

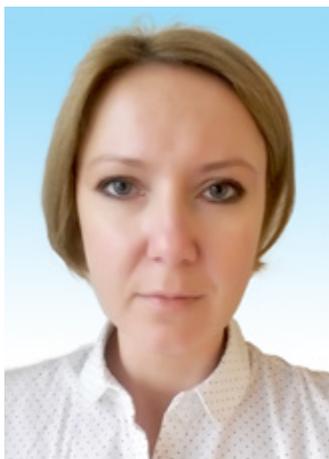
## СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ В СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРИ ДЕТАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОДСОЛЕВЫХ ПОДНЯТИЙ



**Б.А. ЕСКОЖА<sup>1\*</sup>**,  
советник по геологии и геофизике



**М.У. АЙМАГАМБЕТОВ<sup>1</sup>**,  
главный геолог



**М.П. БРИЧИКОВА<sup>2</sup>**,  
геофизик



**Д.С. ШАЙХИНА<sup>2</sup>**,  
геофизик

<sup>1</sup>ТОО «АЛМЭКС ПЛЮС»,  
Республика Казахстан, 060009, г. Атырау, ул. Сатпаева, 15 В

\*Автор для переписки. E-mail: b.yeskozha@gmail.com

<sup>2</sup>Schlumberger,

Российская Федерация, 125171, г. Москва, Ленинградское шоссе, 16 А, строение 3  
Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Достык, 2

*Юго-восточная часть внутренней прибортовой зоны Прикаспийской впадины относится к региону с высокими перспективами, доказанными открытием месторождений нефти и газа в надсолевых мезозойских и верхнепалеозойских отложениях. В течение последних десятилетий установлена продуктивность подсолевых отложений, от верхнедевонских до артинских, включительно, на месторождениях Кашаган, Тенгиз, Кайран, Ансаган и на структуре Тасым Юго-Восточный. В то же время, сложное строение преимущественно карбонатной толщи на глубинах 5–7 км представляет определенные трудности в изучении и определении углеводородного потенциала региона.*

*Благодаря современным техническим возможностям бурения глубоких скважин и новым технологиям в области обработки и интерпретации данных сейсморазведки, перспективы обнаружения крупных залежей нефти и газа в глубоководных отложениях девона и карбона все больше привлекает нефтегазовые компании.*

*В данной работе предпринята попытка проанализировать и обобщить результаты сейсморазведочных работ, выполненных с использованием современных инструментов интерпретации на подсолевых поднятиях Пионерская-Максат, Тажигали-Пустынная, Култук Северный, Прорва Глубокая, Огай и Ансаган, расположенных в районе гигантского нефтяного месторождения Тенгиз.*

*Примененный коллективом авторов комплексный подход к изучению недр позволил существенно детализировать глубинное строение палеозойских поднятий в регионе.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Прикаспийская впадина, палеозой, карбонатные толщи, целевой горизонт, неопределенность результатов, корреляция, интерпретация, цветное извлечение, срезы (слайсы), перспектива.

## ТҰЗАСТЫ КӨТЕРУ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ БӨЛШЕКТЕРІНДЕГІ СЕЙСМИКАЛЫҚ ИНТЕРПРЕТАЦИЯДАҒЫ ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ҚҰРАЛДАР

**Б.А. ЕСҚОЖА**<sup>1</sup>, АЛМЭКС ПЛЮС мекемесінің геология мен геофизика жөніндегі кеңесшісі  
**М.Ө. АЙМАҒАМБЕТОВ**<sup>1</sup>, АЛМЭКС ПЛЮС мекемесінің бас геологы  
**М.П. БРИЧИКОВА**<sup>2</sup>, жетекші геофизик Schlumberger  
**Д.С. ШАЙХИНА**<sup>2</sup>, геофизик Schlumberger

<sup>1</sup>«АЛМЭКС ПЛЮС» жауапкершілігі шектелген серіктестігі  
Қазақстан Республикасы, 060009, Атырау қ., Қ. Сәтбаев көш., 15 В

<sup>2</sup>Schlumberger

Российская Федерация, 125171, Москва, Ленинградское шоссе, 16 А, строение 3  
Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Достық көш., 2

*Каспий маңы ойпатының оңтүстік-батыс шікі жиегі палеозой және мезозой қабаттарында мұнай мен газ кенорындарының мол көздері ашылуына байланысты әлі де болашағы зор деп есептеледі. Бұғандәлел-соңғы жылдары Қашаған, Теңіз, Қайран, Аңсаған алаңдарының жоғарғы девон-арт түзілімдерінің өнімділігі, Оңтүстік-Шығыс Тасым құрылымындағы газ бен конденсат белгісі. Көмірсутектер қоры 5000–7000 м тереңдіктегі карбонатты таужыныстарда шоғырланғаны оларды іздестіріп, мүмкін мөлшерінанықтауға қиындықтар туғызады. Тереңбұрғылау, сейсмикалық зерттеу мен нұсқау жұмыстарын да соңғы жылдары қол-*

жеткен жаңа әдістемелер мұнай-газ мекемелерінің қызығушылығын танытып, девон-карбон қабаттарындағы мол байлықты ашуға септігін тигізуде.

Бұл мақалада орасан бай Теңіз мұнай кеніші маңында орналасқан Мақсат-Пионерская, Тәжіғали-Пустынная, Солтүстік Қолтық, Терең Прорва, Огай және Аңсаған тұз асты көтерілімдерінде істелген көлемді сейсмикалық жұмыстарда қолданылған жаңа кешенді әдістемелер мен зерттеулер нәтижесі толық баяндалады.

**НЕГІЗГІ СӨЗДЕР:** Каспий маңы ойпаты, палеозой эратемасы, карбонаттар қатқабаты, мақсатты горизонт, нәтижелердің айқын еместігі, өзара байланыстылық, нұсқалау, мүсіне қарай шығарып алу, кесінді (қиық), болашақты.

## MODERN TOOLS IN SEISMIC INTERPRETATION IN DETAIL THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE PRE-SALT UPLIFTS

**B.A. YESKOZHA**<sup>1</sup>, Geology and geophysics Advisor ALMEX PLUS

**M.U. AIMAGAMBETOV**<sup>1</sup>, Chief geologist ALMEX PLUS

**M.P. BRICHKOVA**<sup>2</sup>, Senior geophysicist Schlumberger

**D.S. SHAIKHINA**<sup>2</sup>, Geophysicist Schlumberger

<sup>1</sup> ALMEX PLUS LLP

15B, Satpaev str., Atyrau, Republic of Kazakhstan, 060009

<sup>2</sup> Schlumberger

16A, Leningradskoeshosse, building 3, Moscow, 125171  
2, Dostyk Street, Astana, Republic of Kazakhstan, 010000

*The southeastern internal margin of Pre-Caspian depression is a region with high hydrocarbon potential, proven by oil and gas fields found in post-salt Mesozoic and upper Paleozoic formations. During the last decades the productivity of Upper Devonian to Artinskian age formations in pre-salt section has been proven by several discoveries including Kashagan, Tengiz, Kairan, Ansagan fields and South-East Tasym structure. At the same time, the complex structure of predominantly carbonate sequences at depths of 5–7 km is challenging for assessment of the region's hydrocarbon potential.*

*With expansion of technical capabilities in high temperature and high pressure drilling and new technologies in the field of processing and interpretation of seismic data, the potential for discovering large oil and gas accumulations in the deep Devonian and Carboniferous formations is increasingly attracting oil and gas companies.*

*An attempt to analyze and summarize the results of the seismic interpretation of subsalt structures Pionerskaya-Maksat, Tazhigali-Pustynnaya, KultukSevernyi, ProrvaGlubokaya, Ogay and Ansagan field, located close to the giant Tengiz oil field, using modern seismic interpretation tools was made in this work.*

*The integrated approach to subsurface analysis applied in this work allowed a significant refinement of the structure and geomorphology of Paleozoic uplifts in the region.*

**KEY WORDS:** Pre-Caspian depression, Paleozoic, carbonate sequences, target horizon, uncertainty of the results, correlation, interpretation, chromatic extraction, sections (slices), perspective.

**В** тектоническом плане изучаемая территория занимает юго-восточный склон Прикаспийской впадины и относится к Приморско-Эмбинской (Кашаган-Тенгизской) нефтегазоносной области Прикаспийской нефтегазоносной провинции (рисунок 1).

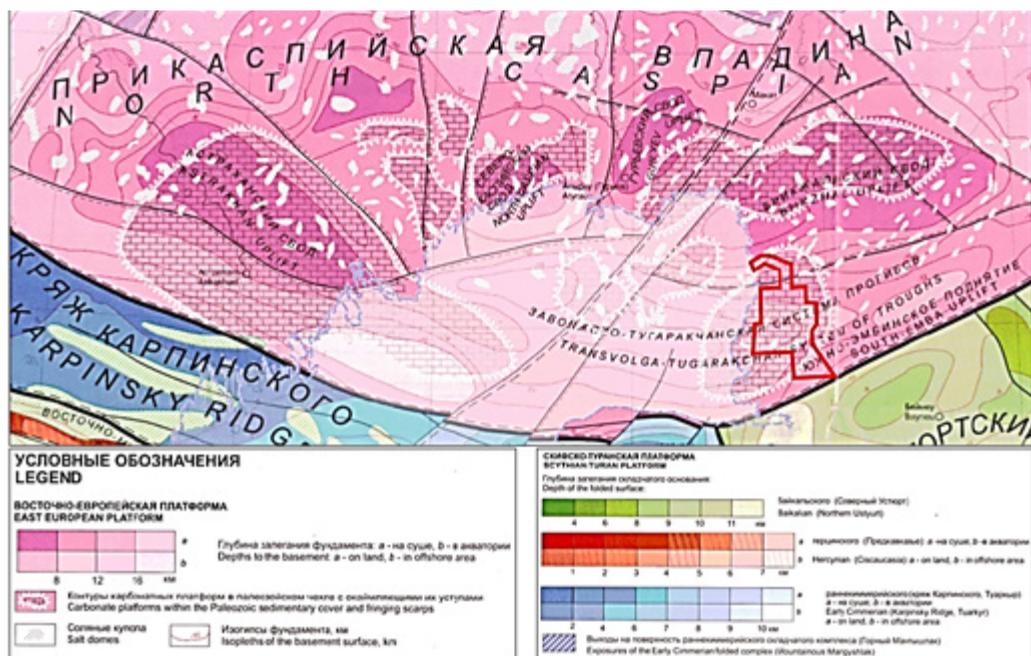


Рисунок 1 – Фрагмент международной тектонической карты Каспийского моря и его обрамления [1]

Выявленные залежи углеводородов в южной и юго-восточной части нефтегазоносной провинции (НГП) сосредоточены в докунгурском мегакомплексе. Здесь находятся крупнейшие месторождения: Тенгиз, Королевское, Кашаган, Астраханское и др., которые приурочены к структурам седиментационного генезиса – внутрибассейновым карбонатным платформам. Месторождение Ансаган является частью кольцеобразной карбонатной платформы, в которую входят структуры: Кайран, Тажигали-Пустынная, Каратон, Пионерская-Максат (рисунок 2).

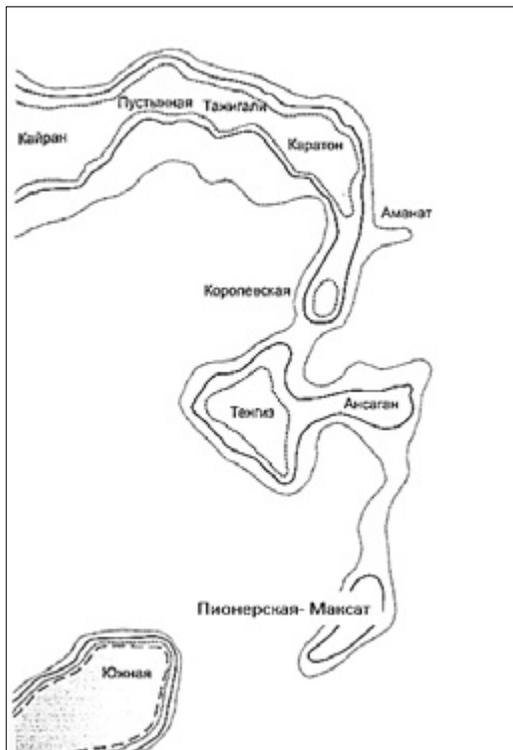
Месторождение Ансаган открыто в 2006 году поисковой скважиной Ансаган-1, пробуренной до проектной глубины 6200 м. Скважина вскрыла карбонатные отложения фаменского яруса верхнего девона мощностью 726 м, из которого получен приток газоконденсата. В 2016 году на месторождении пробурена поисковая скважина Ансаган-2 глубиной 6200 м, вскрывшая фаменские отложения мощностью 784 м и породы франа – 229 м. Из отложений фаменского яруса получен промышленный приток газоконденсата. Поисковые скважины Ансаган-3 и Ансаган-4, вскрывшие фаменские отложения верхнего девона, пробурены в 2017 и 2018 гг., соответственно. Таким образом, на данный момент на месторождении пробурено четыре скважины, введенные во временную консервацию. Скважина Ансаган-4 завершена бурением и вводится в испытание и опробование выявленных объектов [3]. В пробуренных скважинах опробованы пять объектов и в трех из них получены фонтанные притоки газоконденсата [4].

Стратиграфический разрез района представлен палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Вскрытый подсолевой палеозойский комплекс

включает породы девонской, каменноугольной и пермской системы. Для этого комплекса характерна резкая литологическая изменчивость пород в зависимости от обстановок осадконакопления. В условиях неглубокого моря преобладает карбонатный тип разреза. В некомпенсированных условиях глубокого бассейна преобладают, как правило, терригенные породы. В пределах склонов карбонатных построек отмечается смешанный карбонатно-терригенный тип разреза.

В региональном плане на юго-восточном борту Прикаспийской впадины выделяются три крупных структурных элемента: Северо-Каспийский вал, Заволжско-Тугаракчанский прогиб и Карпинско-Бузачинская зона дислокаций [5]. Северо-Каспийский вал включает в себя площади: Тажигали, Пустынная, Пионерская-Максат, Огай и месторождение Ансаган, а площади Култук Северный, Прорва Глубокая являются продолжением Маткен-Коздысайской моноклинали, возникшей вследствие образования системы Южно-Эмбинских поднятий. В позднефранское и фаменское время Северо-Каспийский вал занимал большую площадь, чем в каменноугольное время, что объясняется ускоренной седиментацией карбонатов и обособлением отдельных карбонатных платформ с конца девона [5]. По мнению авторов [6, 7], Прикаспийская впадина образовалась вследствие девонского цикла рифтогенеза на Восточно-Европейской платформе. На протяжении девонского и начала каменноугольного периода продолжалось погружение бассейна, которое привело к трансгрессии и обусловило благоприятные условия для карбонатного осадконакопления на более приподнятых участках палеорельефа. В девоне карбонатные постройки Северо-Каспийского вала развивались как единый массив, а в течение раннекаменноугольной эпохи стали обособляться. В предкунгурское время Устюртский блок столкнулся с Восточно-Европейской платформой, что завершило образование замкнутого бассейна на территории Прикаспия, а также послужило причиной остановки роста карбонатов.

В отличие от карбонатных платформ Северо-Каспийского вала, заложение которых было связано с периодом раскрытия Уральского палеоокеана, основанием зарождения Южно-Эмбинских карбонатных платформ стало закрытие Уральского палеоокеана [8, 9]. Основанием поднятий на площадях Култук Северный–Прорва



**Рисунок 2 – Схема распределения разновозрастных карбонатных платформ юго-востока Прикаспийской впадины, по [2] с изменениями**

Глубокая, Южная, а также в зоне Южно-Эмбинских поднятий послужили не унаследовано развивавшиеся тектонические поднятия, а инверсионные структуры, возникшие, предположительно, на фронте надвига в позднекаменноугольно–пермское время. Для данного этапа характерно наличие сжимающих тектонических движений, вследствие столкновения Туранской плиты и Восточно-Европейской платформы. Столкновение привело к образованию Уральского складчатого пояса, кряжа Карпинского, системы надвигов Южно-Эмбинского поднятия, а также возможных надвигов, образовавших структуры Култук Северный и Прорва Глубокая [5].

С учетом доступных региональных данных был проведен анализ фактического материала.

В данной работе использовались две 3D широкоазимутальные сейсмические съемки площадей Култук Северный, Прорва Глубокая, Тажигали-Пустынная, и две съемки с ортогональной расстановкой системы наблюдения площадей Ансаган и Пионерская-Максат. Качество сейсмических данных в подсолевом разрезе ухудшается в зоне влияния соленосно-ангидритовой толщи. В надсолевом разрезе прослеживается слабая сейсмическая освещенность в областях тектонических нарушений. Подобные проблемы с сейсмическими данными усложняют процесс интерпретации. Помимо удовлетворительного качества сейсмического материала, существенными сложностями при интерпретации данных сейсморазведки является малая изученность подсолевого разреза бурением.

Для улучшения прослеживаемости отражающих горизонтов и выявления динамических особенностей нами были использованы современные сейсмические инструменты, позволяющие улучшить контрастность сейсмических данных и выделить геологические особенности разреза.

## МЕТОДОЛОГИЯ

Складывающаяся практика интерпретации данных сейсморазведки отчетливо выступает как процесс обоснования модели геологического строения исследуемого района. Задачей сейсмической интерпретации являлась не оценка одного признака нефтегазоносности – наличие структуры или непосредственно залежи, а анализ всей, в отношении поставленной геологической задачи, информации о среде, иначе говоря, конструирование набора интерпретационных моделей среды, отражающих особенности геологического строения и геологической истории, которые совокупно определяли нефтегазоперспективность исследуемых площадей.

Сейсмическая съемка, данные 3D сейсморазведки которой были использованы в работе, выполнялась в 2003 г. по площади Ансаган; в 2014–2015 гг. – по площадям: Пионерская-Максат, Тажигали-Пустынная и в 2016–2017 гг. – по площадям Култук Северный–Прорва Глубокая. Обработка проводилась в 2003–2004, 2016 и 2017 гг., соответственно. Площадь покрытия составила 1087 км<sup>2</sup>. В 2017 г. на площади Ансаган проведена широкоазимутальная 3D сейсморазведка площадью 454 км<sup>2</sup>.

Для сейсмической интерпретации использовались суммарные данные.

Интерпретация сейсмических и геологических данных проводилась в специализированных программных продуктах.

Ввиду сложного геологического строения территории и местами неоднозначной волновой картины, горизонты прослеживались в основном в режиме ручной корреляции с использованием сейсмических атрибутов для уточнения положения границ. Там, где качество итогового материала позволяло, отражающие горизонты прослеживались в автоматическом режиме.

Для неоднозначных зон при корреляции отражающих горизонтов, таких как склоны карбонатной платформы, привлекался куб псевдоакустического импеданса, который на качественном уровне сузил неопределенности в интерпретации.

Для уверенного обнаружения трудно выделяемых геологических неоднородностей применялась методика «цветового извлечения геологических тел» (chromatic geology extraction), благодаря которой увеличилась структурная контрастность сейсмических данных при визуализации в истинно RGB режиме, красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue) для отображения трех слоев сейсмических амплитуд.

Каждый такой слой находится на расстоянии, как минимум, одного шага дискретизации (2 мс) от другого. Техника преобразовывает сейсмический куб в единую цветовую область, при этом данные обрабатываются подобно спутниковым данным. Техника использует поточечную обработку данных без использования сейсмического импульса, повышая вертикальную разрешенность, что позволяет проследить трудно выделяемые маломощные геологические тела [10].

Для получения данных изображений использовалась корреляция отражающего горизонта  $P_3$ , на которую выравнивался сейсмический куб во временной области, и рассчитывались кубы в RGB режиме. Далее по спрямленному сейсмическому кубу были проанализированы горизонтальные сечения.

Помимо методики цветового извлечения, применялись сейсмические атрибуты – RMSamplitude, variance, псевдоакустический импеданс и др.

Сейсмические атрибуты рассчитывались в объеме и вдоль плоскости горизонтов в различных окнах.

Сейсмические атрибуты позволили оценить характер изменения акустических свойств и использовались для интерпретации и определения геоморфологии карбонатных построек.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В волновом поле сейсмических данных 3D по характерным признакам сейсмической записи, основываясь на данных бурения и истории развития Прикаспийского бассейна, выделены три комплекса: подсолевой (девонско–каменноугольный–нижнепермский (докунгурский), соленосно-ангидритовый (нижнепермский (кунгурский) и надсолевой (верхнепермско–кайнозойский). Выполненные работы нацелены на подсолевой продуктивный интервал разреза.

В результате использования сейсмических данных, куба псевдоакустического импеданса, а также результатов «цветового извлечения геологических тел» более детально откартированы целевые горизонты – отражающие горизонты  $P_{2d}$  и  $P_2$ .

Номенклатура отражающих горизонтов, использованная в данной работе, совпадает с региональными представлениями:

**Отражающий горизонт (ОГ) П<sub>3</sub>.** Самый нижний отражающий горизонт, прослеженный, предположительно, в кровле среднедевонских терригенных отложений. Данный горизонт не вскрыт скважинами в Каратон-Тенгизской зоне. По опубликованным данным, отождествляется с региональным размывом, связанным со складчатостью и последующей перестройкой структурного плана [7]. Горизонт прослежен по границе перехода плотных высокоскоростных карбонатных пород верхнего девона к предположительно терригенным отложениям среднего девона. В южной и восточной части участка ОГ П<sub>3</sub> залегает глубже по сравнению с северной частью. Сокращенная мощность карбонатных массивов на северной части лицензионного участка подтверждает, что по палеорельефу ОГ П<sub>3</sub> южная часть была более погруженной (рисунок 3).

**Отражающий горизонт R.** Прослежен на площадях Ансаган и Пионерская-Максат. Отражение, по скважинным данным, представлено плотными карбонатами в кровельной части. Отождествляется с кровлей фаменского резервуара месторождения Ансаган. На площади Пионерская-Максатон погружается глубже, что может быть связано с более ранним затоплением площади Пионерская-Максат в девоне.

**Отражающий горизонт П<sub>2д</sub>.** Кровля девонских отложений. Фаменские отложения вскрыты на месторождениях Королевское и Тенгиз; на изучаемой площади – скважинами Ансаган-1, Ансаган-2, Ансаган-3 и Ансаган-4.

По скважинным данным, на площадях Каратон, Ансаган и Королевская интервал представлен известняками бежевыми, светло-серыми, местами темно-серыми. Встречается доломит известковистый трещинный и кавернозный. Основная масса

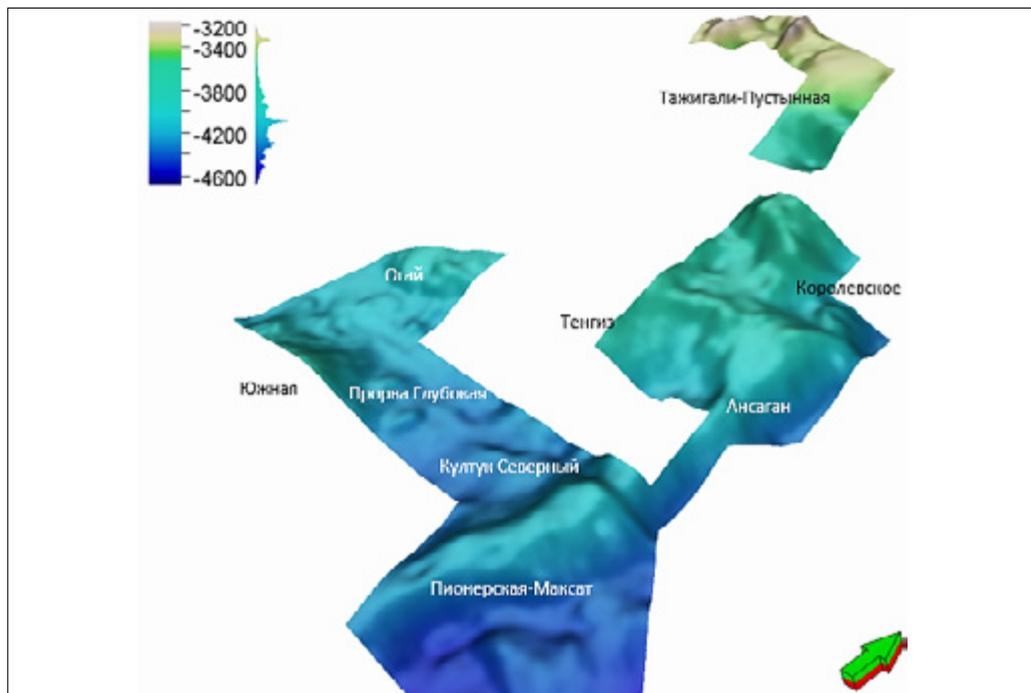


Рисунок 3 – Карта изохрон ОГ П<sub>3</sub>

известняков слагается однокамерными фораминиферами (сферами) и сгустками микрозернистого кальцита, которые участками интенсивно доломитизированы, вплоть до доломитов. На площади Тенгиз вскрыт иной генетический тип карбонатных отложений, накопленный в активной гидродинамической зоне.

На площадях Ансаган и Пионерская-Максат отражающий горизонт в пределах купола структуры совпадает с кровлей карбонатной платформы.

На площади Тажигали-Пустынная не прослеживается характерных отличий отложений девона от залегающих выше отложений карбона ввиду удовлетворительного качества сейсмического материала и возможной схожести условий осадконакопления. ОГ на разрезах аппроксимированы по мощности.

**Отражающий горизонт  $\Pi_2$ .** Отождествляется с подошвой пермских отложений. Данный горизонт вскрыт скважинами: Ансаган-1, Ансаган-2, Пустынная-10, Пустынная-5, Пустынная-23, Кошкимбет-16 и Култук Северный-10. По скважинным данным, представлен карбонатами с прослоями аргиллитов. На площадях Тажигали и Пустынная является кровлей карбонатной постройки. На площадях Култук Северный, Прорва Глубокая – кровлей нефтегазоперспективной структуры. При исследовании керновых материалов на месторождении Ансаган палеонтологически обосновано стратиграфическое несогласие между отложениями девона и перми. В скважине Ансаган-2 полностью отсутствуют породы каменноугольной системы и часть отложений нижней перми, что свидетельствует о возможной регрессии девонского моря в конце фаменского времени и последующей трансгрессии в раннепермское время (рисунок 4).

**Отражающий горизонт  $\Pi_1$ .** Отождествляется с подошвой сульфатно-галогенного кунгурского интервала (по региональным данным представляет эрозионную поверхность подсолевых отложений). Вскрыт всеми пробуренными скважинами.

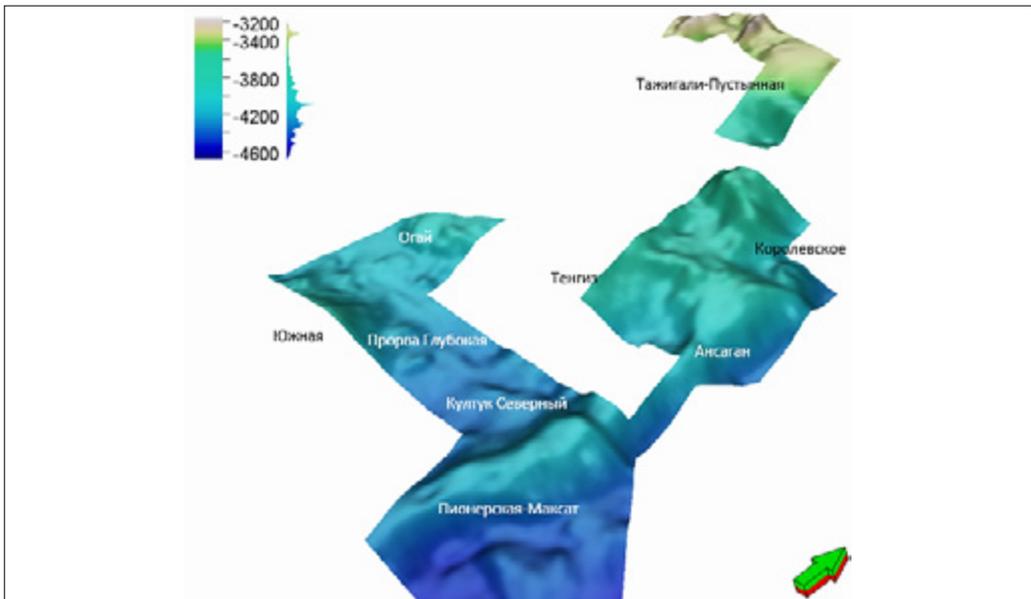


Рисунок 4 – Карта изохрон ОГ  $\Pi_2$

По скважинным данным, он представлен аргиллитом с переслаиванием мергелистого известняка. Горизонт формируется на границе раздела двух сред с разными акустическими характеристиками: соленосной толщи и залегающей ниже преимущественно терригенной артинской пачки (рисунки 5).

Для картирования целевых горизонтов – ОГ П<sub>2д</sub>, ОГ П<sub>2</sub> и ОГ П<sub>1</sub> были использованы дополнительные методы изучения волновой картины, которые позволили выделить геологические особенности карбонатных построек и нефтегазоперспективных структур.

На площадях Ансаган, Пионерская-Максат и Тажигали-Пустынная методика «цветового извлечения геологических тел» позволила увеличить контрастность границ и с большей долей достоверности проследить склоны карбонатной постройки. Используя горизонтальные сечения, были выделены границы между карбонатным телом и лагуной/бассейновой частями (рисунки 6, 7).

В результате применения данной методики выделена небольшая седловина между месторождениями Тенгиз и Ансаган. Предполагается, что различные литофации откладывались между двумя карбонатными постройками. Данная седловина может являться надежной латеральной покрывкой, если она сложена мергелистыми сланцами нижней части склона или плотными нетрещиноватыми карбонатами. Наличие газоконденсатной залежи на месторождении Ансаган и нефтяной залежи на месторождении Тенгиз в отложениях девона служит подтверждением такой точки зрения. На рисунке 6 желтым цветом схематично обрисованы карбонатные постройки: Восточный Тенгиз, Ансаган и Королевское. С увеличением высоты ряд склонов становится более крутым, что косвенно может свидетельствовать об эрозии склонов в определенный период развития и резком уменьшении карбонатного осадка в этой части, но стоит отметить, что у основания могут скапливаться переотложен-

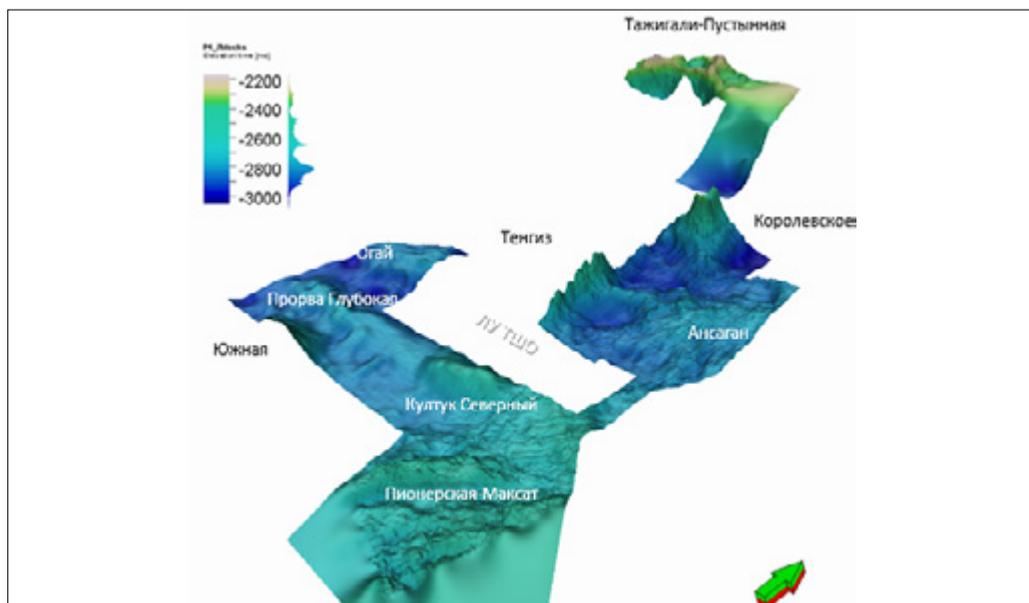
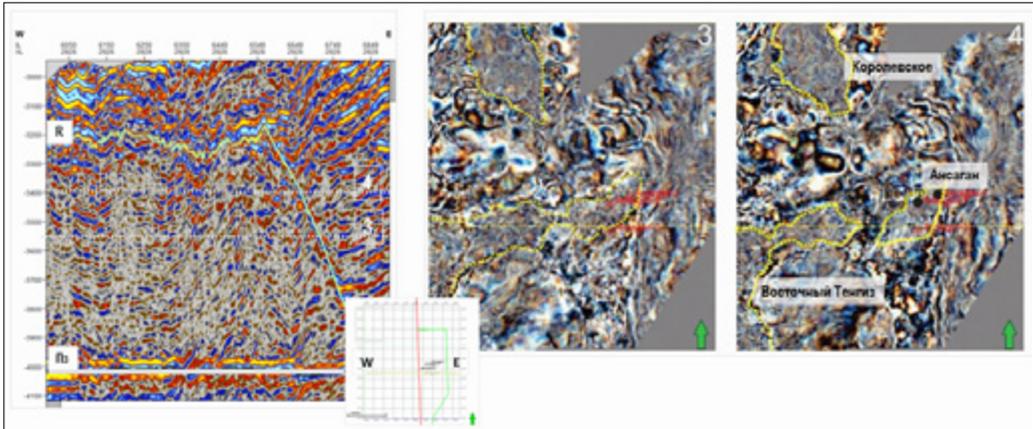
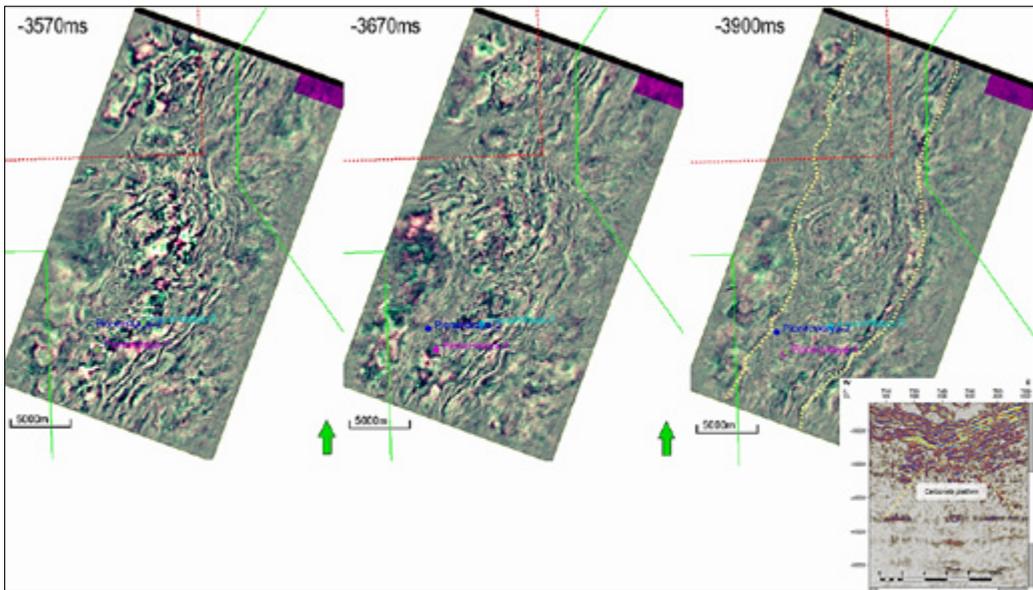


Рисунок 5 – Карта изохрон ОГ П<sub>1</sub>



**Рисунок 6 – Выделение по горизонтальным слайсам девонской карбонатной платформы с помощью технологии «цветового извлечения» на участке Ансаган. Показаны временные срезы через куб, спрямленный на ОГ  $P_3$**



**Рисунок 7 – Выделение по горизонтальным слайсам девонской карбонатной платформы с помощью технологии «цветового извлечения» на участке Пионерская-Максат. Показаны временные срезы через куб, спрямленный на ОГ  $P_3$**

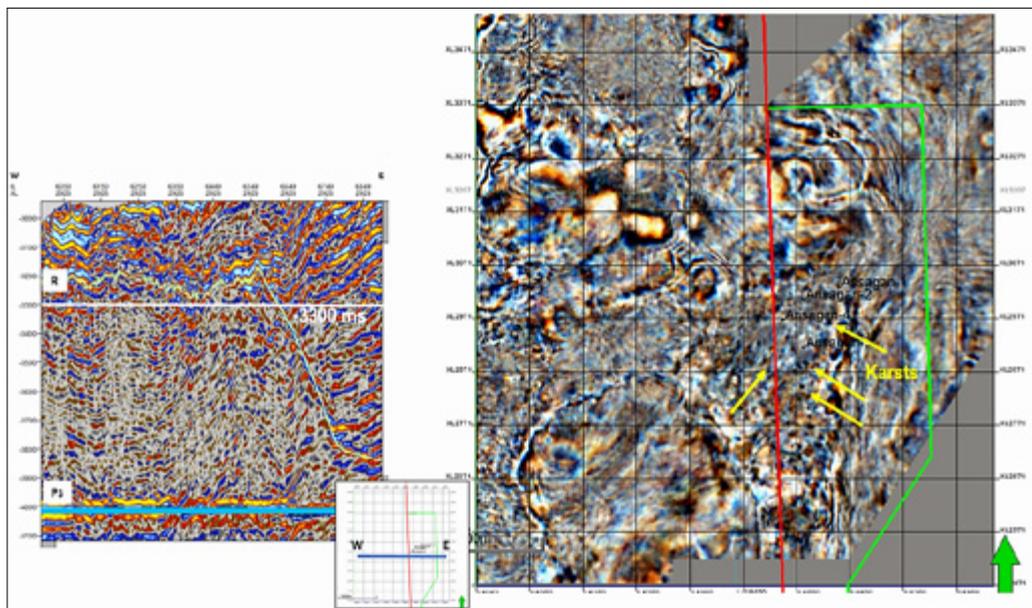
ные карбонаты, локализованные вдоль склона. На горизонтальных срезах, с долей условности, отмечается, когда карбонатное осадконакопление начинает развиваться в режиме «отступления», наращивая внутреннюю часть платформы.

Проследив эволюцию развития карбонатных платформ Ансаган и Пионерская-Максат, можно сделать вывод: наличие поднятия по отражающему горизонту  $P_3$  способствовало интенсивному накоплению органогенных толщ; действие седи-

ментационного фактора обусловило формирование сложного рельефа древней карбонатной платформы с образованием врезов, разделивших платформу на отдельные карбонатные массивы: Тенгиз, Королевская, Ансаган, Пионерская-Максат и другие, и последующее погружение, предположительно в раннекаменноугольный период, которое привело к образованию структур облекания. На площади Тажигали-Пустынная погружение произошло позже, что также обусловлено палеорельефом отражающего горизонта  $P_3$ .

Также с помощью методики «цветового извлечения геологических тел» были обнаружены предположительные зоны карстификации. На горизонтальных срезах они представлены кольцеобразными телами темного цвета (рисунки 8 и 9) различной величины и формы. Образование каверн нередко обусловлено наличием загрязненных примесей участков в породах, которые выщелачиваются быстрее, а также другими неоднородностями карбонатных пород. Значительное влияние на характер кавернозности оказывает трещиноватость, подтвержденная всеми скважинами на месторождении Ансаган. При субвертикальных трещинах образуются вертикальные цепочки каверн, что подтверждается горизонтальными слайсами, где на разных по времени уровнях проявляются карстовые зоны. Подобные структуры в волновом поле совпадают с мега-амплитудами, выделяемыми на сейсмическом разрезе (рисунок 10), аналогичными карстам и кавернам, интерпретируемым по данным сейсморазведки и доказанным бурением на месторождении Тенгиз [11].

Совместно с использованием атрибута RMS амплитуда на участках Пионерская-Максат, Тажигали-Пустынная потенциально кавернозные участки были вы-



**Рисунок 8 – Выделение по горизонтальным слайсам карстовых тел с помощью технологии «цветового извлечения»**

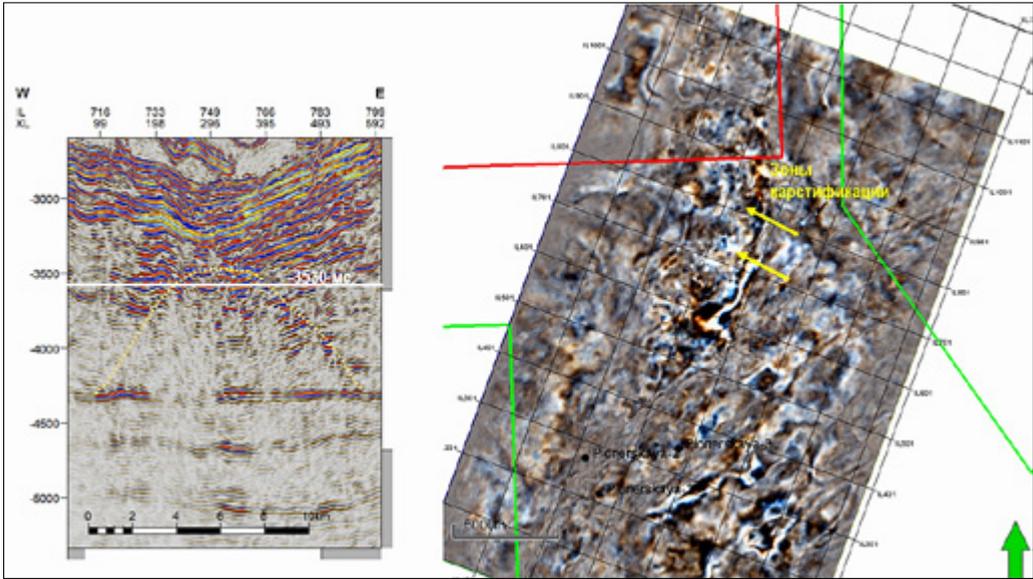


Рисунок 9 – Выделение по горизонтальным слайсам карстовых тел помощью технологии «цветового извлечения»

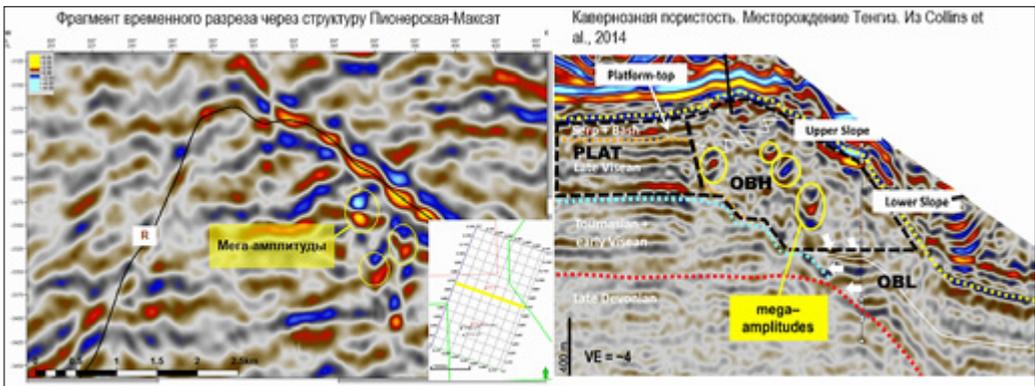


Рисунок 10 – Сопоставление временных разрезов через площади Пионерская-Максат и Тенгиз. Выделение мега-амплитуд в волновом поле

делены в объеме и использованы при вероятностном подсчете ресурсов как один из факторов, определяющих качество коллектора.

Внутренняя граница постройки Ансаган (отражающий горизонт R), выделялась с использованием куба псевдоакустического импеданса. При детальном анализе разреза установлено: кровельная часть постройки уплотнена и отмечается повышенными значениями импедансов. Ниже кровли выделяются области пониженных значений импедансов, что, в свою очередь, может свидетельствовать о разуплотнении и наличии коллектора с улучшенными ФЭС.

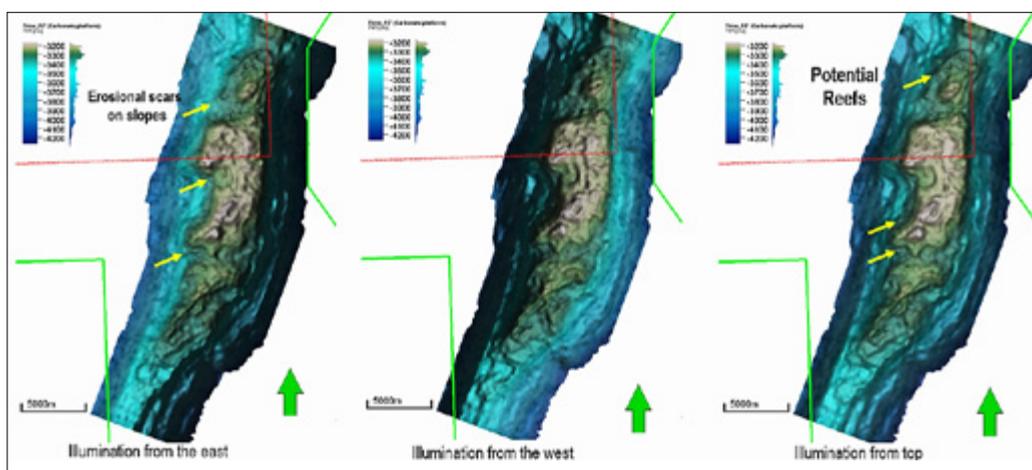
С помощью кубов сейсмических атрибутов Variance, Amplitude Contrast, рассчитывающих схожесть формы сигнала и амплитуды, соответственно, более детально

была проанализирована конфигурация кровли карбонатных построек Пионерская-Максат и Тажигали-Пустынная.

Детальная корреляция данной границы, совместно с наложением сейсмических атрибутов, извлеченных вдоль нее, позволяет провести анализ морфологии кровли карбонатов. На *рисунке 11* приведена карта изохрон отражающего горизонта R площади Пионерская-Максат с наложением сейсмического атрибута Variance, освещенная с разных сторон. Восточный склон постройки крутой, вероятно, граничащий с глубоководным бассейном, его борта имеют ровное падение в восточном направлении. На западном склоне прослеживается влияние эрозионных процессов. Этот склон, как и склон карбонатной платформы Ансаган, находился в мелководноморских условиях, благоприятных для роста живых организмов, доказанных керновыми данными на месторождении Ансаган. Понижение уровня моря привело к размыву близкорасположенных биогермных массивов и последующий смыв их в более глубокие части. Подобные условия могли создаваться замкнутой или слабо связанной с морем лагуной. Кровельная часть карбонатной платформы характеризуется наличием холмообразных выступов, сформированных в процессе жизнедеятельности организмов, либо вследствие эрозионных процессов [12, 13]. Пульсирующий характер колебания уровня моря обусловил разрушение периферийных биогерм и их переотложение вблизи лагуны. В поле относительного акустического импеданса выступы имеют акустически жесткую кровлю и менее жесткое внутреннее заполнение, что может свидетельствовать о возможно улучшенных ФЕС (*рисунок 12*).

Появление внутри карбонатной платформы, вероятно, глинистых прослоев приводит к резкому снижению акустической жесткости и образованию высокоинтенсивных, относительно выдержанных отражений внутри платформы.

Структура Тажигали-Пустынная, аналогично структуре Тенгиз [14], имеет строение, типичное для карбонатной платформы – платформа, борт и склон



**Рисунок 11 – Карта изохрон кровли карбонатной постройки площади Пионерская-Максат с наложением атрибута Variance и освещением с востока, запада и сверху**

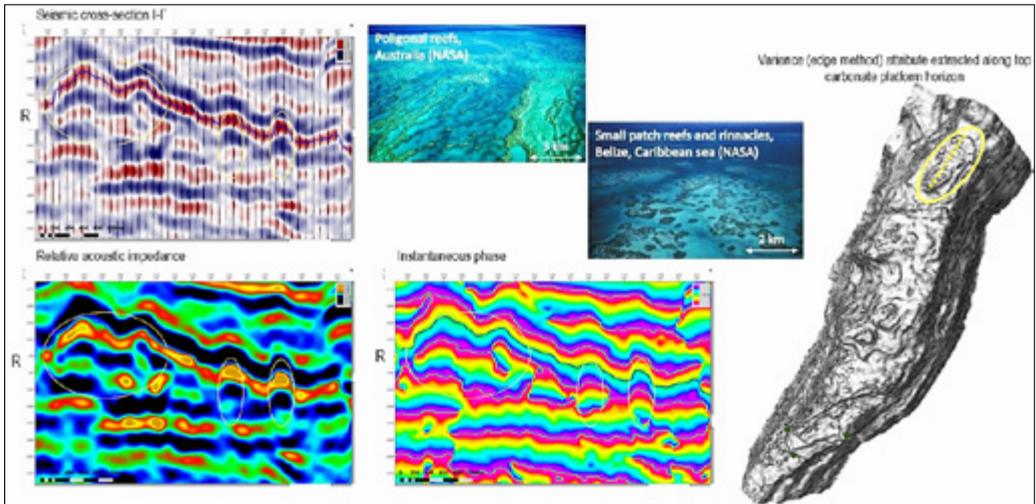


Рисунок 12 – Характер сейсмической записи в карбонатной платформе Пионерская-Максат

(рисунок 13), что четко прослеживается как на разрезе, так и на карте изохрон. Для более детального выделения геоморфологических особенностей использовано наложение атрибута Variance на карту изохрон.

На площади Култук Северный–Прорва Глубокая методика «цветового извлечения геологических тел» использовалась для выделения седиментологических

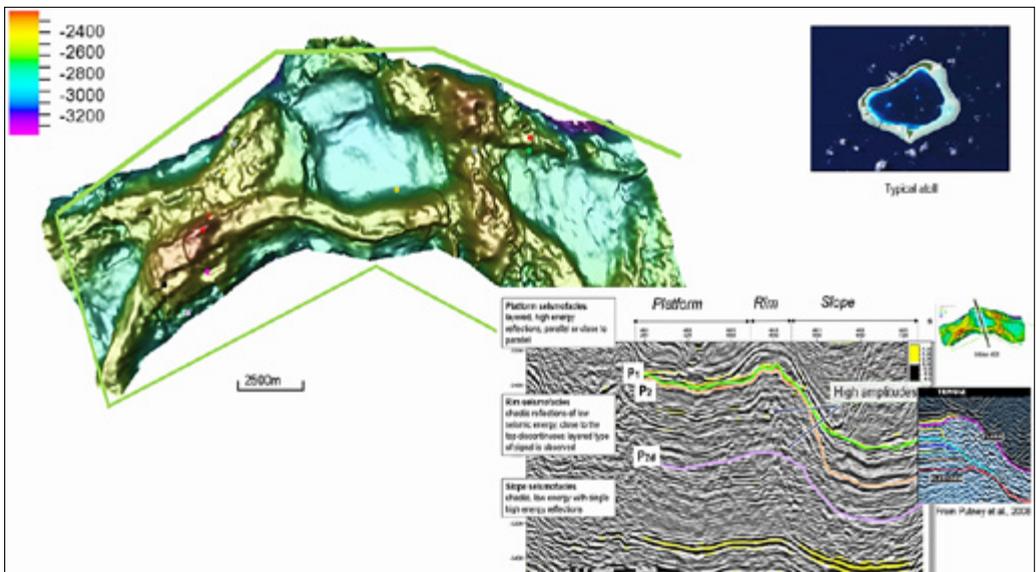


Рисунок 13 – Карта изохрон кровли карбонатной постройки (ОГ П<sub>2</sub>) площади Тажигали-Пустынная с наложением атрибута Variance. Сейсмический разрез через постройку

особенностей пород. Структура Култук Северный расположена в непосредственной близости к структуре Пионерская-Максат и имеет схожие характеристики волновой картины верхнего интервала подсолевого комплекса. Анализ по кубам, спрямленным на отражающие горизонты и определяющие залегание пород, позволяет минимизировать влияние структурного фактора.

На *рисунке 14* показана карта атрибута, снятая вблизи ОГ  $\Pi_2$  по кубу, спрямленному на ОГ  $\Pi_2$ . Карта иллюстрирует наличие контраста в пределах карбонатных платформ и в областях их отсутствия. Также выделяются промежуточные области, шлейфом спускающиеся с построек. Эти области интерпретируются как «фартуки» обломочного материала. На *рисунке* их границы выделены белой пунктирной линией, а направление сноса показано желтыми стрелками. Следовательно, анализ волнового поля подтверждает наличие «фартуков» сноса на склонах карбонатных платформ Тенгиз, Пионерская-Максат и Южная. Участок Култук Северный-Прорва Глубокая во время накопления пород, слагающих ОГ  $\Pi_2$  находился глубже относительно вышеперечисленных карбонатных построек. Данное расположение послужило благоприятным фактором для накопления сносимого с построек обломочного материала.

Важную роль в седиментации пород, слагающих интервал  $\Pi_2$ - $\Pi_1$ , помимо сноса с карбонатных платформ Тенгиз, Южная и Пионерская-Максат, играет роль снос обломочного материала с зоны Южно-Эмбинского поднятия. К концу башкирско-московского периода, вследствие столкновения Туранской плиты с Восточно-Европейской платформой, начинает развиваться зона Южно-Эмбинских поднятий. В предверхнепермское время на ее территории происходит обширный размыв, приведший к денудации в наиболее приподнятых частях [5]. Обломочный материал, сносимый с поднятий, привносился подводными течениями в юго-западном от Южно-Эмбинского поднятия направлении, в том числе и к участкам Пионерская-Максат и Култук Северный.

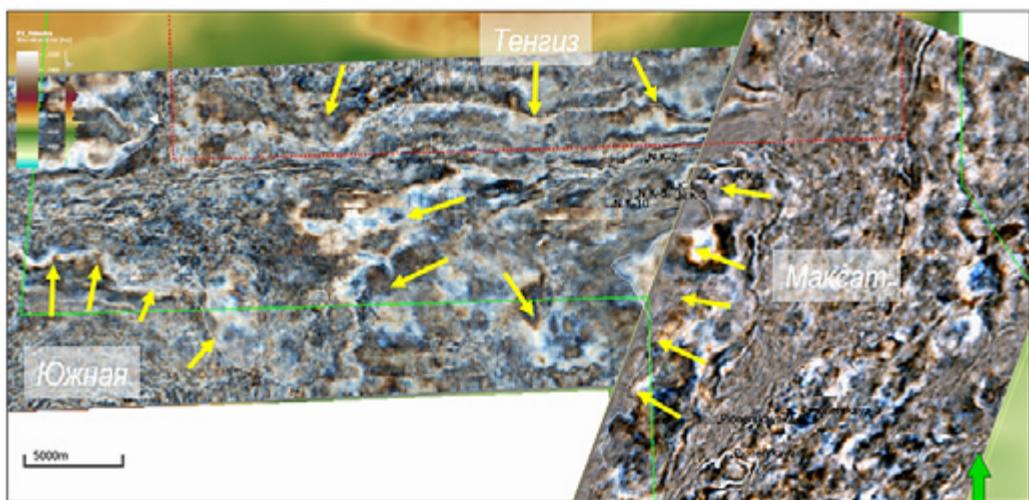


Рисунок 14 – Карта атрибута «цветового извлечения», снятая вблизи ОГ  $\Pi_2$

Применение методики «цветового извлечения геологических тел» позволило выделить конусы выноса обломочного материала на территории участков Пионерская-Максат и Култук Северный. Контраст амплитуд свидетельствует о наличии отличающихся по литологическому составу пород. Направление продвижения конусов – с северо-востока на юго-запад (рисунок 15). Данное предположение подтверждается ранее проведенными работами [15]. По составленным авторами литолого-палеогеографическим картам, ранняя пермь характеризуется формированием конусов выноса с более приподнятых участков.

Сейсмический атрибут относительный акустический импеданс позволил выделить контрастные по акустическим свойствам особенности разреза на структуре Огай.

Существует несколько предположений о возникновении структуры Огай. По одному из них, Огай – карбонатная платформа, по другому, это – структура, образованная в результате накопления обломочного материала, сносимого с карбонатной постройки Тенгиз.

По результатам анализа волновой картины в интервале 3250–3450 мс на разрезах относительного акустического импеданса выделена постройка или геометрическая структура с характерным хаотичным характером записи внутри объекта, что косвенно подтверждает интенсивное накопление карбонатных пород (рисунок 16).

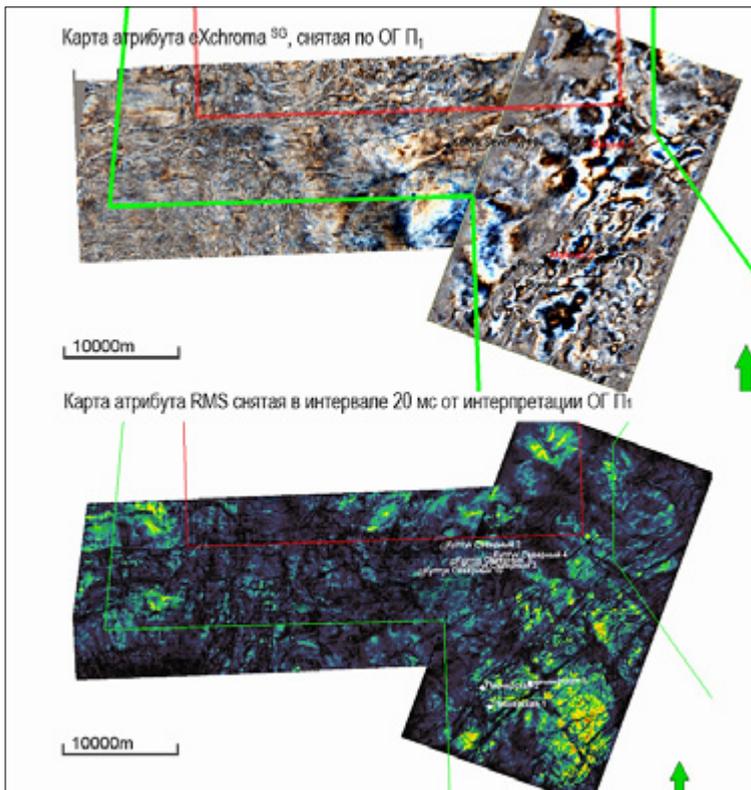


Рисунок 15 – Совмещенные карты площадей Пионерская–Максат и Култук

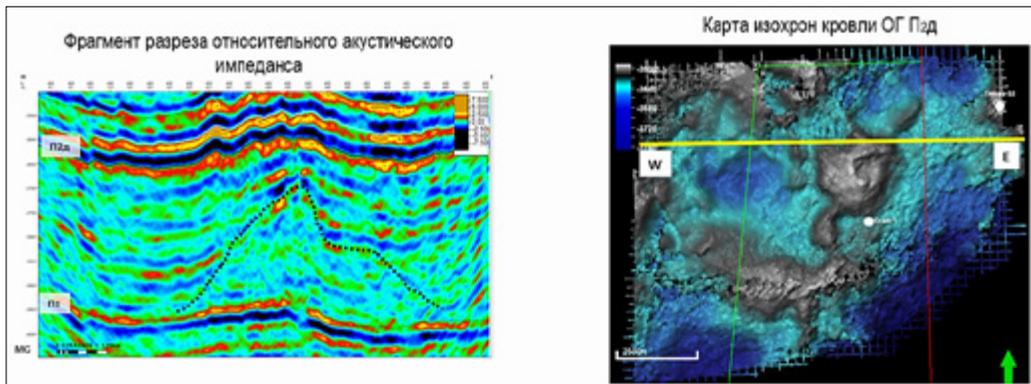


Рисунок 16 – Характер сейсмической записи в карбонатной платформе Огай

Косвенным признаком наличия, хоть и небольшой, но постройки – выраженное поднятие по ОГ П<sub>3</sub>, поскольку именно приподнятые участки фундамента определяли возможность карбонатной седиментации.

## ВЫВОДЫ

В данной работе продемонстрировано применение различных сейсмических инструментов, включая объемные и поверхностные, а также методики «цветового извлечения геологических тел» для повышения детальности и четкости отображения сейсмической информации, что значительно способствует достоверности геологической интерпретации разреза изучаемого участка. Проведен анализ и обобщение результатов сейсмической интерпретации, выделены геоморфологические особенности строения нефтегазоперспективных структур. Результаты интерпретации использованы для оценки углеводородного потенциала участка.

*Выражаем благодарность за оказанное содействие В.Ф. Панкратову – ведущему геофизику компании TOO GSSLLP, группе специалистов компаний «АЛМЭКС ПЛЮС» и Schlumberger.*

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абдуллин А.А., Али-Заде Ак.А., Ахмедбейли Ф.С. и др. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления. Москва: Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН, ПКО «Картография». [Abdullin A.A., Ali-Zade Ak A., Akhmedbeyli F.S. et al. International tectonic map of Caspian Sea and its southern margin. Moscow: Institute of lithosphere of marginal and inner seas, RAS, PCO «Kartografiya».]
- 2 Мусагалиев М.З., Панкратов В.Ф., Куанышев Ф.М., Пронин Ф.А. Эволюция верхнепалеозойских карбонатных платформ юга Прикаспийской впадины. Геология и охрана недр (11), 2004: 17–21. [Musagaliyev M.Z., Pankratov V.F., Kuanyshev F.M., Pronin F.A. Evolution of Upper Paleozoic carbonate platforms of south Pre-Caspian depression. Geology and subsurface safety (11), 2004: 17–21.]
- 3 Аймагамбетов М.У., Жамауов Ж.К., Ескожа Б.А. О перспективах и углеводородном потенциале девонской толщи юго-востока Прикаспийской впадины. Нефть и газ, 5

- (101), 2017: 53–66. [Aimagambetov M.U., Zhamauov Z.K., Yeskozha B.A. Perspectives and hydrocarbon potential of Devonian sediments of south-east Pre-Caspian depression. Oil and gas 5 (101), 2017: 53–66.]
- 4 Аубакиров А.А., Жаманов Ж.К., Аймагамбетов М.У. и др. О первых геологических результатах целенаправленного изучения пород верхнего девона на юго-востоке Прикаспийской впадины. Известия НАН РК, серия геологии и технических наук, 4 (424), 2017: 43–55. [Aubakirov A.A., Zhamauov Zh.K., Aimagambetov M.U. et al. The first geological results of targeted upper Devonian sediments research in southeastern part of Pre-Caspian depression. Izvestiya NAN RK, Geological and Technical Sciences, 4 (424), 2017: 43–55.]
  - 5 Воцалевский Э.С., Пилифосов В.М. и др. Тектоника области сочленения Прикаспийской впадины и Северного Устюрта. Геология Казахстана (1), 1996: 66–78. [Votsalevskiy E.S., Pilifosov V.M. et al. Tectonics of Pre-Caspian depression and Northern Ustyrt junction. Geology of Kazakhstan 1, 1996: 66–78.]
  - 6 Волож Ю.А., Антипов М.П., Брунет М.Ф., Гарагаш И.А., Лобковский Л.И., Кадет Ж.П. Геодинамика Прикаспийского бассейна домезозоя. Седиментологическая геология (156), 2003: 35–58. [Volozh Yu.A., Antipov M.P., Brunet M.F., Garagash I.A., Lobkovskii L.I., Cadet J.P. Pre-Mesozoic geodynamics of the Precaspian Basin (Kazakhstan) Sedimentary Geology (156), 2003: 35–58.]
  - 7 Абилхасимов Х.Б. Особенности формирования природных резервуаров палеозойских отложений Прикаспийской впадины и оценка перспектив их нефтегазоносности, монография. Москва: Издательский дом Академии Естествознания. Научное обозрение (6), 2016: 36–65. [Abilkhasimov H. B. formation of natural reservoirs of Paleozoic deposits of the Caspian basin and assessment of prospects of oil and gas, monograph. Moscow: Publishing house of the Academy of natural Sciences. Scientific review (6), 2016: 36–65.]
  - 8 Абилхасимов Х.Б. О новых перспективах нефтегазоносности глубокозалегающих объектов палеозойских отложений Прикаспийского бассейна, 2016. [Abilkhasimov Kh.B. Features of the Paleozoic reservoirs formation in Pre-Caspian depression and the assessment of the prospects hydrocarbon potential, monography. Moscow: Natural Science Academy, 2016.]
  - 9 Умирова Г.К. Выделение геоэлектрических неоднородностей в образованиях осадочного чехла в пределах блока Каратон-Саркамыс на основе технологии магнитотеллурических зондирований (МТЗ), диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD). Алматы: Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, 2017. [Umirova G.K. Isolation of geoelectricinhomogeneities in formations within the Karaton-Sarkamys block based on magnetotelluric sounding technology (MTS), dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD). Almaty: Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, 2017.]
  - 10 Лааке А. Структурно контрастный цветовой метод извлечения структурных особенностей из сейсмических данных. 75 EAGE Конференция и выставка, SPE EUROPEC 2013, Лондон, ВБ, 10–13 июня, 2013. [Laake A. Structurally Sharpened Continuous Color Method for Extraction of Structural Features from Seismic Data. 75<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013, London, UK, 10–13 June, 2013.]
  - 11 Коллинз Ж.Ф., Катз Д., Харрис П.М., Нарр У. Цементация при погружении и растворение в склоновых литофациях каменноугольного возраста, месторождение Тенгиз, Казахстан: Доказательства гидротермической активности. Журнал Исследований и Открытий (20234). Адаптировано с устной презентации Ежегодного Конгресса и Выставки AAPG 2013, Питтсбург, Пенсильвания, США, 19–22 мая, 2013, 2014. [Collins

- J.F., Katz D., Harris P.M., Narr W. Burial Cementation and Dissolution in Carboniferous Slope Facies, Tengiz Field, Kazakhstan: Evidence for Hydrothermal Activity. Search and Discovery Article (20234). Adapted from oral presentation given at AAPG 2013 Annual Convention and Exhibition, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 19–22 May, 2013, 2014.]
- 12 Кентер Ж.А.М., Харрис П.М., Коллинз Ж.Ф. Фации и качество коллектора изолированной платформы Тенгиз, Прикаспийский бассейн, Казахстан. Адаптировано с устной презентации Европейской региональной энергетической конференции и выставки AAPG, Афины, Греция, 18–21 ноября, 2007, 2008. [Kenter J.A.M., Harris P.M., Collins J.F. Facies and Reservoir Quality of the Tengiz Isolated Platform, Pricaspian Basin, Kazakhstan. Adapted from oral presentation at AAPG and AAPG European region Energy Conference & Exhibition, Athens, Greece, 18–21 November, 2007, 2008.]
  - 13 Толеубай Б. Особенности сейсмической интерпретации склона объекта 1 месторождения Тенгиз. Нефть и газ (88), 2015: 71–81. [Toleubay B. Features of seismic interpretation of the slope of the object 1 Tengiz field. Oil and gas (88): 71–81, 2015.]
  - 14 Путни К.Л., Коллинз Ж.Ф., Харрис П.М., Жумагулова А., Фишер Д.Ж. Определение характеристик коллектора месторождения Королев, Северо-Каспийский бассейн, Казахстан. Журнал Исследований и Открытий (20055), Адаптировано с постерной презентации Ежегодного Конгресса AAPG, Калагари, Альберта, 19–22 июня, 2005, 2008. [Putney K.L., Collins J.F., Harris P.M., Zhumagulova A., Fischer D.J. Reservoir Characterization of the Korolev Field, North Caspian Basin, Kazakhstan. Search and Discovery Article (20055), Adapted from poster presentation at AAPG Annual Convention, Calgary, Alberta, 19–22 June, 2005, 2008.]
  - 15 Даукеев С.Ж., Ужкенов Б.С., Милитенко Н.В., Морозов А.Ф., и др. Атлас литолого-палеогеографических, структурных, палинспастических и геоэкологических карт Центральной Евразии. Алматы: ЮГГЕО, 2002. [Daukeyev S.Z., Uzhkenov B.S., Militenko N.V., Morozov A.F., et al. Atlas of Central Eurasia lithological-paleogeographical, structural, palinspatial and geological maps. Almaty: YUGGEO, 2002.]

