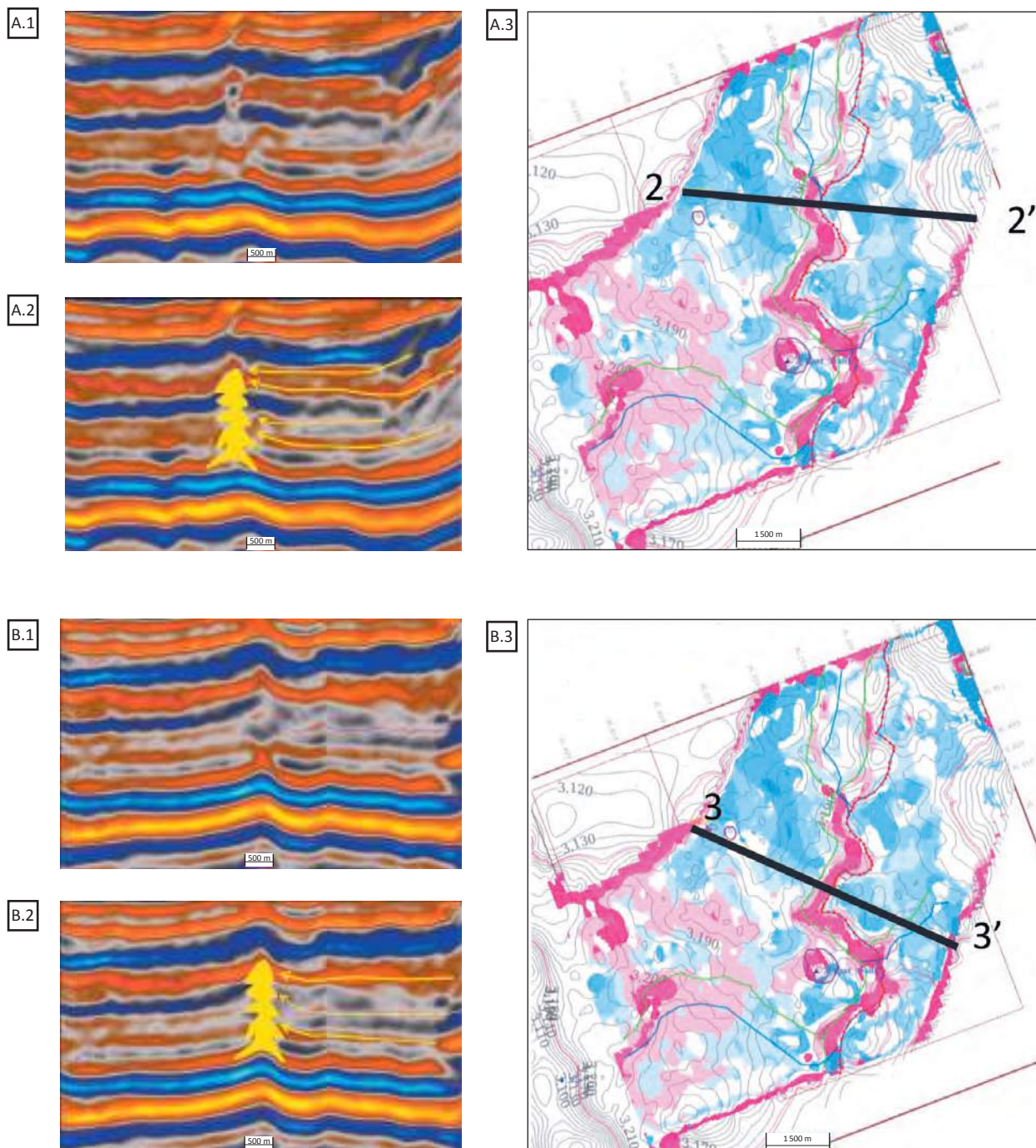
Таким образом, результаты МДВ полностью подтверждают выдвинутую гипотезу о существовании на изучаемой территории барьерной рифогенной постройки, окаймляющей замкнутую засоленную застойную лагуну.

Исходя из принятой гипотезы о наличии на изучаемой территории барьерной постройки, синхронной по возрасту пинакл-рифу, вскрытому скв. 1-Vt, авторы статьи могут предположить, что этот барьерный риф ограничивается по латерали более акустически мягкими породами (этот вывод исходит из высоких значений амплитуд аномалий дуплексных волн, связанных с литологическими границами). Точнее, с запада ограничением служат породы, накопившиеся в условиях засоленной лагуны, с востока — породы глинисто-карбонатного заполнения некомпенсированной впадины. Соответственно можно предположить, что барьер имеет высоту, аналогичную вскрытой постройке, т. е. примерно 250 м, ширину 600–700 м, и его длина в пределах изученной площади составляет около 12 км, площадь — около 6 км². Существование на данной территории барьерного рифа сирачойского возраста не противоречит представлениям о регрессионной направленности смещения постепенно омолаживающихся барьерных построек с северо-запада на юго-восток. Более того, оно предсказывалось многими исследователями, но его точное местоположение и конфигурация были неизвестны до проведения описанных работ.

Таким образом, использование технологии миграции дуплексных волн позволило выявить на изучаемой площади барьерный риф субмеридионального направления предположительно сирачойского возраста, по размерам (ширина 600–700 м, высота 250 м) находящийся на грани латеральной разрешенности сейсморазведки и практически не наблюдаемый в волновом поле.

GEOPHYSICAL SURVEYS

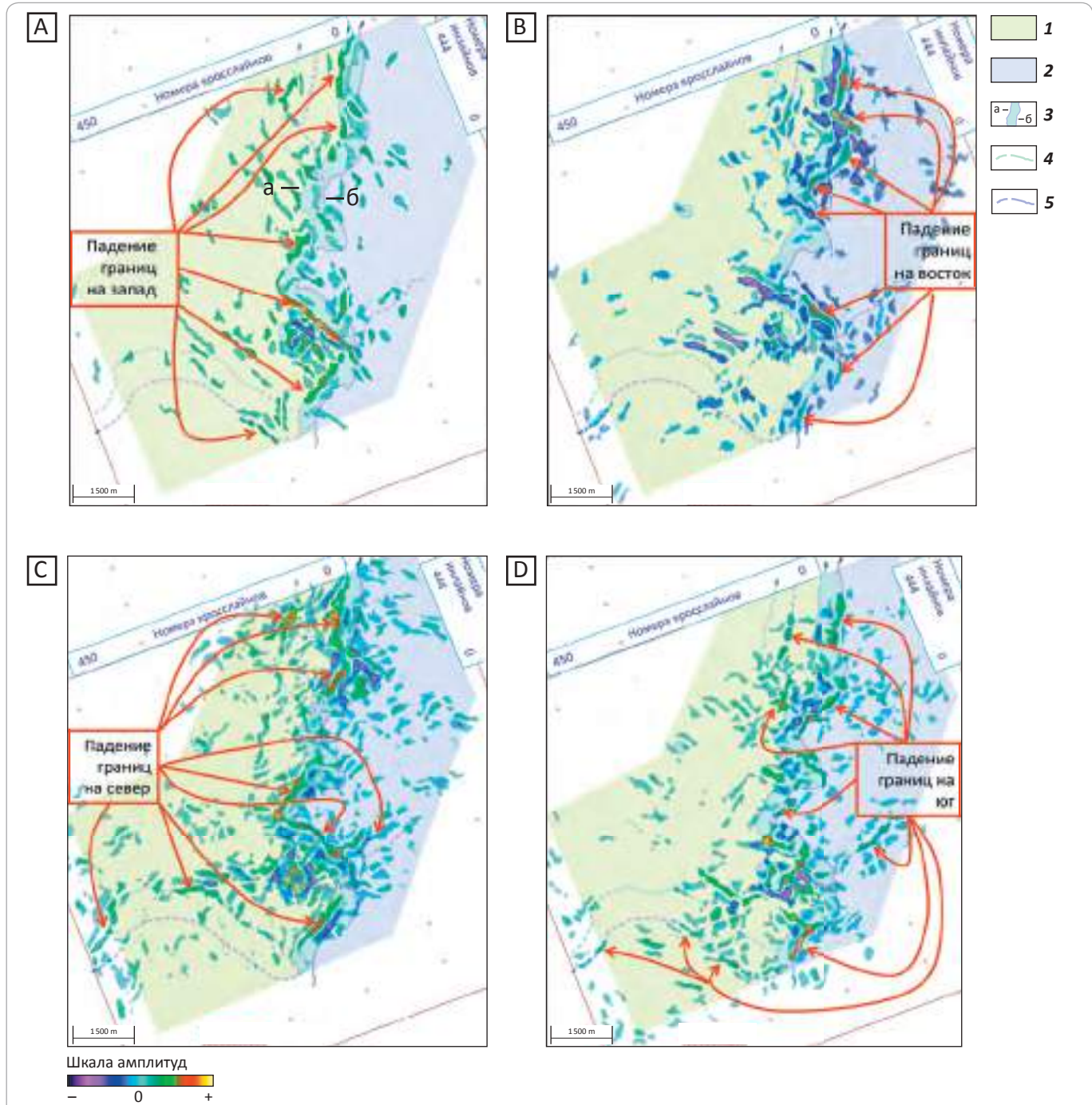
Рис. 7. Глубинные сейсмические разрезы по произвольным линиям 2–2' (А), 3–3' (В)
Fig. 7. Depth seismic sections along arbitrary lines 2–2' (A) and 3–3' (B)



A.1, B.1 — без элементов интерпретации; A.2, B.2 — с элементами интерпретации; A.3, B.3 — карты сейсмофаций по форме волны

A.1, B.1 — without interpretation elements; A.2, B.2 — with interpretation elements; A.3, B.3 — maps of seismic facies based on the waveform

Рис. 8. Сопоставление карты сейсмофаций с картами амплитуд дуплексных волн, полученных с апертурами Left, Right, UP, BK
Fig. 8. Comparison of the seismic facies map with maps of the duplex waves amplitudes obtained with apertures Left, Right, UP, BK



Апертуры: А — Left; В — Right; С — UP; D — BK.

Зоны (1–3): 1 — мелководного шельфа, застойной лагуны, 2 — относительно глубоководной некомпенсированной впадины, 3 — барьерного рифа и одиночной постройки на шельфе; **склоны барьерной постройки (а, б):** а — внутренний, б — внешний; **границы предполагаемых барьерных построек (4, 5):** 4 — внутренний склон, 5 — внешний склон

Apertures: A — Left; B — Right; C — UP; D — BK.

Zones of (1–3): 1 — shallow marine shelf, standing border lake, 2 — relatively deep-water starved basin, 3 — barrier reef and single shelf construction; **barrier construction slopes (a, b):** a — inner, b — outer; **supposititious barrier constructions borders (4, 5):** 4 — inner slope, 5 — outer slope

Литература / References

1. Горняк З.В., Костюкевич А.С., Линк Б., Мармалевский Н.Я., Мерщий В.В., Роганов Ю.В., Хромова И.Ю. Изучение вертикальных неоднородностей при помощи миграции дуплексных волн // Технологии сейсморазведки. – 2008. – № 1. – С. 3–14.
Gorniak Z.V., Kostyukevich A.S., Link B., Marmalevsky N.Ya., Mershchiy V.V., Roganov Yu.V., Khromova I.Yu. Study of vertical inhomogeneities by means of duplex waves migration. *Tekhnologii seismorazvedki.* 2008;(1):3–14.
2. Костюкевич А.С., Мармалевский Н.Я., Горняк З.В., Роганов Ю.В., Мерщий В.В. Конечно-разностное моделирование дуплексных волн, отраженных от субвертикальных границ // Геофизический журнал. – 2001. – Т. 23. – № 3. – С. 110–114.
Kostyukevich A.S., Marmalevsky N.Ya., Gorniak Z.V., Roganov Yu.V., Mershchiy V.V. Finite-difference modeling of duplex waves reflected from sub-vertical surfaces. *Geofizicheskiy zhurnal.* 2001;23(3):110–114.
3. Луценко Б.Н. Интерпретация сейсмических волн в сложных средах. – М. : Недра, 1987. – 120 с.
Lutsenko B.N. Interpretation of seismic waves in complex environment. – Moscow: Nedra; 1987. 120 p.
4. Сейсмическая стратиграфия : в 2 т. / Под ред. Ч. Пейтона / Пер. с англ. под ред. Н.Я. Кунина, Г.Н. Гогоненкова. – М. : Мир, 1982. – Ч. 1; 375 с. – Ч. 2; 847 с.
Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration. In: Charles E. Payton, ed. *AAPG Memoir Volume 26.* 1977.
5. Селли Р. Древние обстановки осадконакопления : пер. с англ. / Пер. А.А. Никонова, К.А. Никоновой. – М. : Недра, 1989. – 295 с.
Selly R. Ancient sedimentary environments. London: Chapman and Hall; 1985. 317 p.
6. Audrey L. Varga (Ritter), G. Michael Grammer. Evaluating the Controls on Reservoir Quality and Heterogeneity of Silurian Pinnacle Reefs, Michigan Basin. *AAPG Eastern Section Meeting* (Kalamazoo, Michigan, September 25–29, 2010). Available at: http://www.searchanddiscovery.com/documents/2011/50405varga/ndx_varga.pdf (accessed 02.03.2017).
7. Bristol H.M. Silurian pinnacle reefs and related oil production in southern Illinois. USA, Urbana: Illinois state geological survey; 1974. 98 p.
8. Marmalevskiy N., Gorniyak Z., Kostyukevich A., Mershchiy V., Roganov Y. Method, system and apparatus for interpreting seismic data using duplex waves. 2006. Patent US 7,110,323 B2.
9. Playford P.E. Palaeokarst, pseudokarst, and sequence stratigraphy in Devonian reef complexes of the Canning Basin, Western Australia. In: M. Keep, S.J. Moss, eds. *The sedimentary basins of Western Australia: Proceedings Pet. Exploration Soc. of Australia Symposium.* Perth, Western Australia: 2002. pp. 763–793.



EAGE
EUROPEAN
ASSOCIATION OF
GEOSCIENTISTS &
ENGINEERS

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДНИ МОСКВА 2017

13-17 НОЯБРЯ 2017 ГОДА

Зарегистрируйтесь на одно-, двух- и трехдневные курсы ведущих зарубежных специалистов. Тематика курсов затрагивает как теоретические, так и практические аспекты актуальных вопросов в области геонаук.

Программа курсов

13 ноября	Сейсмические атрибуты и их использование в сейсмической интерпретации <i>Бехзад Алаеи, Earth Science Analytics</i>
13-15 ноября	Моделирование пласта-коллектора на основе интегрирования данных <i>Михаэль Поппельрайтер, University Technology Petronas</i>
14-15 ноября	Использование геостатистики для интегрирования сейсмических данных в модели среды <i>Оливье Дюбрюль, Imperial College London</i>
16 ноября	Геологическая эволюция областей Тетиса и его обрамления с позднего Палеозоя <i>Эрик Барриер, NCSO</i>
16-17 ноября	Петрофизические свойства коллекторов, геомеханика и опасные природные процессы, связанные с наведенной сейсмичностью при применении гидроразрыва пласта <i>Сергей Шапиро, Freie Universitaet Berlin</i>
16-17 ноября	Глубоководные коллекторы: поисково-разведочные схемы <i>Доррик Стоу, Heriot-Watt University</i>

EDUCATION
DAYS

НА ПРАВАХ РЕКЛАМЫ

www.eage.ru/EDM
www.learninggeoscience.org

