УДК 550.834.05; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-1.03
https://orcid.org/0009-0006-7794-0967
https://orcid.org/0000-0002-1866-7677

ИЗУЧЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПЛОЩАДИ В АРЫСКУМСКОМ ПРОГИБЕ

А.Г. ШЕСТАКОВ,
ведущий геофизик отдела интерпретации и изучения резервуаров,
ashestakov2@gmail.com

А.Е. АБЕТОВ,
доктор геол.-мин. наук, профессор Satbayev University, академик НАН РК,
abetov.auez@mail.ru

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К.И. САТПАЕВА,
Республика Казахстан, г. Алматы, 050013, ул. Сатпаева, 22

В статье рассматривается инновационный подход к интерпретации тектонических нарушений в условиях сложной сдвиговой тектоники Южно-Торгайского осадочного бассейна по данным сейсмической съемки МОГТ- 3Д в варианте высокой плотности покрытия.

После выполнения обработки, интерпретации и моделирования по специальным алгоритмам полученные данные сейсморазведки МОГТ-3D позволили получить объективную информацию о тектонической структуре, генезисе и геодинамике объектов нефтегазопоисковых работ на одном из месторождений углеводородов в Арыскумском прогибе. Месторождение представлено тремя сводами, осложненными многочисленными тектоническими нарушениями, достоверная идентификация которых имеет не только научное, но и прикладное применение для понимания строения залежи.

В результате проведенных исследований удалось не только восстановить историю тектонического развития района месторождения в период формирования целевых промысловых горизонтов в мезозойское и кайнозойское время, но и по-новому взглянуть на перспективы углеводородного насыщения доюрских образований Арыскумского прогиба. В частности, на локальном уровне подтверждена роль сдвиговой тектоники в формировании сводов залежей в мезозойском интервале. Сделаны предположения о наличии надвигов в палеозойском интервале, которые объясняют высокую литологическую ге-

терогенность доюрского комплекса и позволяют надеяться на расширение перспектив нефтегазоносности региона.

Возможности интерпретации и реконструкции региональных палеотектонических обстановок, построение моделей разломов, согласующихся с известными региональными представлениями о тектонике изучаемой площади были несколько осложнены небольшими размерами площади исследований (~200 км²).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *структурная интерпретация, тектонический анализ, разломы, сдвиги, строение залежи УВ, сейсморазведка МОГТ-3D.*

АРЫСҚҰМ ИІНІНІҢ АЛАҢЫНДАҒЫ ТЕКТОНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ

А.Г. ШЕСТАКОВ, интерпретация және резервуарларды зерттеу бөлімінің жетекші геофизигі, *ashestakov2@gmail.com*
А.Е. АБЕТОВ, геология-минералогия ғылымдарының докторы, Satbayev University профессоры, ҚР ҰҒА академигі, *abetov.auez@mail.ru*

Қ.И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ., 050013, Сәтпаев көшесі 22

Мақалада Оңтүстік Торғай шөгінді бассейнінің күрделі ығыспалы тектоника жағдайында жоғары тығыздықты МОГТ-3Д сейсмикалық түсірілімінің деректері негізінде тектоникалық жарылымдарды интерпретациялаудың инновациялық тәсілі қарастырылады.

Арнайы алгоритмдер бойынша өңдеу, интерпретация және модельдеу жүргізілгеннен кейін алынған МОГТ-3Д сейсмикалық барлау деректері Арысқұм иілісіндегі көмірсутек кенорындарын барлау нысандарының тектоникалық құрылымы, генезисі және геодинамикасы туралы объективті ақпарат алуға мүмкіндік берді. Кенорны үш күмбезден тұрады, олар көптеген тектоникалық жарылымдармен күрделенген, олардың сенімді идентификациясы тек ғылыми ғана емес, сонымен қатар жатын құрылымын түсіну үшін қолданбалы маңызға ие.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде кенорны аймағының мезозой және кайнозой кезеңдерінде нысаналы өндірістік горизонттардың қалыптасу кезіндегі тектоникалық даму тарихын қалпына келтіруге ғана емес, сондай-ақ Арысқұм иілісінің юраға дейінгі түзілімдерінің көмірсутекпен қаныққу перспективаларын қайта қарастыруға мүмкіндік берді. Атап айтқанда, жергілікті деңгейде мезозойлық интервалда жатын күмбездерінің қалыптасуында ығыспалы тектониканың рөлі расталды. Сонымен қатар, палеозойлық интервалда бастырмалар болуы мүмкін деген болжам жасалды, бұл юраға дейінгі кешеннің жоғары литологиялық әртектілігін түсіндіреді және аймақтың мұнай-газ әлеуетін кеңейтуге мүмкіндік береді.

Зерттеу аймағының салыстырмалы түрде шағын көлемі (~200 км²) зерттелетін аумақтың белгілі аймақтық тектоника тұжырымдамаларына сәйкес келетін жарылым модельдерін құру, аймақтық палеотектоникалық жағдайларды интерпретациялау және қайта құру мүмкіндіктерін белгілі бір дәрежеде күрделендірді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *құрылымдық интерпретация, тектоникалық талдау, жарылымдар, ығысу қозғалыстары, көмірсутек кенорнының құрылысы, МОГТ-3D сейсмикалық барлау.*

STUDY OF THE TECTONIC STRUCTURE OF THE AREA IN THE ARYSKUM DEPRESSION BASED ON SEISMIC SURVEY DATA

A.G. SHESTAKOV, Lead Geophysicist of the Interpretation and Reservoir Studies Department, *ashestakov2@gmail.com*
A.E. ABETOV, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor at Satbayev University, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, *abetov.auez@mail.ru*

K.I. SATBAYEV KAZAKH NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, Almaty, 050013, 22 Satbaev St.

The article presents an innovative approach to interpreting tectonic faults under the complex strike-slip tectonic conditions of the South Turgay Sedimentary Basin based on high-density 3D seismic survey data.

After processing, interpretation, and modeling using specialized algorithms, the obtained 3D seismic data provided objective information on the tectonic structure, genesis, and geodynamics of hydrocarbon exploration targets at one of the oil and gas fields in the Arysqum Depression. The field is represented by three structural highs, complicated by numerous tectonic faults, whose accurate identification has both scientific significance and practical applications for understanding the structure of hydrocarbon reservoirs.

As a result of the conducted studies, it was possible not only to reconstruct the tectonic evolution of the field area during the formation of the target productive horizons in the Mesozoic and Cenozoic periods but also to offer a new perspective on the hydrocarbon potential of the pre-Jurassic formations in the Arysqum Depression. Specifically, at the local level, the role of strike-slip tectonics in the formation of structural highs in the Mesozoic interval was confirmed. Additionally, assumptions were made regarding the presence of thrust faults in the Paleozoic interval, which explain the high lithological heterogeneity of the pre-Jurassic complex and suggest an expansion of the region's hydrocarbon potential.

The interpretation and reconstruction of regional paleotectonic settings, as well as the construction of fault models consistent with existing regional tectonic concepts, were somewhat complicated by the relatively small study area (~200 km²).

KEYWORDS: *structural interpretation, tectonic analysis, faults, strike-slip displacements, hydrocarbon reservoir structure, 3D seismic exploration.*

Введение. Освоение нефтегазового потенциала Республики Казахстан сопряжено с процессом постепенного перехода от эксплуатации более простых с геологической и технологической точек зрения месторождений к поискам и разведке все более сложных по строению глубоко залегающих скоплений УВ.

Успех в реализации данного тренда нефтегазопоисковых работ в значительной мере определяет эффективность разработки и своевременное внедрение методов полевой сейсморазведки, обработки и интерпретации сейсмических данных, которые позволяют с большей степенью детальности и достоверности осветить существенное разнообразие нефтегазоперспективных объектов (в том числе ловушек УВ антиклинального и неантиклинального типов) в стратиграфически различных интервалах геологического разреза и на разных глубинах.

К таким объектам, безусловно, можно отнести литологические и стратиграфические ловушки, а также тектонически экранируемые залежи УВ. В последнем случае от достоверности и детальности картирования разломной тектоники зави-

сит вероятность опоискования и разведки объекта, а также точность оценки углеводородного потенциала и выбор стратегии разработки залежи УВ с объективной финансово-экономической моделью.

Понимание палеотектонических условий формирования целевых объектов имеет научную новизну и практическую значимость, позволяя сделать выводы о времени возникновения потенциальной ловушки, прогнозировать зоны повышенной трещиноватости, что вместе с данными о времени миграции УВ создает возможности заблаговременно (до бурения) оценить вероятность заполнения ловушки углеводородами, а главное их сохранение в той или иной структуре.

Построение детальной тектонической модели площади может быть выполнено как с помощью ставших уже привычными структурных атрибутов (coherency, chaos, edge, variance, ant tracking и т.д.) и применения базовых принципов геомеханики, так и на основе применения набирающих популярность алгоритмов машинного обучения, которые при относительно невысокой стоимости работ позволяют делать прогнозирование систем мелких нарушений, формально выходящих за рамки разрешающей способности сейсморазведки.

Результаты применения данных подходов легли в основу авторских исследований по интерпретации и моделированию нижнемеловых и верхнеюрских нефтегазонасыщенных интервалов, а также доюрского комплекса пород на одном из месторождений в Арыскумском прогибе Южно-Торгайского осадочного бассейна (в аббревиатуре ЮТОБ).

Важность тектонического фактора обуславливается существенным развитием дизъюнктивной тектоники на данном месторождении, с разными значениями ВНК и даже типом насыщающего флюида в разных тектонически изолированных блоках (нефть в Центральном поднятии и газ в Южном поднятии).

Материалы и методы исследования. Площадь исследований обособляется в ЮТОБ, расположенном в южной части Торгайского прогиба, который традиционно считается связующим звеном между двумя крупными платформами Евразии: Скифско-Туранской на юге и Западно-Сибирской на севере [1, 2].

Границы прогиба на востоке определяет Улытауское древнее поднятие (мегантиклинорий) с Западно-Улытаусским глубинным разломом, на юго-западе – Нижнесырдарьинский свод и Севастопольский разлом, а на севере – Костанайская седловина (Парагульгов Т.Х, 1995). С южной стороны бассейн сужается и достигает северо-западной оконечности хребта Большой Каратау (*рисунок 1*), где выделяется Главный Каратауский разлом, который трассируется в западной половине ЮТОБ. Разломы имеют разное простирание, разную глубину заложения и дифференцированный возраст реактивизации [3, 4].

Такое пограничное положение ЮТОБ отразилось на особенностях его геологического строения, характеризующегося как гетерогенностью пород фундамента, так и стратиграфической полнотой осадочного комплекса. Протяженность ЮТОБ составляет около 600 км, при этом его ширина варьирует: на севере – до 250 км, а на юге – составляет около 150 км.

В разрезе осадочного чехла выделены два структурных этажа [5]. Нижний этаж сложен породами верхнего-среднего палеозоя и имеет спорадическое распростра-

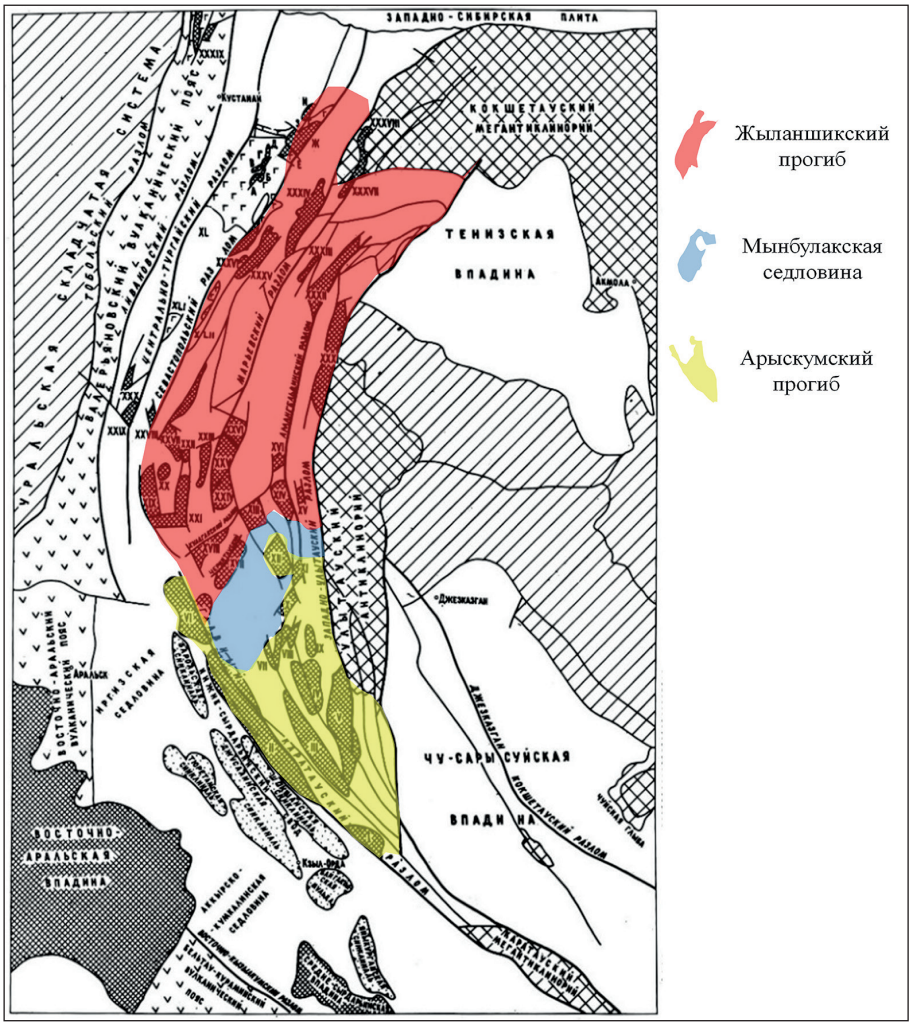

Рисунок 1 – **Тектоническая схема Торгайского прогиба и сопредельных территорий (по Т.Х. Парагульгову, 1995 г.).**

Триас-юрские грабены и грабен-синклинали: I – Даутская, II – Арыскумская, III – Акшабулакская, IV – Сарыланская, V – Бозингенская, VI – Жинишкекумская, VII – Калмаккырганская, VIII – Кульсайская, IX – Миюрская, X – Джымыкинская, XI – Дулугалинская, XII – Кайдагульская, XIII – Бощакульская, XIV – Сарыкская, XV – Иттмурунская, XVI – Аккудукская, XVII – Черкитауская, XVIII – Кулагакская, XIX – Ащикульская, XX – Тентексорская, XXI – Баймуратская, XXII – Баракольская, XXIII – Жаман-Аккульская, XXIV – Сагинская, XXV – Жанакуральская XXVI – Шоптыкольская, XXVII – Акчийская, XXVIII – Каракамысская, XXIX – Тегиссорская, XXX – Караастауская, XXXI – Мхатовская, XXXII – Савинковско-Кызылтальская, XXXIII – Бертальская, XXXIV – Джаныспайская, XXXV – Панфиловская, XXXVI – Докучаевская, XXXVII – Узункульско-Куприяновская, XXXVIII – Бурлукская, XXXIX – Коскольские, XL – Кушмурунская группа

нение (установлен на северо-западе Арыскумского прогиба и в западной половине Мынбулакской седловины). Верхний структурный этаж образован породами мезо-кайнозоя и представляет собой ортоплатформенный чехол.

Образования нижнего и верхнего структурных этажей имеют разный уровень литификации и метаморфизма, а также демонстрируют угловые и стратиграфические несогласия, связанные с каледонским, герцинским и киммерийским циклами тектогенеза.

ЮТОБ как отдельная геоструктурная единица был выделен по данным сейсморазведки к началу 1980-х годов. Мынбулакской седловиной он разделяется на два прогиба: Жыланшикский на севере и Арыскумский на юге.

На тектонической схеме Арыскумского прогиба по подошве мезозой-кайнозойских отложений (Филипьев Г.П., Созинов В.А., 1996 г.) можно отметить, что направление осей складок на западе и севере Акшабулакской грабен-синклинали преимущественно субмеридиональное или северо-восточное и отличается от большинства структур в пределах Аксайской и Ащисайской горст-антиклиналей, которые вытянуты в северо-западном направлении (*рисунок 2*).

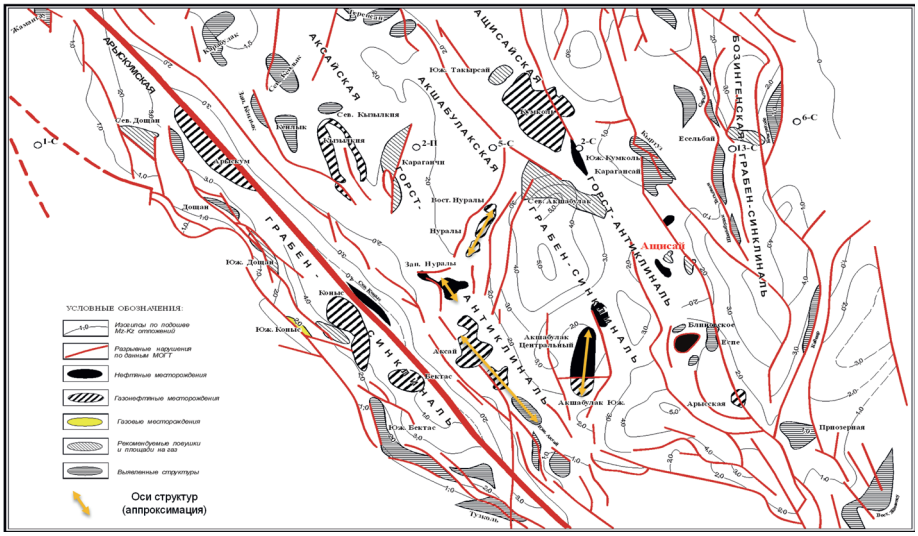

Рисунок 2 – **Тектоническая схема Арыскумского прогиба (по Г.П. Филипьеву и В.А. Созинову, 1996 г.)**

Современные исследования [6] выделяют два этапа рифтогенеза, предопределившие строение ЮТОБ. Венд-раннепалеозойский этап характеризуется интенсивным прогибанием и растяжением земной коры на ранних стадиях с последующей тектонической инверсией и сжатием, что привело к активным дислокациям и проявлениям магматизма на поздних стадиях.

На юрском этапе развития произошло возобновление активности палеозойских и допалеозойских разломов с интенсивными тектоническими перемещениями, что способствовало расколу древнего фундамента и формированию грабенов. Отличительной чертой данного этапа является отсутствие магматических внедрений и интенсивных деформаций. Этап сопровождался осадконакоплением в виде мощных терригенных толщ.

В процессах рифтогенеза некоторыми авторами отмечена определяющая роль сдвиговой тектоники на мезозойском этапе формирования ЮТОБ. Так, в статье Алексеева Д.В. и др. [7] делаются выводы, что сдвиги, оперяющие Главный Каратауский разлом (ГКР) сходятся в юго-восточном направлении, образуя виргацию в районе северного окончания хр. Каратау, а амплитуды отдельных сдвигов при этом суммируются с амплитудой ГКР. При этом отмечается, что суммарная амплитуда юрских сдвигов в ЮТОБ составляет как минимум 35-40 км и, скорее всего, превышает эту величину.

В статье Yin Wei, Fan Zifei и др. [8] можно видеть следующие выводы:

1) Влияние сдвиговой тектоники ГКР в ЮТОБ постепенно ослабляется с запада на восток. На разрезах отмечаются типичные для сдвигов «цветочные структуры», в то время как на срезах в плане сдвиги проявляют себя в виде кулисообразных структур.

2) В ранней-средней юре Южно-Торгайский бассейн типа «пул-апарт» был сформирован под воздействием Каратауского сдвигового разлома. Растяжение постепенно ослабевало от ранней к поздней юре, при этом, растяжение бассейна было более сильным на севере и юге, в то время как центральная часть подвергалась меньшему воздействию. В ЮТОБ произошли два этапа тектонической инверсии - в поздней юре и в позднем меле.

3) Геологическая структура, характеризующаяся чередованием горстов и грабенов, образовалась под воздействием сдвигового ГКР. Сформированные горсты предоставили благоприятные условия для последующего скопления углеводородов, в то время как грабены при различных стадиях наполнения контролировали процесс образования нефтегазоматеринских свит.

Необходимо отметить, что несмотря на распространенное ранее скептическое отношение к перспективам палеозойского интервала, некоторые новые работы, проведенные с привлечением данных магниторазведки [9], гравиразведки, геотермических аномалий и новейших движений земной коры допускают расширение стратиграфического интервала нефтегазоносности за счет верхней части палеозойских образований.

Структура, по которой были проведены исследования, была выявлена и подготовлена к поисковому бурению детальным сейсмопрофилированием методом ОГТ, проведенным в 1986-87 гг. Турланской геофизической экспедицией (ГФЭ).

По результатам работ выделены и протрассированы отражающие горизонты по поверхности палеозойского фундамента (PZ), кровле юры (III) и арыскумского горизонта нижнего неокома (IIar).

В 1990-1992 гг. Турланской ГФЭ произведена детальная сейсморазведка продольным профилированием МОГТ с дополнительными широтными сейсмопрофилями между отработанными ранее. По результатам проведенных работ, с учетом геолого-геофизических данных по пробуренным скважинам, уточнены границы выклинивания продуктивного горизонта Ю-III.

В 2001-2002 гг. на территории исследований проводились сейсмические работы методом МОГТ-3Д, целью которых стало детальное изучение отложений юрско-мелового комплекса пород, определение геометрии резервуаров и других особенностей структуры месторождения. Результаты работ использованы для оптимального расположения проектируемых скважин и построения геологической модели месторождения.

В 2019 году повторно была проведена высокоплотная сейсморазведка МОГТ-3Д (размер бина 12.5х12.5 м) общей площадью 214 км^2. Съемка выполнялась для достижения высокой разрешенности сейсмической записи с целью детального изучения геологического строения участка, выявления и уточнения структурных (антиклинали, переклинали) и неструктурных (литологиски, стратиграфичеки и тектонически экранированные) ловушек нефти и газа, а также в целях детализации тектонической модели площади.

Суть алгоритма интерпретации тектонических нарушений, использованного при данной съемке, заключалась в определенной последовательности анализа и итеративном подходе, что позволило минимизировать возможные противоречия с региональными представлениями о тектонике [10].

Интерпретация началась с послойного атрибутного анализа на основе седиментационных срезов, смысл которого заключался в определении возраста генерации тектонических нарушений (или возраста последней стадии их реактивации) и их классификации по этому признаку. Априори предполагалось, что нарушения одного возраста были заложены при одном тектоническом режиме, что заведомо задает интерпретатору определенные рамки для анализа.

Далее проводилось поэтапное сопоставление идентифицированных тектонических режимов с имеющимися научными концепциями по региональным тектоническим процессам, включая геоморфологические признаки тектонических элементов 1-го и 2-го порядков.

Выявленные несоответствия между локальной и региональной тектоническими особенностями были поводом для проведения повторной итерации этапа корреляции тектонических нарушений или требовали дополнительной аргументации.

Результаты и обсуждение. В основу проведенного палеотектонического анализа легли результаты интерпретации данных сейсмической съемки МОГТ-3Д (2019г.).

Для восстановления истории геологического развития площади на актуальных данных сейсморазведки было определено время образования разломов и зон макротрещиноватости.

Данный процесс осуществлялся с помощью седиментационных срезов по подошве отложений палеогена, кровле нижнего мела, арыскумского горизонта, кровле верхнепалеозойских образований, а также горизонта внутри палеозоя. В качестве основы для данного анализа использовался атрибут когерентность, рассчитанный из сейсмического куба временной миграции до суммирования (*рисунок 3*).

Из срезов видно, что сбросы в юго-западной части участка работ образовались в палеогеновое или даже более позднее время на этапе растяжения ЮТОБ.

На срезах по кровле арыскумского горизонта и в меньшей степени по кровле нижнего мела в центральной части площади исследования тектонические нарушения имеют признаки сдвиговой природы. На этих срезах отчетливо видны правосторонние латеральные смещения по разлому между Центральным и Южным поднятием, а также эшелонированная сеть нарушений на юго-западе участка (*рисунок 3*). Наличие горизонтальных дислокаций демонстрируют и смещения структурного плана по латерали начиная от кровли палеозоя и позднее (*рисунок 5*).

Таким образом, выявленные в центральной части площади тектонические нарушения в юрском и раннемеловом интервале интерпретируются как правосторонние сдвиги с амплитудой смещения до нескольких сотен метров.

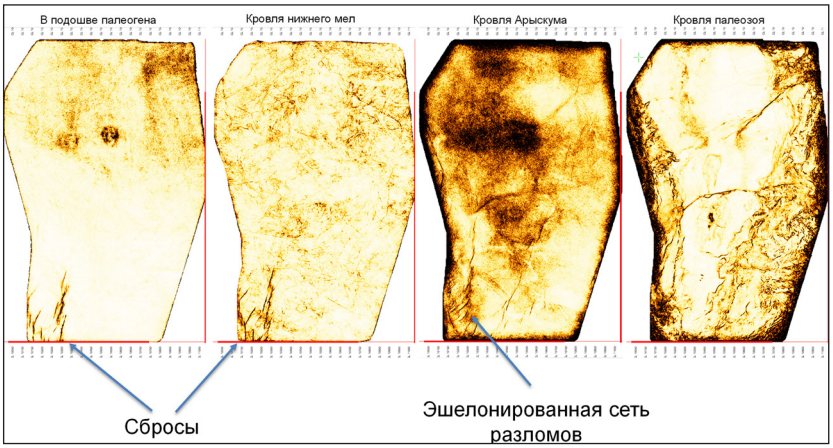

Рисунок 3 – **Распределение атрибута когерентность на разных стратиграфических срезах**

Точное время образование нарушений, разделяющих северный и южный купола Центрального поднятия, а также Южное поднятие от Центрального, представляет особенный интерес ввиду разного типа насыщающего флюида в данных ловушках (нефть в Центральном поднятии и газ в Южном поднятии).

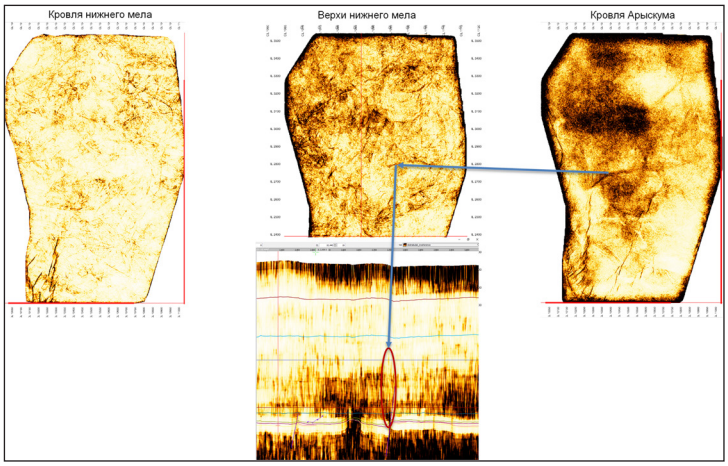

Рисунок 4 – **Определение времени последней реактивации нарушения между центральным и южным поднятиями**

Детальные срезы сейсмических атрибутов (когерентность, variance, chaos) показывают, что сдвиговые деформации между сводами Центрального поднятия проявляют себя вплоть до кровли арыскумского горизонта, а последние признаки их существования между Центральным и Южным поднятиями распространяются до залегающих выше по разрезу пород в верхах нижнего мела. В стратиграфически более молодых отложениях, начиная с кровли нижнего мела (ОГ II), признаки присутствия этих деформаций не наблюдаются (*рисунок 4*).

Таким образом, можно предположить, что формирование ловушек Центрального поднятия приходится на конец арыскумского времени, а отделение Южного

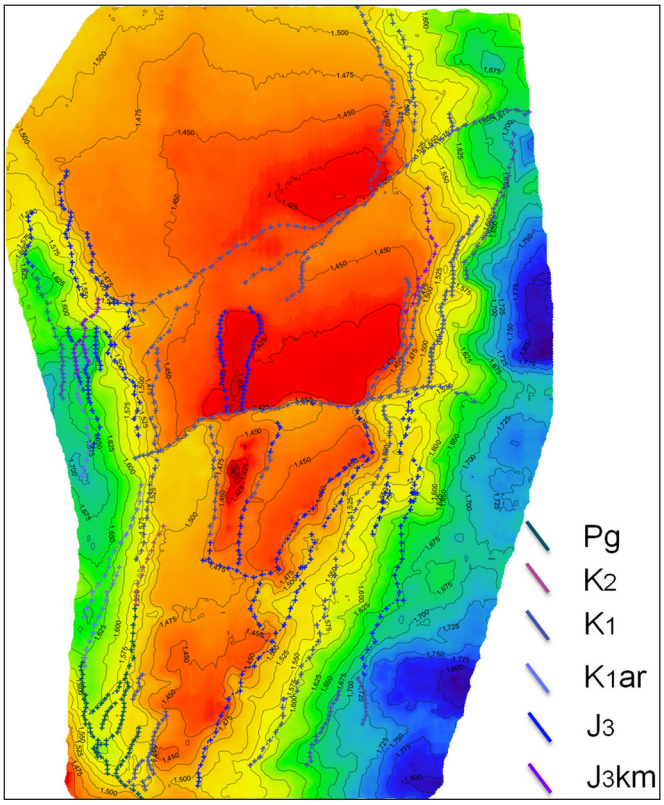

Рисунок 5 – **Определение возраста последней реактивации нарушений (структурная основа представлена картой изохрон по поверхности верхнего палеозоя)**

поднятия от Центрального произошло позднее, в конце раннего мела, что и можно считать временем окончательного формирования тектонически-экранированной ловушки УВ Южного поднятия.

На *рисунке 5* показана схема времени образования тектонических нарушений на примере временной карты по кровле верхнего палеозоя.

Необходимо отметить, что описанный выше анализ позволяет определить лишь возраст последней реактивации нарушений, что в сложной обстановке наложения нескольких фаз тектогенеза не всегда говорит о времени начала формирования структуры.

Для более полного понимания юрского и мелового этапов развития площади исследований необходимо рассмотреть ее геологическую эволюцию в доюрское время. К сожалению, залегающие глубже верхнепалеозойские образования в пределах площади исследования не освещены глубоким бурением в достаточной степени, чтобы делать однозначные выводы по их стратификации и литологическом составе. Разбурены они в интервале до первых десятков метров и представлены слабометаморфизированными верхнепалеозойскими карбонатными породами.

В сейсмическом волновом поле верхнепалеозойские комплексы пород (в интервале разреза 1500-3500 мс) по своему морфологическому облику неоднородны и не имеют площадного распространения.

Так, в южной части сейсмической съемки обособляется крупная холмообразная постройка, состоящая из нескольких разновозрастных сейсмофаций, которые нами были условно отнесены к позднедевонско-каменноугольному интервалу (D3, C1t, C2-3). Характер и конфигурация рефлекторов, их динамические и кинематические характеристики указывают на присутствие карбонатных и терригенных осадочных тел, возможно слабометаморфизованных и с невысокой степенью деформированности (*рисунок 6*).

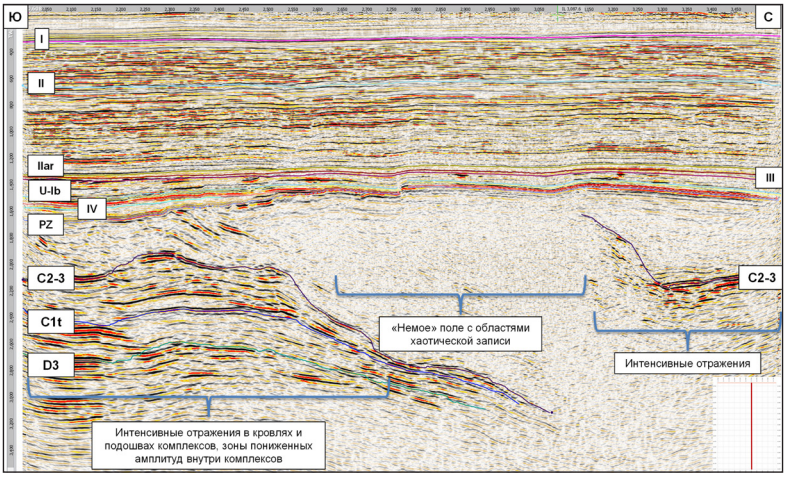

Рисунок 6 – **Неоднородности сейсмической записи в верхнепалеозойском интервале разреза**

Некоторые из выделенных в данном интервале сейсмофаций с определенной осторожностью можно отнести к телам рифовой природы, сформировавшимся на кромке верхнепалеозойского палеошельфа.

Центральная часть площади исследований, наоборот, характеризуется сейсмически «прозрачным» полем или же отражениями хаотического типа. Можно предположить, что эта зона была сформирована в результате надвига более древних пород девонского или даже более раннего возраста.

Косвенно на это указывает характер сейсмофаций в северной части площади исследований, представленных ансамблем интенсивных рефлекторов предположительно среднего-верхнего карбона, который существенно отличается от одновозрастных сейсмофаций на юге площади исследований. Идентифицировать сейсмофации в северной части площади исследований с вещественным составом и особенностями условий образования представляется затруднительным.

Важно отметить, что вскрытая скважинами прикровельная часть верхнепалеозойского интервала представлена сейсмически прозрачным полем записи, разительно отличающейся от более погруженных отложений на юге площади исследований.

Здесь стоит упомянуть, что на расположенном к северо-западу от площади исследований месторождении Кенлык были разбурены неметаморфизированные карбонатные породы девон-нижнекаменноугольного возраста, проницаемая часть которых представлена трещиновато-кавернозными известняками и оценивается как нефтегазонасыщенная [11].

Таким образом, имеются все основания полагать, что верхнепалеозойские образования на севере и юге площади исследований имеют квазиплатформенный облик и их ни коим образом нельзя отнести к консолидированному фундаменту.

Латеральная неоднородность верхнепалеозойских литофаций (сейсмофаций) наглядно проявляется на срезах сейсмических атрибутов (когерентность, спектральная декомпозиция, мгновенные амплитуда и фаза, доминантная частота, T-attenuation, variance, envelope).

Так, на *рисунке 7* приведен срез по атрибуту когерентность на времени 2300 мс, где уверенно обособляются три района.

В центре площади исследований выделяется крупный район с развитием хаотических сейсмофаций, интерпретируемый нами как зона распространения более древних метаморфизованных пород.

Район уверенной корреляции рефлекторов и присутствия крупного холмообразного тела с упорядоченной слоистостью и с квазиплатформенным генезисом отчетливо обосабливается на юге площади исследований (*рисунок 7*).

По принципу контрастности и характера проявления атрибута когерентность северная часть площади исследований занимает промежуточное положение, косвенно подтверждаемое присутствием сейсмофаций с интенсивными и непротяженными рефлекторами с сокращенным стратиграфическим диапазоном.

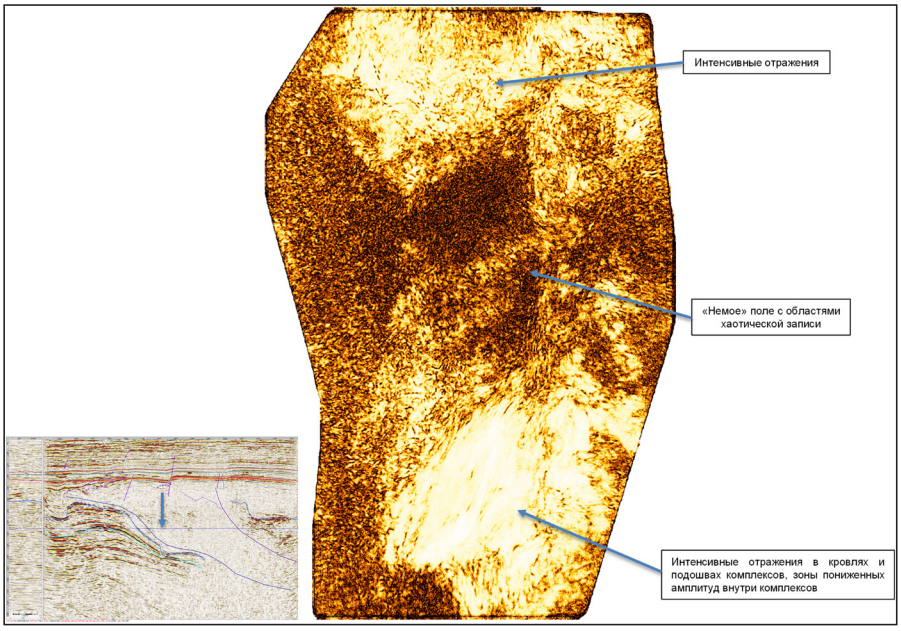

Рисунок 7 – **Срез когерентности в палеозое, 2300 мс**

По срезу спектральной декомпозиции на том же уровне (2300 мс) можно сделать заключение о выделении по верхнепалеозойским отложениям все тех же трех районов, условно названных южным, центральным и северным.

На юге площади исследований наблюдаются высокие амплитуды отраженных волн (*рисунок 8*), образующиеся вследствие резкой смены акустических жестко-

стей, что в свою очередь может свидетельствовать об изменении литологического состава или разной степени их уплотненности и деформированности.

К этому можно добавить появление низкочастотной составляющей отраженных волн, как правило, появляющейся в кровле карбонатных пород, что демонстрирует вероятное развитие рифовых фаций, как отмечалось выше.

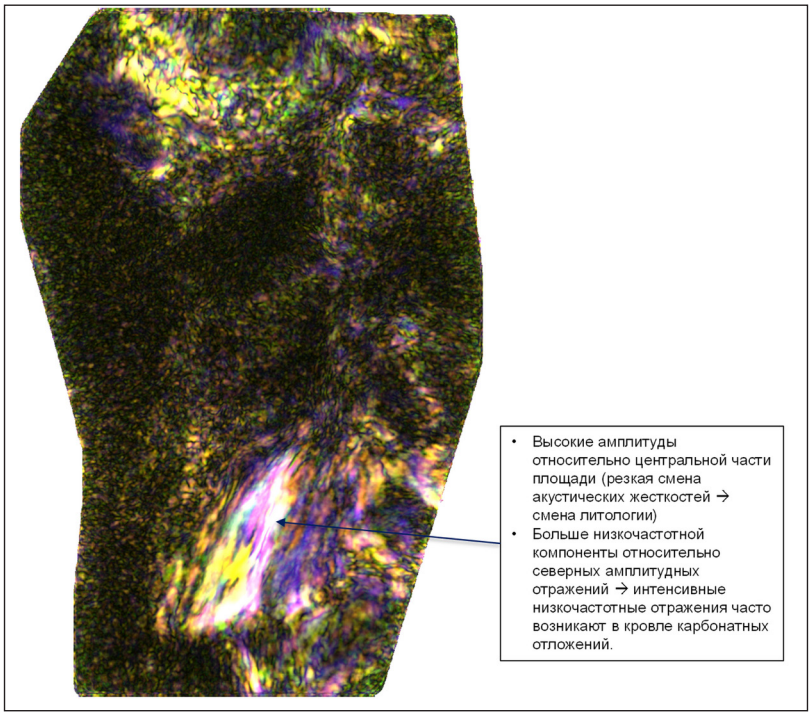

Рисунок 8 – **Срез спектральной декомпозиции в палеозое, 2300 мс**

В северном районе амплитуды отраженных волн, равно как и значения акустических жесткостей существенно снижаются, что идентифицирует уменьшение дифференцированности разреза по составу и физическим свойствам.

И, наконец, в центральном районе развитие хаотических сейсмофаций предопределило практическое отсутствие информации по атрибуту спектральная декомпозиция.

Схожее площадное дифференцирование заметно и на других сейсмических атрибутах, из которых отдельно можно упомянуть атрибут T-attenuation (*рисунок 9*), по которому на юге площади исследований выделяются зоны поглощения высоких частот. Появление таких аномалий свойственно карбонатному разрезу с зонами повышенной трещиноватости / разуплотнения.

Северный и центральный районы площади исследований по атрибуту T-attenuation не дифференцируются.

Кроме того, на основе набора сейсмических атрибутов, характеризующих амплитудно-частотные характеристики разреза была проведена классификация верхнепалеозойского интервала по форме сигнала (*рисунок 10*).

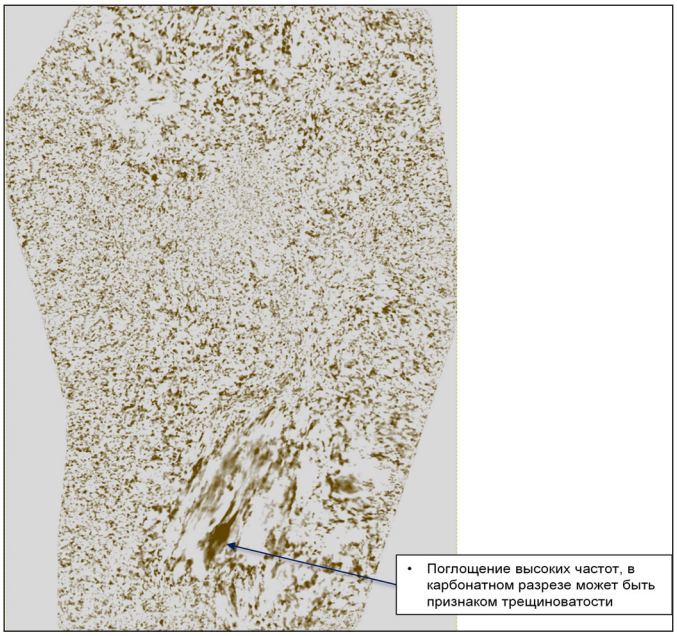

Рисунок 9 – **Срез атрибута T-attenuation в палеозое, 2300 мс**

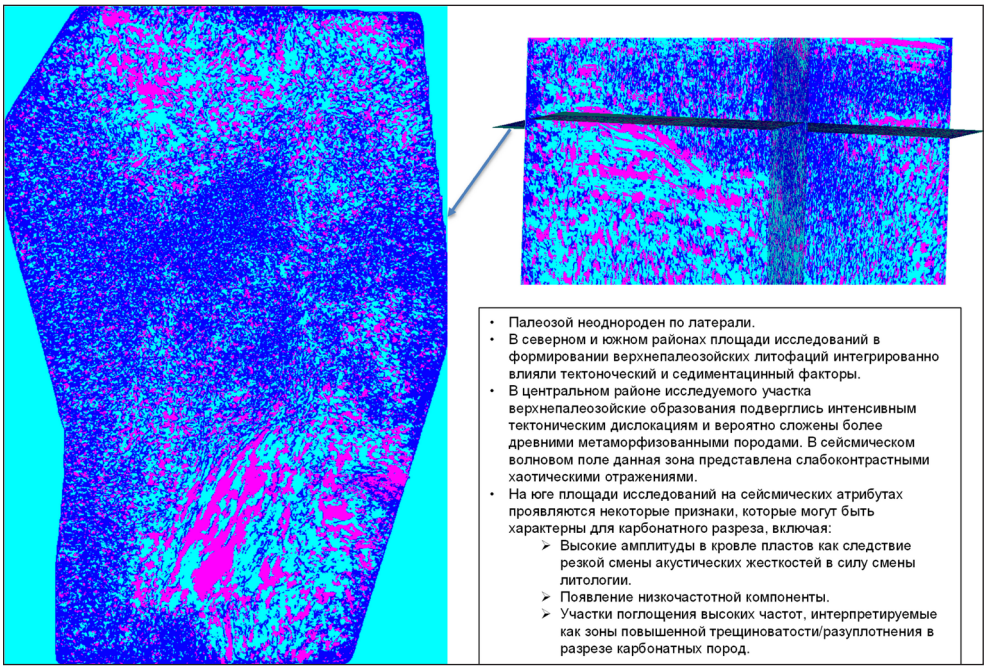

Рисунок 10 – **Классификация по форме сигнала, срез в верхнем палеозое на уровне 2300 мс**

Данный интегральный атрибут также прогнозирует разные сейсмические фации в южной и центральной частях площади.

Исходя из проведенного атрибутного анализа можно сделать следующие выводы:

• Подстилающий юру верхнепалеозойский комплекс представлен разновозрастными отложениями.

• Верхнепалеозойские отложения литологически неоднородны. По латерали они обладают резкой литофациальной замещаемостью.

• В северном и южном районах площади исследований в формировании верхнепалеозойских литофаций интегрированно влияли тектоноческий и седиментацинный факторы.

• В центральном районе исследуемого участка верхнепалеозойские образования подверглись интенсивным тектоническим дислокациям и вероятно сложены более древними метаморфизованными породами. В сейсмическом волновом поле данная зона представлена слабоконтрастными хаотическими отражениями.

• На юге площади исследований на сейсмических атрибутах проявляются некоторые признаки, которые могут быть характерны для карбонатного разреза, включая:

- Высокие амплитуды в кровле пластов как следствие резкой смены акустических жесткостей в силу смены литологии.

- Появление низкочастотной компоненты.

- Участки поглощения высоких частот, интерпретируемые как зоны повышенной трещиноватости/разуплотнения в разрезе карбонатных пород.

Наибольшую сложность представляет геологическое объяснение столь дифференцированного строения верхнепалеозойского комплекса. Анализируя отражения центральной части площади исследований на отдельных участках сейсмической съемки в данном интервале, можно обнаружить признаки пологих надвигов (*рисунок 11*). В данной концепции надвиги шарьяжного типа могли сформировать серию

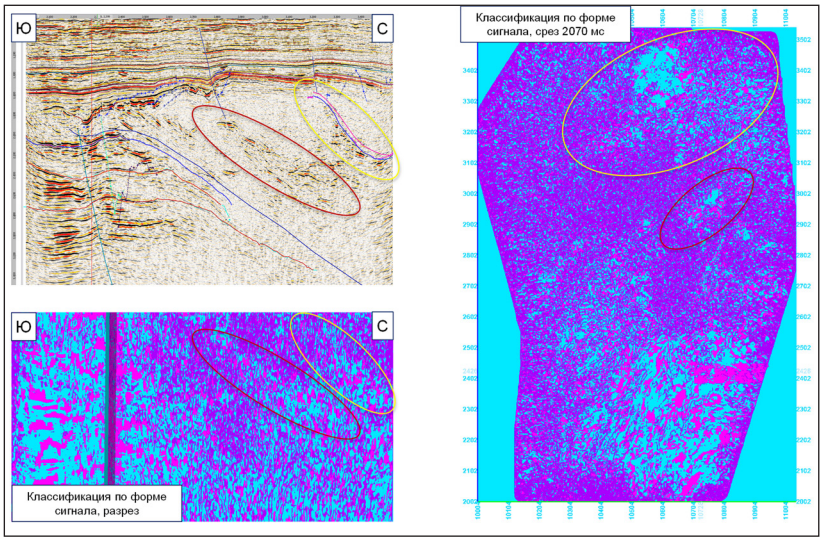

Рисунок 11 – **Признаки пологих надвиговых на сейсмических данных в верхнепалеозойском интервале разреза**

сменяющихся по горизонтали тектонических блоков, где южная часть площади представляет собой автохтонный блок, перекрытый в краевых частях аллохтоном центрального района. Автохтон на севере участка также частично перекрыт более древними отложениями аллохтона следующего надвига. Предполагается, что корневая зона надвигов уходит вглубь в северо-западном направлении.

Изучение опубликованной литературы не дало информации о присутствии надвигов в Арыскумском прогибе. Вместе с тем, надвиги (наряду со сдвигами), приуроченные к деформациям, вызванными перемещениями вдоль Таласо-Ферганского разлома упоминаются в работе [12].

Кроме того, есть свидетельства надвигов в Северо-Западном Каратау. В частности, в районе станции Тимур скважина 2П под меловым комплексом прошла 1600 м по карбонатам фамена-визе, пересекла надвиг и после верхнего фамена вошла в терригенно-карбонатные отложения с фауной серпухова – раннего башкира [13].

Таким образом, можно допустить наличие нарушений подобного типа и в регионе деформаций, связанных с Главным Каратауским разломом (ГКР), как части Каратау-Таласо-Ферганской (КТФ) тектонической зоны, где единообразная сдвиговая механика могла привести к аналогичным последствиям в виде не только вторичных сдвигов и сбросов, но и надвигов.

Так или иначе, но неопределенность в природе и механизме проявления возможных надвигов в Арыскумском прогибе сохраняется и требует отдельного научного исследования, подкрепленного новой фактологией (желательно в виде данных глубокого бурения с определением возраста вскрытого интервала верхнепалеозойского комплекса пород).

На *рисунке 12* приводится седиментационный срез по одному из атрибутов (Envelope) по условному горизонту $C_{2\text{-}3}$ в верхнепалеозойских отложениях, проинтерпретированному в соответствии с описанной выше концепцией о пологих надвигах. Данный срез также подтверждает сделанные ранее выводы о неоднородном составе палеозойского комплекса. Кроме того, на юге площади отчетливо выделяется смещение высокоамплитудной компоненты вдоль плоскости северо-восточного простирания. Данное смещение можно объяснить левосторонним сдвигом. Образование в позднем палеозое наряду со взбросами и левосторонних сдвигов описывается в работах Алексеева Д.В. и др. [7]. Нельзя исключать, что, как и в случае более поздних сдвиговых деформаций юрского времени, данный левосторонний сдвиг северо-восточного простирания является вторичным по отношению к более крупному правостороннему сдвигу северо-западного направления, который находится за пределами сейсмической съемки 3Д. Небольшие размеры съемки не позволяют однозначно ответить на вопрос о природе данного сдвига.

Таким образом, по результатам интерпретации сейсмических данных МОГТ-3D можно восстановить следующую краткую картину тектонической эволюции площади исследований:

В позднем карбоне – перми вследствие закрытия Уральского палеоокеана и столкновения Восточно-Европейской платформы и Казахского континента сформировался компрессионный тектонический режим (направление сжатия СВ-ЮЗ). В этот период на площади исследований заложились взбросы северо-восточного простирания и левосторонний сдвиг на юге участка.

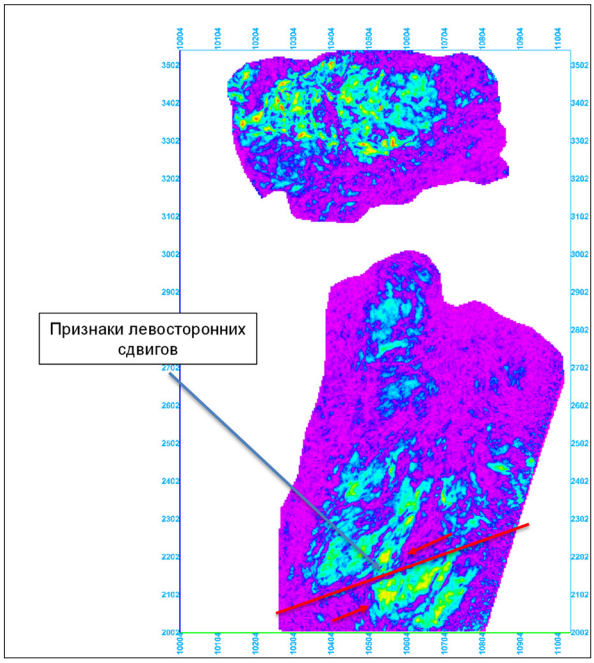

Рисунок 12 – **Срез атрибута Envelope вдоль условного горизонта C_{2-3} в палеозое**

В конце *пермского времени* компрессионные процессы привели к скольжению кратонов друг относительно друга и заложению регионального правостороннего сдвига – КТФ и его северо-западной части в виде Главного Каратауского разлома.

Дальнейшее скольжение привело к компрессионному сжатию по направлению СЗ-ЮВ, вероятно сопровождавшееся закрытием северной части Палеотетиса. В этот же период была сформирована предполагаемая система пологих позднепалеозойских надвигов шарьяжного типа, имеющих северо-восточное простирание. Возможно, надвиги были сформированы вследствие упора с северо-запада, обеспеченного консолидированными породами протерозоя и нижнего палеозоя в районе Мынбулакской седловины. Однако на данный момент как наличие самих надвигов, так и механизм их образования стоит рассматривать лишь как концепцию, требующую подтверждения и уточнения.

Конец перми – средняя юра. После завершения этапа герцинского тектогенеза начинается формирование пермско-триасовых рифтов и заложение Торгайской мезозойской рифтовой системы. На данном этапе образовались мезозойские грабены и сбросы субмеридионального и северо-западного направления.

В *кумкольское время* в результате правостороннего сдвига по линии ГКР были заложены субширотные взбросы, началось формирование рассматриваемых структур и их отделение друг от друга.

В период с конца *кумкольского времени* и до окончания формирования *арыскумского горизонта* активация вторичных сдвигов (вероятно, Ащисайский правосторонний сдвиг) привела к ситуации, когда рассматриваемый участок оказался под влиянием тектонических подвижек со стороны двух правосторонних сдвигов –

ГКР с юго-запада и Ащисайского с северо-востока. Расположение между двумя правосторонними сдвигами одной направленности создает тектонический режим, близкий к левостороннему сдвигу той же направленности. На *рисунке 13* приведен эллипсоид напряжений для данной ситуации, согласно которому во время этой фазы участок подвергался сжатию в субмеридианальном направлении и горизонтальным смещениям по линии ЮЗ-СВ. В результате этих процессов начавшие свое формирование в кумкольское время складки развернуло против часовой стрелки и немного сместило по горизонтали друг относительно друга (*рисунок 13*).

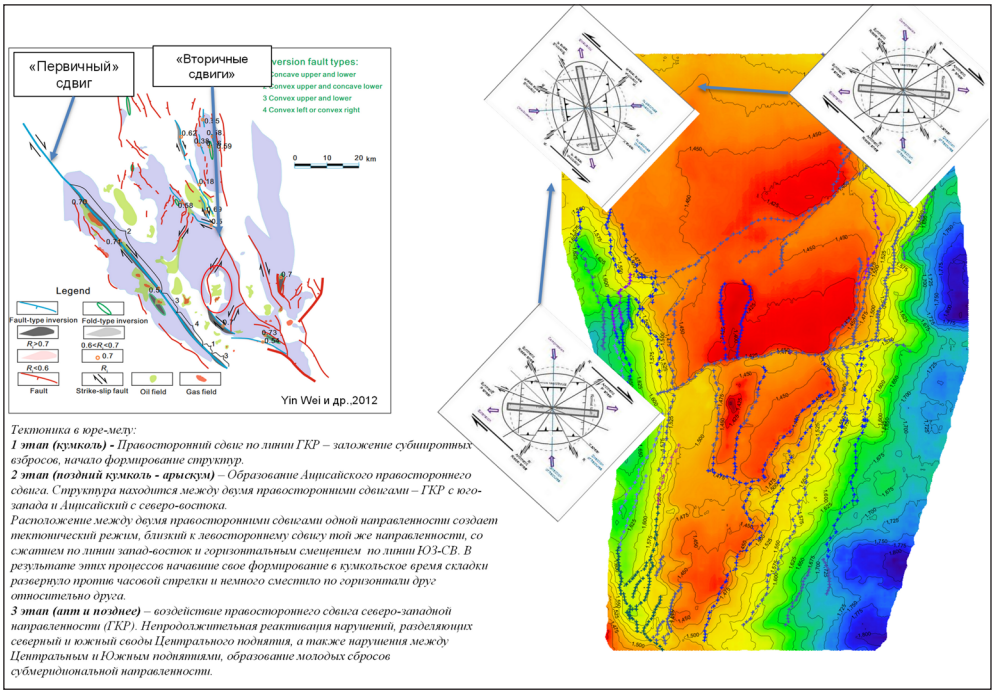

Рисунок 13 – **Влияние сдвиговых тектонических процессов начиная с кумкольского времени**

Сведения о последней стадии реактивации ГКР в разных научных публикациях отличаются и варьируют от среднеюрского времени [7] до позднемелового [8], при этом развитие правого сдвига вдоль КТФ южнее ГКР продолжалось и в позднем кайнозое [7]. Авторы данной работы полагают, что в *аптское время* участок все еще оставался под воздействием правостороннего сдвига северо-западной направленности (ГКР). Признаки этого на основе сейсмических данных были описаны ранее. Вероятно, в это время произошла непродолжительная реактивация нарушений, разделяющих северный и южный своды Центрального поднятия, а также нарушения между Центральным и Южным поднятиями. Результатом воздействия ГКР стало и образование молодых сбросов субмеридиональной направленности.

На *рисунке 14* приведена схема времени заложения/реактивации и типов нарушений в наиболее значимые временные отрезки тектонического развития исследуемой площади.

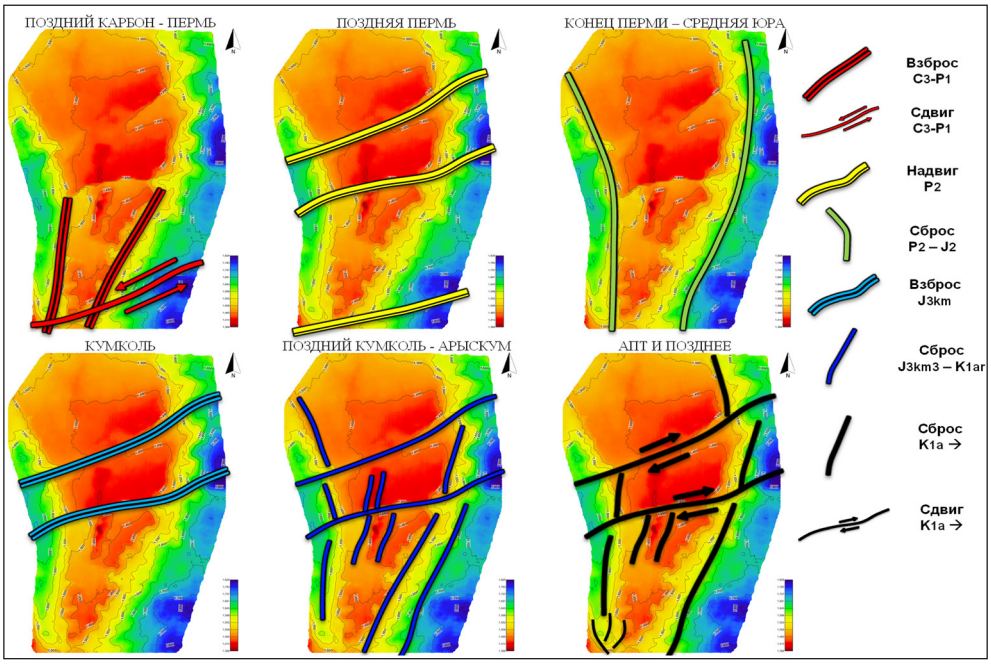

Рисунок 14 – **Схема времени заложения и типов нарушений в основные этапы тектонического развития площади**

Заключение и выводы. Примененный алгоритм интерпретации сейсмических данных позволил детализировать строение мезозойского комплекса, к которому приурочено действующее нефтегазовое месторождение в Арыскумском прогибе Южного Торгая, а также по-новому взглянуть на верхнепалеозойский интервал, с которым могут быть связаны будущие перспективы региона.

Итеративный подход к интерпретации данных высокоплотной сейсморазведки МОГТ-3D при совместном анализе с региональными представлениями о тектонике дал возможность установить основные этапы формирования структуры в мезозойское и кайнозойское время под влиянием ГКР и многочисленных оперяющих и вторичных нарушений меньшего порядка.

Данные сейсморазведки МОГТ-3D позволяют сделать вывод о неоднородном литологическом строении верхнепалеозойского комплекса, где возможны карбонатные отложения и зоны повышенной трещиноватости. Данная возрастная и литологическая неоднородность по латерали возможно обусловлена наличием пологих надвигов пермского времени образования, сформировавших «чешуйчатое» строение палеозойского интервала. Вместе с тем, для подтверждения этой концепции необходимы дополнительные данные глубокого бурения и дальнейшее изучение надвиговых структур и их влияния на тектонические процессы региона.

В работе затрагивается проблематика взаимосвязанного анализа локальных и региональных тектонических элементов, а также необходимость учета масштабности исследований для построения согласованной структурной модели месторождения. Использованный подход, по мнению авторов, позволяет минимизировать противоре-

чия между результатами «рутинной» интерпретации локальных сейсмических данных, осуществляемой в рамках производственного процесса, и фундаментальными представлениями о тектонике региона, выражаемыми научным сообществом.

ЛИТЕРАТУРА

1 Буш В.А., Гарецкий Р.Г., Кирюхин Л.Г. Тектоника эпигеосинклинального палеозоя Туранской плиты и её обрамления. // Серия - Труды геологического института. Наука, Москва, 1975 г. [Bush V.A., Garetskiy R.G., Kiryukhin L.G. Tektonika epigeosinklinal'nogo paleozoya Turanskoy plity i yeyo obramleniya. // Seriya - Trudy geologicheskogo instituta. Nauka, Moskva, 1975 g.]

2 Вольвовский И.С., Гарецкий Р.Г., Шлезингер А.Е., Шрайбман В.И. Тектоника Туранской плиты. // Серия - Труды геологического института. Наука, Москва, 1966 г. [Vol'vovskiy I.S., Garetskiy R.G., Shlezinger A.E., Shraybman V.I. Tektonika Turanskoy plity. // Seriya - Trudy geologicheskogo instituta. Nauka, Moskva, 1966 g.]

3 Парагульгов Т.Х., Парагульгов Х.Х., Фазылов Е.М., Мусина Э.С. Южно-Торгайский осадочный бассейн – вещественный состав и нефтегазоносность домезозойских образований. // Известия НАН РК. Сер. геол. и техн. наук. – 2013. - №1. – С.44-54 [Paragul'gov T.Kh., Paragul'gov Kh.Kh., Fazylov E.M., Musina E.S. Yuzhno-Torgayskiy osadochnyy basseyn – veshchestvennyy sostav i neftegazonosnost' domezozoyskikh obrazovaniy. // Izvestiya NAN RK. Ser. geol. i tekhn. nauk. – 2013. - №1. – S.44-54.]

4 Парагульгов Х.Х., Парагульгов Т.Х., Мусина Э.С. Корреляция палеозоид востока Урала, Тянь-Шаня и запада Центрального Казахстана. // Известия НАН РК. Сер. геол. и техн. наук. – 2016. - №6. – С.22-32. [Paragul'gov Kh.Kh., Paragul'gov T.Kh., Musina E.S. Korrelatsiya paleozoyid Vostoka Urala, Tyan'-Shanya i zapada Tsentral'nogo Kazakhstana. // Izvestiya NAN RK. Ser. geol. i tekhn. nauk. – 2016. - №6. – S.22-32.]

5 Жолтаев Г.Ж., Парагульгов Т.Х. Геология нефтегазоносных областей Казахстана (геология и нефтегазоносность Южно-Торгайской впадины). Учебное пособие. Алматы: ИИА Айкос, 1998. 287 с. [Zholtaev G.Zh., Paragul'gov T.Kh. Geologiya neftegazonosnykh oblastey Kazakhstana (geologiya i neftegazonosnost' Yuzhno-Torgayskoy vpadiny). Uchebnoe posobie. Almaty: IIA Aykos, 1998. 287 s.]

6. Абетов А.Е., Муканов Д.Б. История геологического развития Южно-Тургайского бассейна в домеловое время. // Известия НАН РК. Сер. геол. и техн. наук. – 2023. - №4. – С.6-23. https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.295 [Abetov A.E., Mukanov D.B. Istoriya geologicheskogo razvitiya Yuzhno-Turgayskogo basseyna v domelovoe vremya. // Izvestiya NAN RK. Ser. geol. i tekhn. nauk. – 2023. - №4. – S.6-23. https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.295]

7 Алексеев Д.В., Быкадоров В.А., Волож Ю.А. и Сапожников Р.Б. Кинематический анализ юрских грабенов Южного Тургая и роль мезозойского этапа в истории Каратау-Таласо-Фергнаского сдвига (Южный Казахстан и Тянь-Шань). // Геологический институт РАН, 2017 г [Alekseev D.V., Bykadorov V.A., Volozh Yu.A. i Sapozhnikov R.B. Kinematicheskiy analiz yurskikh grabenov Yuzhnogo Turgaya i rol' mezozoyskogo etapa v istorii Karatau-Talaso-Ferganskogo sdviga (Yuzhnyy Kazakhstan i Tyan'-Shan'). // Geologicheskiy institut RAN, 2017 g.]

8 Yin Wei, Fan Zifei and others. Characteristics of strike-slip inversion structures of the Karatau fault and their petroleum geological significances in the South Turgay Basin, Kazakhstan. // Petroleum Science, 2012, Vol.9, p.444-454. https://doi.org/10.1007/s12182-012-0228-3

9 Abetov, A.E., Mukanov D.B. Structure and interpretation of the anomalous magnetic field of the South Turgay petroleum region. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2023, (5): p.005 – 011. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-5/005

10 Klarner O., Khabibulin E. and Shestakov A. Interpretation of a Dextral Strike Slip Fault System for Fracture Prediction in the Kozhasay Field, Pre Caspian Basin. // European Association of Geoscientists & Engineers. 2nd EAGE International Conference KazGeo, Oct 2012, cp-315-00029. ISBN: 978-90-73834-37-8. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.20142918

11 Муратова С.К., Ахметжанов А.Ж., Ли Л.В., Кенжегалиева Ж.М., Музаппарова А.Б. Закономерности размещения нефтегазоносных площадей Южно-Торгайской нефтегазоносной области. // World Science, Dec 2015, #4(4) Vol.1, p.16-19, ISSN 2413-1032 [Muratova S.K., Akhmetzhanov A.Zh., Li L.V., Kenzhegalieva Zh.M., Muzapparova A.B. Zakonomernosti razmeshcheniya neftegazonosnykh ploshchadey Yuzhno-Torgayskoy neftegazonosnoy oblasti. // World Science, Dec 2015, #4(4) Vol.1, p.16-19, ISSN 2413-1032]

12 Konopelko, D., Seltmann, R., Apayarov, F., Belousova, E., Izokh, A., Lepekhina, E., 2013. U-Pb–Hf zircon study of two mylonitic granite complexes in the Talas-Fergana fault zone, Kyrgyzstan, and Ar–Ar age of deformations along the fault. // J. Asian Earth Sci. 73, 334–346. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.04.046.

13 Быкадоров В.А.., Сапожников Р.Б., Антипов М.П. Палеозойские отложения Сырдарьинской впадины: строение, геодинамика, оценка нефтегазоносности. // Геология нефти и газа. – 2016. - №3. – С.28-37. [Bykadorov V.A., Sapozhnikov R.B., Antipov M.P. Paleozoyskie otlozheniya Syrdar'inskoy vpadiny: stroenie, geodinamika, otsenka neftegazonosnosti. // Geologiya nefti i gaza. – 2016. - №3. – S.28-37.]

14 Волож Ю.А., Быкадоров В.А, Антипов М.П. и Сапожников Р.Б. Особенности строения палеозойских отложений Тургайско-Сырдарьинского и Устюртского регионов (в связи с перспективами нефтегазоносности глубоких горизонтов осадочного чехла). // Геологический институт РАН, 2016 г [Volozh Yu.A., Bykadorov V.A, Antipov M.P. i Sapozhnikov R.B. Osobennosti stroeniya paleozoyskikh otlozheniy Turgaysko-Syrdar'inskogo i Ustyurtovskogo regionov (v svyazi s perspektivami neftegazonosnosti glubokikh gorizontov osadochnogo chekha). // Geologicheskiy institut RAN, 2016 g.]

15 Даукеев С.Ж., Воцалевский Э.С., Парагульгов Х.Х. и др. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. // Нефть и газ. Том третий. Алматы, 2002 г. [Daukeev S.Zh., Votsalevskiy E.S., Paragul'gov Kh.Kh. i dr. Glubinnoye stroenie i mineral'nye resursy Kazakhstana. // Neft' i gaz. Tom tretiy. Almaty, 2002 g.]

16 Филипьев Г.П., Цирельсон Б.С., Мурсалимов С.Д., Штыренко Л.С., Альпаев А.А. О соотношении структурных планов триас-юрских и мел-кайнозойских отложений Арыскумской зоны Южного Тургая в связи с нефтегазоносностью // Изв. АН Каз. ССР. Сер. геол. 1986. № 4. С. 41–50. [Filip'yev G.P., Tsirel'son B.S., Mursalimov S.D., Shtyrenko L.S., Al'paev A.A. O sootnoshenii strukturnykh planov trias-yurskikh i mel-kaynozoyskikh otlozheniy Aryskumskoy zony Yuzhnogo Turgaya v svyazi s neftegazonosnost'yu // Izv. AN Kaz. SSR. Ser. geol. 1986. № 4. S. 41–50.]