

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/6_2015

УДК 551.24:553.98(470.1+470.4/.5)

Соборнов К.О.

ООО «Северо-Запад», Россия, Москва, ksobornov@yandex.ru

СТРУКТУРА СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСОВ И ПЕРСПЕКТИВА ОТКРЫТИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СКЛАДЧАТОМ ПРЕДУРАЛЬЕ

Изучение строения и нефтегазоносности складчатых поясов мира показывает, что из-за сложности строения крупные месторождения нефти и газа в их пределах могут открываться спустя многие десятилетия после начала их опоскования. Использование опыта изучения складчатых поясов и применение новых геофизических и буровых технологий может дать новые крупные открытия и в складчатом Предуралье. В пользу этого свидетельствуют большая площадь перспективных районов, доказанная продуктивность их нефтегазовых систем, чрезвычайное многообразие перспективных объектов. Этот район обладает развитой нефтегазовой инфраструктурой, что позволит снизить затраты на геологоразведочные работы и сократить их сроки.

Ключевые слова: крупные месторождения, поиски нефти и газа, новые направления работ, Уральский складчатый пояс.

Одной из наиболее острых проблем современной нефтегазопроисковой геологии является сокращение размеров запасов вновь открываемых месторождений [Государственный доклад..., 2014]. Особенно заметно она проявляется в Западной Сибири, Волго-Урале и на Северном Кавказе, основных нефтегазодобывающих районах страны. Эта тенденция наметилась давно, однако в последнее время она стала принимать угрожающий размах. Она является одной из главных причин роста себестоимости добычи нефти и снижения эффективности реализуемых нефтегазовых проектов. Одним из следствий этого является падение инвестиционной привлекательности новых геологоразведочных проектов.

Сокращение числа крупных открытий рассматривается как результат роста изученности основных нефтегазоносных бассейнов России. Широко распространено представление, что эта тенденция находит свое объяснение в рамках принципа В. Парето, согласно которому 20% усилий дают 80% результата, а последующие 80% усилий - лишь остальные 20% результата. Применительно к нефтегазопроисковой геологии этот вывод позволяет предполагать, что большинство крупных месторождений открывается на ранней стадии изучения бассейнов; вслед за этим происходит снижение эффективности геологоразведочных работ (ГРП). В соответствие с этим выводом, можно было бы предполагать, что тенденция к снижению размеров вновь открываемых месторождений в старых районах отражает фундаментальные свойства геологии нефтегазоносных бассейнов и не может быть изменена. По мнению многих экспертов, крупные открытия традиционного

типа следует искать за пределами зрелых нефтегазоносных районов. В России к их числу относятся главным образом арктические шельфы, а также слабоизученные районы Восточной Сибири и Дальнего Востока. В этой связи возникает вопрос - так ли это? А если у этого правила есть исключения, то, что их определяет?

Исключения из правила «большое открывается первым»

Рассмотрение мирового опыта показывает, что отмеченная тенденция неуклонного снижения величины новых открытий в зрелых бассейнах отнюдь не универсальна. За последние два десятилетия новые крупные открытия были сделаны во многих регионах, включая ряд зрелых нефтегазоносных бассейнов. К ним относятся складчатые обрамления бассейна Ориноко в Венесуэле, складчатый пояс Загрос на территории Ирана и Ирака, складчатые обрамления Таримского бассейна в Китае [Xu Shilin et al., 2004; Cooper, 2008; Roeder, 2010 и др.]. Примечательно, в ряде случаев размеры новых открытий значительно превосходили размеры своих предшественников. Даже в таком зрелом нефтегазоносном районе как Скалистые Горы в США несколько лет назад (2004 г.) было открыто крупное месторождение легкой нефти Ковенант [Chidsey et al., 2007]. Оно стало крупнейшим открытием в США за несколько последних десятилетий. Значительный прирост запасов традиционной нефти в последние годы получен в США в южной бортовой части зрелого бассейна Анадарко за счет неструктурных ловушек [LoCricchio, 2014]. Следует учитывать, что перечисленные примеры не касаются высокопродуктивных глубоководных (Мексиканский залив, Бразилия, Западная Африка) и арктических районов, сверхглубоких горизонтов, которые были технически не достижимы в прошлом, а также углеводородов сланцевых толщ и тяжелых нефтей.

В большинстве случаев новые открытия в старых районах были связаны с существенным пересмотром «классических» представлений о строении, что приводило к формированию новых нефтегеологических парадигм [Biteau..., 2014]. Это стало возможным за счет широкого применения передовых геологических гипотез и использования инновационных геофизических и буровых технологий. На их основе была проведена переинтерпретация накопленных данных и выделение новых типов перспективных направлений работ (плейев). Отсутствие опыта выявления таких объектов, а также низкая информативность применявшихся методов исследования не позволяли открыть эти месторождения раньше. В целом эти результаты показывают, что районы, содержащие несколько относительно независимых направлений работ, могут не вписываться в правило «большое открывается первым». Вместе с тем, это не означает, что закономерность В. Парето не верна. Она вполне удовлетворительно описывает динамику открытий, если применяется отдельно для определенного направления работ. В тех, случаях, где возникают

дополнительные новые направления, успешность ГРП следует рассматривать отдельно для каждого из соответствующих направлений. Это связано с тем, что распределение залежей в них определяется разными факторами. Кроме того, их освоение требует использования различного арсенала поисковых технологий и уровня компетенций. Как результат крупные открытия могут быть сделаны десятилетия спустя от начала ГРП.

Рассмотрение новых открытий в старых районах показывает, что общим для них является относительная сложность геологического строения, присущая различным складчатым поясам. Часто она выражается в дисгармоничности структурных планов на разных глубинных и стратиграфических уровнях. Структурные несогласия в большинстве случаев обусловлены развитием складчато-надвиговых деформаций и структурной расслоенностью, многофазностью складчатости, наличием мобильных солей и мощных глинистых толщ. Характерным является изменчивость литолого-стратиграфического состава осадочного чехла, формировавшегося на континентальных окраинах, в рифтовых зонах, предгорных прогибах, наличие в нем стратиграфических перерывов и несогласий.

Примером строения зрелого района, где продолжают большие открытия, может служить складчатый пояс Загрос, где первые открытия были сделаны более века назад. Особенности строения этого района показывает сейсмический разрез в районе гигантского нефтяного месторождения Гечсаран в Иране (рис. 1). Как видно высокоамплитудные надвиговые складки, образованные олигоцен-миоценовыми продуктивными карбонатными отложениями свит Асмари и Сарвак, не имеет отражения в поверхностной геологии. Более того, в ряде случаев крупные антиклинальные складки нижнего структурного уровня расположены под синклиналиями в верхах осадочной толщи разреза. Дисгармоничность структур и верхнего верхнемиоцен-четвертичного комплекса компенсируется перераспределением толщин соленосных отложений свиты Гечсаран. Эти структурные условия традиционно затрудняли изучение условий залегания нижнего продуктивного этажа. В то же время они позволяют выявлять новые перспективные объекты за счет применения современных технологий, что приносит крупные открытия до настоящего времени.

Анализ данных по нефтегазоносным бассейнам России также дает наглядные примеры нахождения новых направлений работ, что обеспечивает новый подъем добычи нефти и газ спустя несколько десятилетий после начала изучения. Наиболее яркими примерами являются открытия девонской нефти Волго-Урала и подсолевых залежей в Прикаспийском бассейне. Применительно к проблеме нефтегазоносного потенциала складчатых поясов большой интерес в этом отношении представляет складчатый борт Терско-Каспийского прогиба (рис. 2).

Промышленная нефтегазоносность этого района была установлена уже в конце XIX века. На первом этапе освоения его нефтегазоносного потенциала залежи нефти были обнаружены в антиклинальных ловушках, сложенных миоценовыми песчаниками. С некоторыми складками были связаны выходы нефти. Эти структуры залежали на малых глубинах, что позволяло выявлять их поверхностной геологической съемкой. Последовательное разбуривание этих складок в Терско-Сунженской зоне дало быстрый прирост запасов, а их разработка обеспечила значительную часть добычи нефти в России в первой трети прошлого века. По мере исчерпания запасов этих залежей, поиски были направлены на более глубокие горизонты. При этом предполагалось, что структурный план мезозойских отложений будет соответствовать миоценовому. Однако, как оказалось, это было не так. Многие глубокие скважины не достигли своей цели. Вместо ожидаемых меловых известняков они вскрывали 2-3-х кратно утолщенные майкопские глины, затронутые сложными деформациями и находящимися в условиях аномально высокого пластового давления.

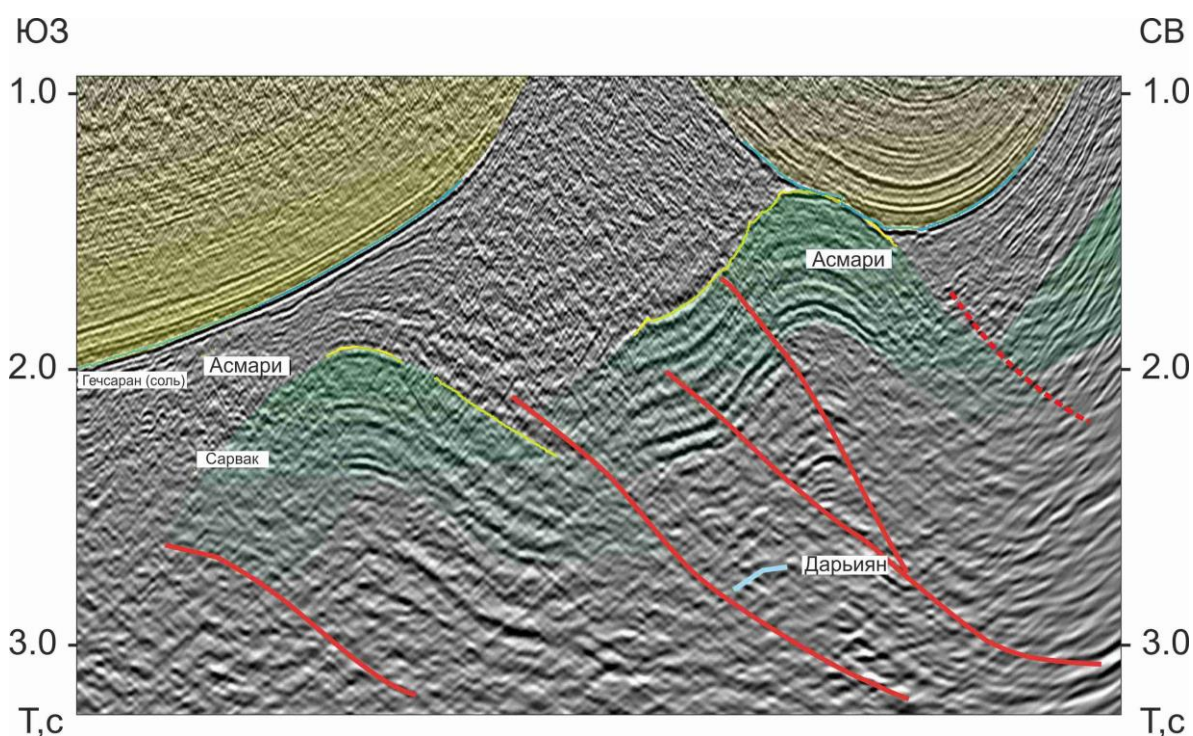


Рис. 1. Сейсмический разрез складчатого пояса Загрос в районе месторождения Гечсаран ([Sherkati, Letouzey, 2004] с модификациями)

После целого ряда неудач в 1954 г. на месторождении Карабулак была открыта нефтяная залежь в верхнемеловых карбонатах. Впоследствии были обнаружены высокодебитные залежи легкой нефти и газа в верхнеюрско-меловых отложениях на других площадях, причем запасы новых залежей существенно превышали запасы миоценовых

залежей. Общим для многих залежей явилось то, что своды структур по меловым отложениям были значительно смещены по отношению к миоценовым. Интерпретация материалов бурения, геологического картирования с использованием сейсмических данных дает основание полагать, что причиной установленного несоответствия структурных планов является наличие своеобразных вдвиговых структур в осадочном чехле [Дотдугев, 1986; Соборнов, 1988].

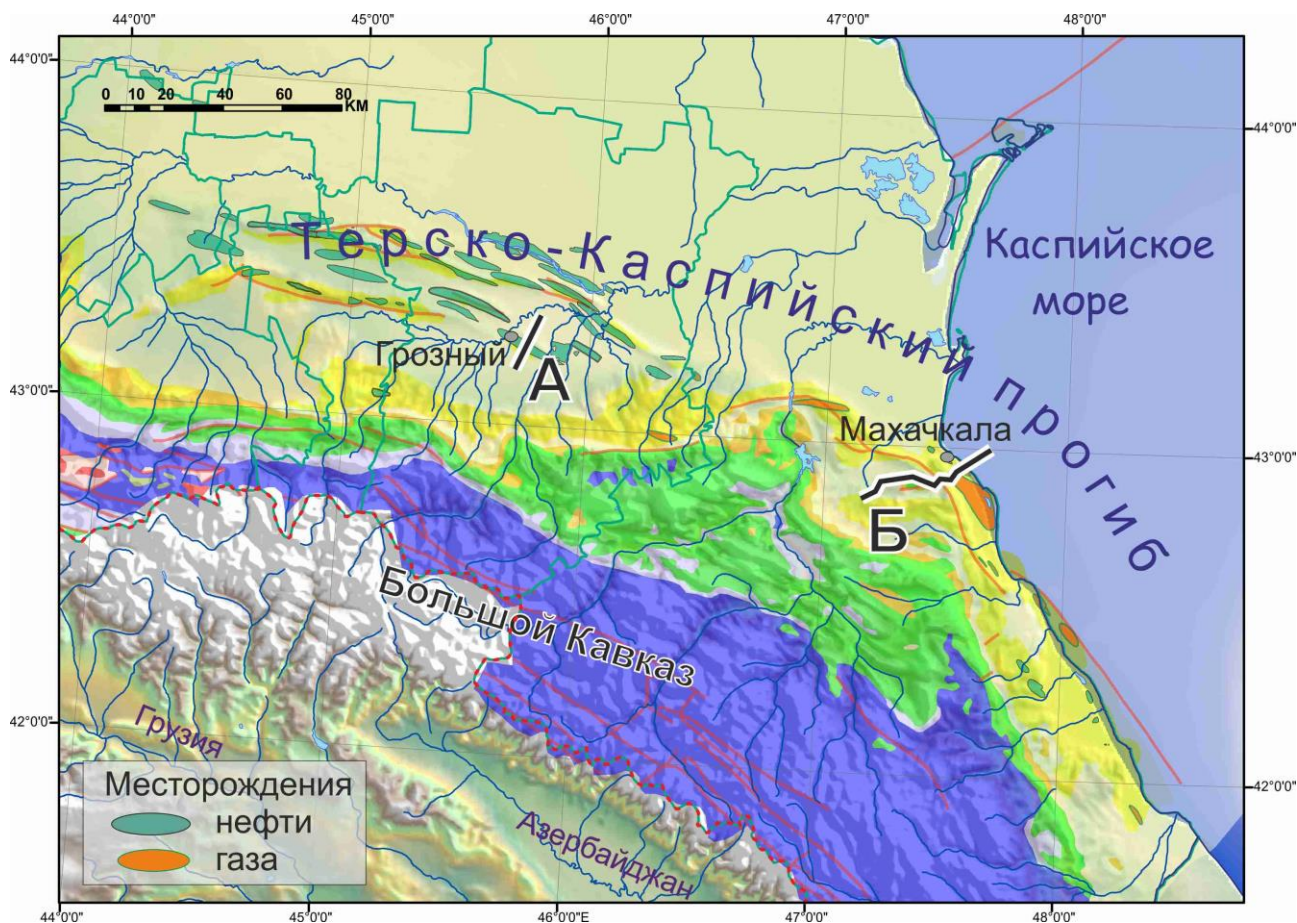


Рис. 2. Обзорная схема складчатого борта Терско-Каспийского прогиба

А и Б – линии сейсмических разрезов на рис. 3 и 4.

Структурные соотношения различных структурно-стратиграфических комплексов показаны на сейсмическом разрезе, пересекающий Октябрьскую антиклиналь (рис. 3). Это одно из крупнейших месторождений нефти Северного Кавказа. Как можно видеть, положение свода миоценовой складки, которая отчетливо выражена в приповерхностных слоях, смещено относительно свода по юрско-меловым отложениям на примерно 2-3 км. Причина состоит в структурной расслоенности осадочного чехла и существовании вдвиговых дуплексных деформаций. Последние представляют собой надвиговые пластины, ограниченные снизу и сверху пологими разрывами, которые сливаются перед ее фронтом.

Подошвенные надвиги приурочены преимущественно к верхнеюрским солям, а кровельные – к глинам майкопской серии (олигоцен-нижний миоцен). Перемещение этих пластин в сторону прогиба приводило к расщеплению осадочного чехла и «подкожному» формированию крупных складок в верхнеюрско-меловых отложениях, которые не имели прямого отображения в вышележащих слоях. Складки в миоценовых слоях формировались за счет перемещения по кровельным надвигам нижележащих пластин. Подобно солям Гечсаран в приведенном ранее примере, пластичные глины майкопской серии маскировали несоответствие структурных планов на этих уровнях за счет вариаций толщин.

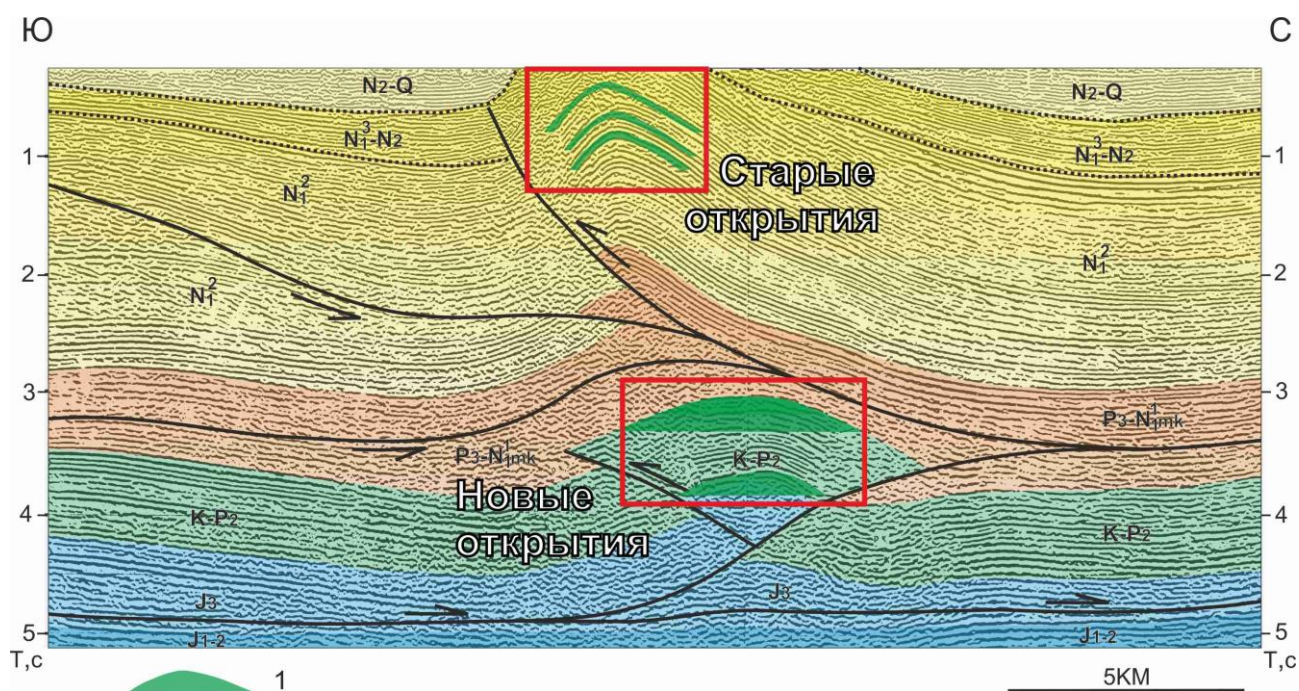


Рис. 3. Интерпретированный сейсмический разрез Октябрьской антиклинали, Терско-Сунженская складчатая зона, Терско-Каспийский прогиб

Положение разреза см. рис. 1, профиль А. 1 - залежь нефти. Стратиграфические обозначения: J1-2 – нижняя-средняя юра, J3 – верхняя юра, K-P2 - мел-эоцен, P3-N1¹mk - олигоцен-нижний миоцен (майкопская свита), N1² - средний миоцен, N1³-N2 - верхний миоцен-плиоцен, N2-Q - плиоцен четвертичный.

Другим примером, крупных «поздних» открытий в пределах старейшего нефтегазоносного района складчатого борта Терско-Каспийского прогиба является Димитровское газоконденсатное месторождение, открытое в 1980 г. Интерпретированный сейсмический разрез, иллюстрирующий строение месторождения и прилегающих структур, показан на рис. 4. До проведения сейсморазведки этот район рассматривался как перспективный на поиск ловушек связанных с выклиниванием песчаных пластов в моноклинально залегающих миоценовых отложениях. Это следовало из представления о подобии структурных планов мезозойских и кайнозойских отложений. После проведения

сейсморазведки стало ясно, что структурный план юрско-меловых отложений не соответствует миоценовому. По сейсмическим данным в них были намечены антиклинальные блоки. Их опоскование дало крупное открытие в меловых отложениях. Как и в предыдущем примере, несоответствие структурных планов компенсируется вариациями толщин майкопских глин. Применение структурной модели дуплексного вдвига для интерпретации строения региона позволило дать объяснение тому факту, что разрывы, выходящие на поверхность, имеют южную, анти-кавказскую вергенцию. Новые сейсмические данные дают основание полагать, что в данном регионе возможны новые открытия.

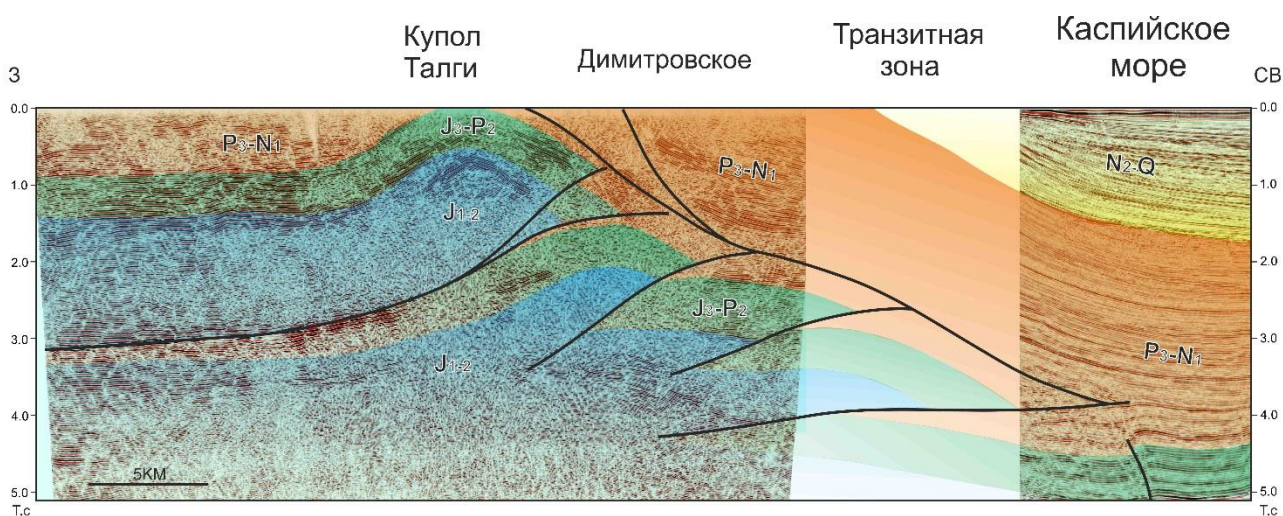


Рис. 4. Интерпретированный композитный сейсмический разрез фронта Дагестанского клина в районе Димитровского газоконденсатного месторождения, Терско-Каспийский прогиб
Положение разреза см. рис. 1, профиль Б. Стратиграфические обозначения: J1-2 – нижняя-средняя юра, J3-P2 - верхняя юра-эоцен, P3-N1 - олигоцен-миоцен, N2-Q - плиоцен-четвертичный.

Для пояснения условий формирования рассмотренных вдвиговых структур процесс их образования можно объяснить различием в скорости продвижения тектонических пластин в направлении от растущего складчатого сооружения к передовому прогибу под воздействием тангенциального сжатия. Компетентные пластины, сложенные преимущественно мощными карбонатными толщами, перемещались быстрее. Они были способны эффективнее транслировать через себя сжимающие усилия. В то же время в вышележащих отложениях, особенно в пластичных глинах майкопской серии, деформации быстро «гасли». В результате в верхней части разреза происходили преимущественно пассивные деформации, обусловленные расщеплением чехла и «подкожным» перемещением клиновидных структур.

По существу, такие объекты можно рассматривать как аналог пропущенных залежей. Только в отличие от залежей, пропущенных в ранее пробуренных скважинах, эти поисковые объекты были пропущены из-за недостаточной информативности применявшихся в прошлом геофизических методов.

Складчатые пояса - место новых крупных открытий?

Анализ накопленного опыта проведения ГРП в различных складчатых поясах показывает, что их продуктивность изменяется в широких пределах [Vann et al., 1986; Cooper, 2008; Roeder, 2010]. Факторы, определяющие нефтегазоносность складчатых поясов, можно разделить на общие для всех нефтегазоносных районов, а также специфические, которые относятся к особым чертам их строения. Среди первых все те условия, которые определяют продуктивность любых нефтегазовых систем и обеспечивают генерацию, миграцию и аккумуляцию крупных объемов нефти и газа. В первую очередь они определяются качеством, количеством и зрелостью органического вещества, наличием надежных ловушек, расположенных на путях миграции. При благоприятном сочетании этих факторов на первый план выступают специфические структурные и литологофациальные особенности складчатых поясов.

Структурный фактор в первую очередь сводится к наличию высокоамплитудных складок. Это создает условия для формирования залежей с большой высотой, что в совокупности с повышенной трещиноватостью массивных резервуаров обеспечивает высокие притоки нефти и газа. На ряде месторождений Загроса не редки скважины, которые дают до 10000 м³/сут. нефти и более. Характерным является присутствие рифов, в том числе барьерных, которые формировались на континентальных окраинах, позднее трансформированных в складчатые пояса. Активный тектонический режим создает условия для образования зон стратиграфических несогласий и карстования. Типичным для складчато-надвиговых поясов является зрелость нефтегазоматеринских отложений. Общим следствием этих факторов является исключительно высокая плотность запасов и ресурсов нефти и газа, которая существенно превышает плотность запасов в платформенных районах. Рекордные величины плотностей запасов характерны для Загроса (Иран и Ирак), складчатого пояса Монагас (Венесуэла), Терско-Сунженской складчатой зоны и некоторых других районов.

Обобщение опыта поисково-разведочных работ в России и зарубежных странах показывает, что в современных условиях складчатые пояса заслуживают самого серьезного внимания. Актуальность постановки поисковых работ на нефть и газ в России особенно важна в силу того, что именно в пределах суши Северной Евразии, образованной сложной мозаикой литосферных плит, разновозрастные складчатые пояса имеют более широкое распространение, чем на других континентах [Клещев и др., 1991; Соборнов, 2014]. Общая

площадь перспективных районов складчатых поясов достигает 2 млн. км² (рис. 5). Сложность в оценке площади создается тем, что некоторые складчатые пояса погребены под молодым осадочным чехлом и их границы имеют неопределенный характер. Из-за принадлежности складчатых поясов к различным геодинамическим типам чрезвычайно многообразны стили структурных деформаций, что создает различные типы ловушек. Условия проведения работ в большинстве складчатых поясов значительно проще и дешевле, чем в арктических акваториях. Для производства этих работ вполне применимы отечественные технологии, что важно в условиях ограниченного доступа иностранных.

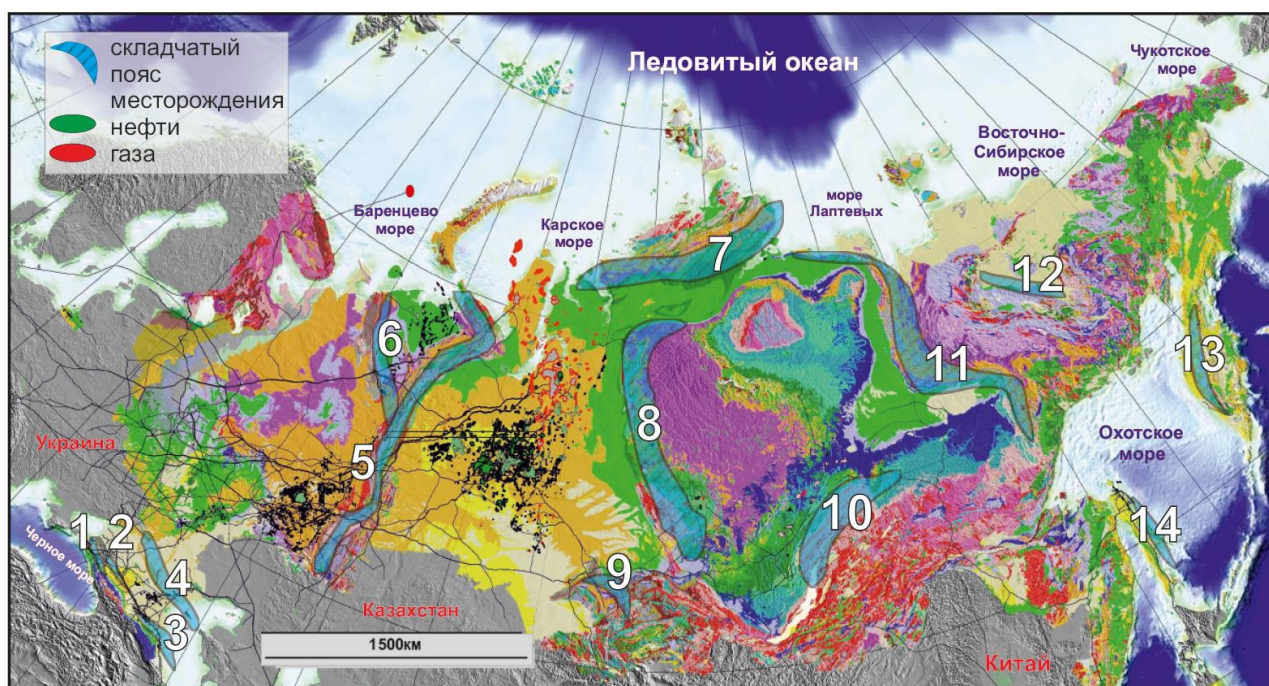


Рис. 5. Основные перспективные нефтегазоносные складчатые пояса на суше России
([Соборнов, 2014] с изменениями)

1 – Туапсинский, 2 – Кубанский, 3 – Восточно-Кавказский, 4 – кряжа Карпинского, 5 – Уральский, 6 – Тиманский, 7 – Таймырский, 8 – Енисейский, 9 – Кузнецкий, 10 – Патомский, 11 – Верхоянский, 12 – Индигиро-Зырянский, 13 – Западно-Камчатский, 14 – Сахалинский.

Важно учесть, что изученность складчатых поясов России в большинстве случаев крайне низка. В течение длительного периода времени они находились в «тени» Западной Сибири и Волго-Урала и не рассматривались как серьезная альтернативная возможность наращивания ресурсной базы добычи нефти и газа. Кроме того, информативность геофизических методов прошлых десятилетий была ограничена. В результате представления об их строении нередко построены на устаревших структурных концепциях. В этой связи применение современных научных представлений и геологоразведочных технологий дает основание рассчитывать на вероятность существенных изменений геологических моделей этих районов. На этой основе могут быть выявлены новые крупные поисковые объекты.

Развитие представлений о структуре складчатых поясов

Изучение строения и нефтегазоносности складчатых поясов имеет длительную историю. Обобщение представлений по этой теме приводится в работах ряда исследователей [Bally, 1984; Vann et al., 1986; Клещев и др., 1991; Гайдук, Прокопьев, 1999; Roeder, 2010]. Ниже кратко рассматриваются лишь некоторые существенные особенности их строения, которые могут представлять особый интерес для выявления новых перспективных нефтегазопромысловых объектов.

В прошлом в «досейсмическую эпоху» представления о структуре складчатых поясов основывались главным образом на данных геологического картирования, бурения и потенциальных полей. Эти данные обычно позволяли вполне корректно интерпретировать строение верхних горизонтов осадочного чехла. При этом предполагалось, что этот же структурный план имеет свое продолжение на глубине. Разломы в осадочном чехле рассматривались как деформации, производные от перемещений блоков фундамента. Картина могла усложняться за счет существования нарушений гравитационного типа, представляющих собой крупные оползневые тела.

Однако, как было показано на примерах Загроса и Терско-Каспийского прогиба, реальная картина нередко оказывалась совершенно иной. Структурный план верхнего тектонического этажа, как выяснилось, отличается от такового по нижним горизонтам. Причины дисгармонии структурных планов стали проясняться только после получения данных сейсморазведки достаточного высокого качества. Эти данные позволили установить протяженные структурные связи тектоно-стратиграфических элементов разреза и внести коррективы в существовавшие интерпретации. Во многих случаях результатом изучения сейсмических данных стало выявление значительно более сложной геометрии складчатых структур надвиговых поясов. На основании этого были пересмотрены представления о типах возможных залежей нефти и газа.

Принципиально важные результаты были получены при изучении Скалистых Гор Канады ([Bally et al., 1966] и последующие работы). В этом районе на основании сейсмических материалов с привлечением всего массива геологической информации было установлено, что осадочный чехол сорван со своего основания и перемещен в сторону краевого прогиба на десятки километров. При этом интенсивно дислоцированные верхние комплексы чехла подстилается пологозалегающим автохтонным основанием. Было установлено, что геометрия поверхностей надвигов может быть весьма сложной и по-разному проявляться в различных условиях из-за изменений «механической стратиграфии» разреза. При этом было показано широкое распространение листрических разломов, сместители которых резко выполаживаются с глубиной, наличие вторично «смятых»

разрывов, образованных за счет искривления поверхностей надвигов старой генерации при формировании более молодых складчатых структур в нижних горизонтах разреза. Во фронтальной части пояса надвигов было установлено наличие дуплексных вдвиговых структур. Они представляли собой аллохтонные пластины, расщепляющие осадочный чехол краевого прогиба, будучи ограниченными сливающимися друг с другом надвигами встречного падения. Последующее поисковое бурение подтвердило эти выводы и привело к открытию ряда месторождений в ловушках, не имеющих выражения на поверхности.

Дальнейшее исследование показали, что, несмотря на значительные индивидуальные особенности, различные складчатые пояса мира содержат в себе много сходных черт. На многочисленных примерах показано, что структурная расслоенность осадочного чехла в складчатых поясах может иметь место на разных стратиграфических уровнях одновременно. Последние приурочены к пластичным породам (глины, эвапориты, серпентиниты), разделяющие пластины более жестких, компетентных пород. В результате разрез дислоцирован дисгармонично. В ряде районов было доказано, что в крупных надвиговых перекрытиях могут участвовать породы фундамента. Вдвиговые дуплексные структуры были установлены во многих складчатых поясах и из экзотических образований, стали неотъемлемым элементом структурной интерпретации многих нефтегазоносных районов [Jones, 1982; Bally, 1984; Vann et al., 1986].

Наряду с собственно надвиговыми структурами, сформированными главным образом в условиях коллизии литосферных плит, строение многих складчатых поясов несет черты предшествующих рифтовых деформаций. В условиях сжатия рифтовые зоны испытывают структурную инверсию, формируя валлообразные поднятия, подобные Среднепечорскому поднятию на Северном Урале. Кроме этого характерным является наличие сложных постколлизийных деформаций сбросового и сдвигового характера, отражающих реакцию складчатых поясов на прекращение сжимающих усилий и обретение ими нового изостатического равновесия [Picha, 2011].

Важность этого опыта состоит в том, что на его основе были разработаны представления о структурных стилях зон деформаций различного рода [Bally, 1984]. Использование обширных геолого-геофизических данных в совокупности с результатами физического и математического моделирования процессов деформаций горных пород позволило выработать сценарные подходы (алгоритмы) в интерпретации. С учетом индивидуальных особенностей строения исследуемых районов эти априорные сценарии позволяют выработать наиболее приемлемую структурную модель. Это особенно важно в условиях недостатка данных. В частности, опираясь на принципы структурного

балансирования можно как минимум значительно сузить круг возможных вариантов интерпретации.

Перспективы открытия новых крупных месторождений в Предуралье

Складчатое Предуралье представляется одним из наиболее высокоперспективных районов работ на нефть и газ. Этот район представляет собой зону сочленения коллизионного орогена Урала с богатейшими нефтегазоносными бассейнами – Тимано-Печорским, Волго-Уральским и Прикаспийским (рис. 6). В его пределах развиты те же высокопродуктивные нефтегазоматеринские толщи, что и в прилегающих бассейнах. Промышленная нефтегазоносность Предуралья доказана целым рядом значительных открытий. Особенно важно, что в его пределах создана развитая инфраструктура, что позволит снизить затраты на ГРП и сократить их сроки.

Несмотря на свое соседство с основными нефтегазодобывающими районами страны геолого-геофизическая изученность Предуралья за редкими исключениями низка. Представления о его строении в большой степени формировались преимущественно в 1950-1980 гг., в условиях массового проведения ГРП в СССР. При этом, конечно, следует упомянуть и о работах более ранних периодов, особенно связанных с геологическим картированием и изучением металлогении Урала, которые освещали главным образом верхние горизонты разреза. Очевидно, эти работы дали важные научные результаты, которые позволили значительно развить представления о геологическом строении этих районов и принесли крупные открытия, включая уникальное Вуктыльское газоконденсатное месторождение. Вполне естественно, что теоретической основой геологических интерпретаций были существовавшие в то время представления. Качество использованных для этого данных также соответствовало техническим возможностям того периода. С конца 1980-х гг. ГРП резко сократились, а интерес к ним упал. Очевидно, что к настоящему времени появляется возможность существенного обновления существующих геологических моделей на основе новых научных знаний и геофизических технологий.

Комплексное изучение старых данных в совокупности с новыми сейсмическими материалами дали особенно интересные результаты по северному сегменту Предуралья (включающему зону передовой складчатости Пай-Хоя), представляющему собой складчатый борт Тимано-Печорского бассейна. Их интерпретация позволяет прогнозировать новые поисковые объекты, способные дать крупные открытия [Соборнов, Ростовщиков, 1996; Прищеп, Богацкий, 2012].

Растущее осознание перспективности складчатых поясов проявляется в увеличение интереса недропользователей к приобретению перспективных участков в их пределах.



Рис. 6. Обзорная схема Уральского складчатого пояса на основе геологической карты с указанием положения месторождений нефти газа
А, Б, В – линии сейсмических разрезов на рис. 7, 9 и 12.

Ярким примером может служить аукцион на ряд участков в пределах передовых складок Пай-Хоя, состоявшийся в 2012 г. Аукционные цены на эти участки превысили стартовые в сотни раз [Давыденко и др., 2013]. Кратко рассмотрим основные черты строения этого района.

Кортаихинская впадина и Пай-Хой представляют собой коллизионный складчатый пояс, формировавшийся под воздействием столкновения Печорской и Южно-Карской плит, а также левосторонней транспрессии (сжатие + сдвиг) деформаций. Судя по данным сейсморазведки, этот сегмент складчатого пояса содержит нескольких поверхностей расслоения осадочного чехла (рис. 7). Вероятно, что нижняя поверхность расслоения (детachment) связана с верхнеордовикскими солями. Этот разрыв подстилает Кортаихинскую впадину и достигает поверхности в зоне Талотинского разлома. В зоне передовых складок Пай-Хоя расслоение осадочного чехла предположительно имеет место в нижней части пермских отложений и в девонских отложениях. Внутренняя структура аллохтонных комплексов, вероятно, определяется дуплексным стилем строения. При этом многие антиклинальные перегибы по девонско-каменноугольным отложениям не имеют отражения в поверхностных слоях из-за тектонического «телескопирования» перекрывающих пермских отложений.

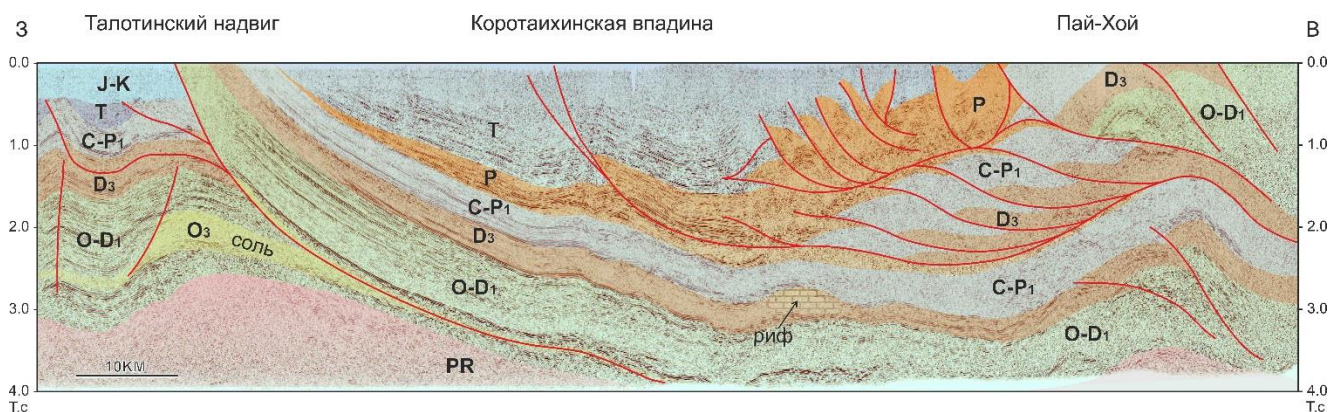


Рис. 7. Сейсмический разрез зоны сочленения Пай-Хоя и Кортаихинской впадины с геологической интерпретацией

Положение разреза см. рис. 6, профиль А. Стратиграфические обозначения: PR - протерозой, O-D1 - ордовик-нижний девон, O3 - верхний ордовик, D3 - верхний девон, С-Р1 - карбон-нижняя пермь, Р - пермь, Т - триас, J-К - юра-мел.

Очевидно, что в результате изучения этого района с применением современных геологоразведочных технологий здесь могут быть выявлены разнообразные поисковые объекты. Кроме антиклинальных складок поисковый интерес могут представлять рифы, их обломочные шлейфы и структуры облекания, зоны выклинивания коллекторских горизонтов

и стратиграфического срезания, тектонически ограниченные ловушки. Схематически эти ловушки показаны на рис. 8.

Основным риском в этом районе является высокая катагенетическая преобразованность пород, что делает вероятным преобладание газовых углеводородов. С точки зрения структурной геологии, это обстоятельство обусловлено тем, что за счет крупноамплитудных надвиговых перемещений и общего тектонического утолщения осадочного чехла в складчатой зоне, породы которые в доскладчатом состоянии залежали на больших глубинах, оказались значительно приподнятыми. Это, в частности, объясняет высокие значения отражательной способности витринита пермских пород на поверхности.

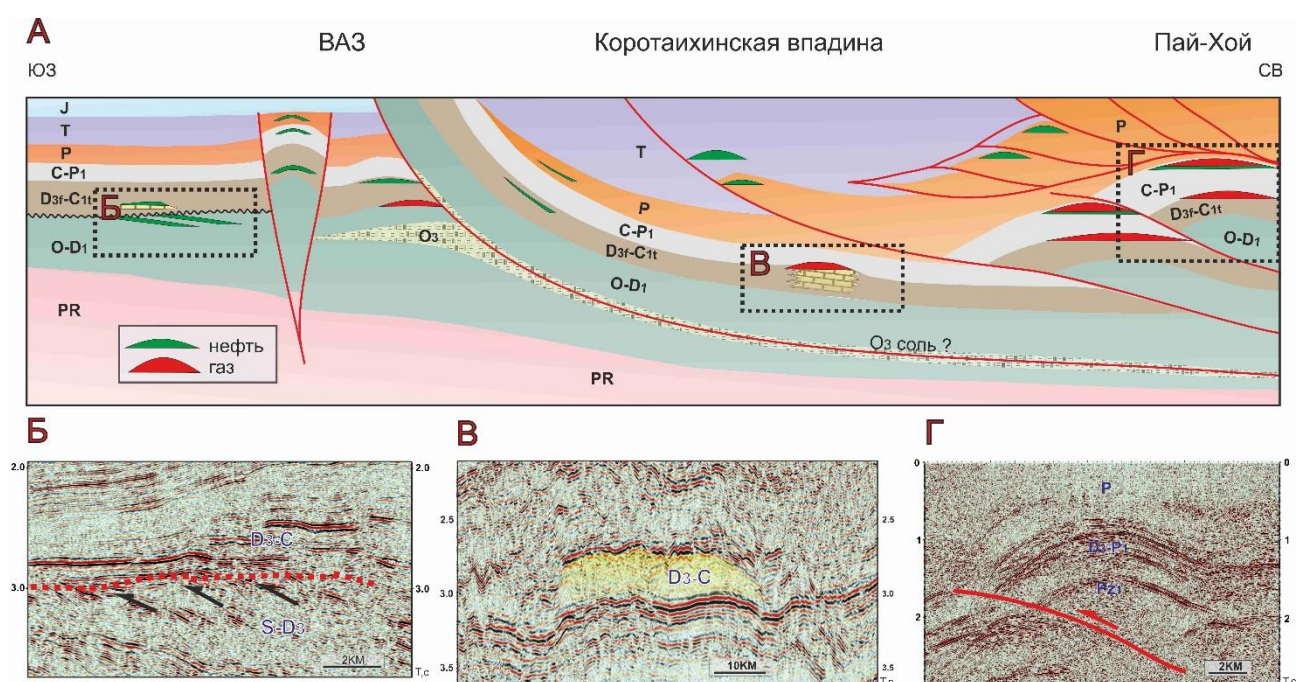


Рис. 8. Схематический геологический разрез складчатых предгорий Пай-Хоя (а) и северо-восточной части Тимано-Печорского бассейна с выделением основных типов ловушек нефти и газа (б, в, г)

а – ВАЗ (Варандей-Адъзвинская зона); фрагменты сейсмических разрезов, иллюстрирующих связанные с ними типы ловушек: б – стратиграфическое срезание пластов, в – риф, г – надвиговая антиклиналь. Стратиграфические обозначения: PR - протерозой, Pz1 - нижний палеозой, O-D1 - ордовик-нижний девон, S-D3 - силур- верхний девон, O3 - верхний ордовик, D3f-C1t - фран-турне, D3-C - верхний девон карбон, C-P1 - карбон-нижняя пермь, P - пермь, T - триас, J-K - юра-мел.

Сходные черты строения характерны и для других частей северного сегмента передовой складчатости Предуралья.

Зона сочленения Урала и Волго-Уральского бассейна также, несомненно, таит в себе значительный потенциал новых открытий. На рис. 9 приведен интерпретированный сейсмический разрез зоны сочленения Юрюзано-Сылвенского прогиба и Среднего Урала. Эти данные позволяют выявлять складчато-надвиговые структуры, многие из которых не

имеют выраженности на поверхности. Многие из этих структур не разбурены. Определенным недостатком этой части Предуралья по сравнению с северным Тимано-Печорским сегментом является сокращенная толщина осадочного чехла. Здесь либо отсутствуют, либо сильно сокращены в мощности ордовикско-нижнедевонские отложения. Интересной чертой строения этого района является клиновидная вдвиговая структура фронта складчатой зоны. Сравнительный анализ сейсмических данных показывает, что подобные структуры развиты не повсеместно, а, вероятно, приурочены к зонам увеличенной мощности пермских моласс.



Рис. 9. Интерпретированный сейсмический разрез зоны сочленения Юрюзано-Сылвенского прогиба и Среднего Урала

Положение разреза см. рис. 6, профиль В. Стратиграфические обозначения: PR - протерозой, V - венд, D - девон, C-P1 - карбон-нижняя пермь, P - пермь.

Большим своеобразием отличается самая южная часть Предуралья, где фронт складчатости Урала соприкасается с Прикаспийским бассейном. Осадочный чехол в этом районе значительно утолщен. В разрезе появляется кунгурская соляная покрывка. Предварительная интерпретация новых сейсмических данных по этому региону позволяет предполагать широкое развитие структурных несогласий, связанных с расслоенностью осадочного чехла и широким развитием дуплексных вдвиговых структур. Оценка нефтегазоносного потенциала этой части Предуралья заслуживает серьезного внимания.

Структурная приуроченность месторождений в складчатых поясах

Анализ структурной приуроченности месторождений нефти газа в складчатых поясах показывает, что далеко не все из них содержат значительные запасы нефти и газа. Некоторые крупнейшие из них, например, предгорья Гималаев, Альп и др., до настоящего времени не принесли крупных открытий. В значительной степени, это может быть связано с ограниченностью нефтегазопродуцирующего потенциала осадочного выполнения соответствующих районов [Klemme H.D., Ulmishek, 1991 и др.] При наличии высокопродуктивных отложений на первый план выходят особенности структурной геологии, обеспечивающие благоприятные условия формирования нефтяных систем.

Сравнительный анализ различных складчатых поясов показывает, что богатейшие зоны складчатых поясов характеризуются тектонической расслоенностью и несовпадением структурных планов на разных глубинных и стратиграфических уровнях. Это можно проиллюстрировать с помощью геологического разреза месторождения Киркук, одного из старейших и крупнейших месторождений Ирака (провинция Курдистан). Как видно на рис. 10 на поверхности этому месторождению отвечает система мелких складок, сорванных по миоценовым солям Фарс. Подсолевые отложения дислоцированы по иному структурному плану: они образуют крупную цилиндрическую антиклиналь, содержащую залежи нефти и газа. Отсутствие разрывов, прорывающих соляную покрывку и лишаящую скопления углеводородов экрана, по-видимому, обеспечивает сохранность этого крупнейшего месторождения.

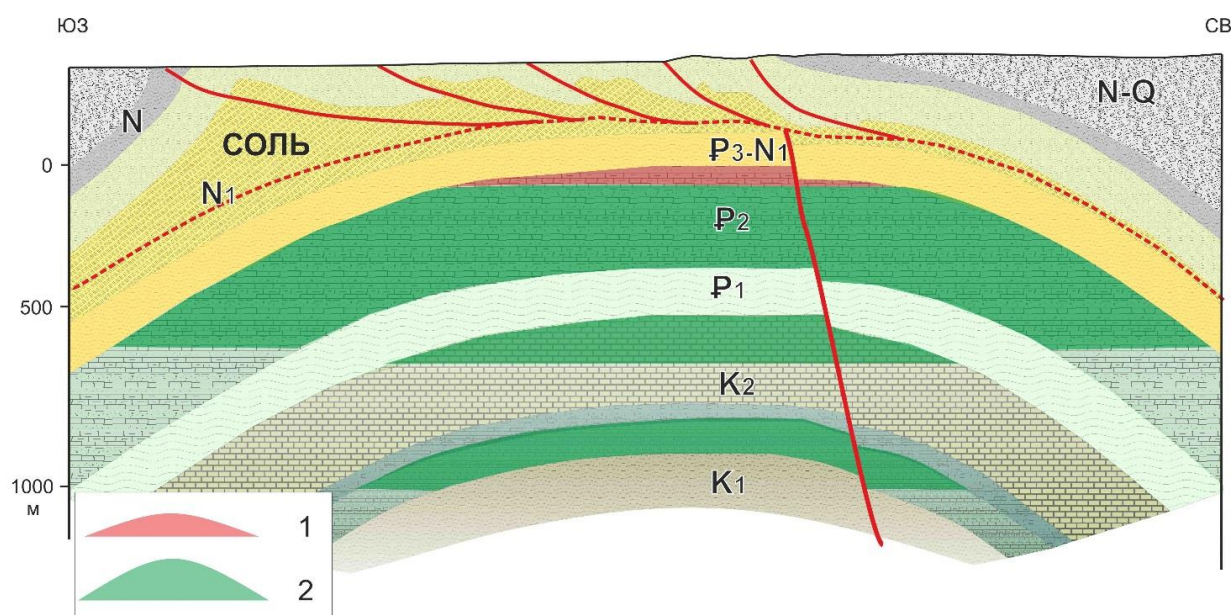


Рис. 10. Геологический разрез месторождения Киркук, складчатый пояс Загрос
(по Абрикосову, 1982 и уточнениями)

Складка в мел-неогеновых отложениях связана с надвигом в глубине разреза. Залежи: 1- газа, 2- нефти. Стратиграфические обозначения: K1 – нижняя-средняя юра, K2 – верхняя юра, P1 - палеоцен, P2 - эоцен, P3-N1¹ - олигоцен-нижний миоцен, N1 - нижний неоген, N - неоген, N-Q - неоген-четвертичный.

Этот вывод подтверждается примерами, показанными на рис. 1, 3, 4. Они также относятся к крупным месторождениям, продуктивность которых связана с нижним структурным этажом. Как и на месторождении Киркук целостность покрывки над залежами обеспечивается тем, что разрывы, секущие складчатые нефтегазоносные комплексы «ввязнут» в перекрывающих пластичных породах. Подобные структурные взаимоотношения в целом характерны для зон дуплексных вдвигов.

Представляется важным, что в определенных геологических ситуациях расщепление разреза вдвиговой пластиной происходит вдоль глинистых нефтегазоматеринских пород. В этих условиях аллохтонных пластины облекаются нефтегазогенерирующими толщами и снизу, и сверху, что, по-видимому, благоприятно для формирования крупных скоплений. Этот механизм, вероятно, может быть реализован при достаточно большой мощности глинистых толщ (например, майкопской серии), как это имеет место в передовых складках Восточно-Кавказского пояса надвигов (см. рис. 2-4).

Есть основания полагать, что подобные структурные условия распространены существенно шире, чем это было принято считать. Очевидно, что достаточно определенно судить о соотношении структурных планов на разных уровнях разреза в большинстве случаев можно только на основании достаточно полной информации, что часто не так. В этой связи, представляется актуальным рассмотреть уточненную интерпретацию строения Вуктыльского месторождения, крупнейшего в Предурале (рис. 11).

Это месторождение было открыто в 1964 г. в «досейсмическую эпоху». Представления о его структурной геологии формировались на основании данных поверхностного геологического картирования и бурения, которые не могли дать полной информации о структурных связях различных структурно-стратиграфических комплексов. Интерпретация данных 2D дает основание полагать, что в этом районе структура разломов несколько сложнее, чем предполагалось раньше. Традиционно считалось, что эта складка приурочена к простому наклонному надвигу, который разрывает толщу каменноугольно-нижнепермских и вышележащих кунгурско-верхнепермских слоев и достигает поверхности. По сейсмическим данным можно заключить, что продуктивная складка, образованная девонско-нижнепермскими карбонатными отложениями представляет собой дуплексную вдвиговую пластину (рис. 12).

Разлом, секущий перекрывающие пермские терригенные отложения над сводом складки, вероятно, связан с вышележащей надвиговой пластиной. Предлагаемая структурная модель представлена на интерпретированном сейсмическом разрезе, приведенном на рис. 12.

Предлагаемая интерпретация дает логичное объяснение сохранности этого месторождения. Дело в том, что в предлагаемой структурной модели, эвапориты кунгурского яруса не разорваны разломом, формирующим поднятие по продуктивным карбонатным отложениям. Этим обеспечивается надежность кунгурской ангидритовой покрышки огромной газоконденсатной залежи, высота которой составляет 1390 м. Не ясно, что могло бы удержать такую залежь в случае нарушения покрышки над ней по всей длине складки (80 км), что предполагается в традиционной модели строения месторождения.

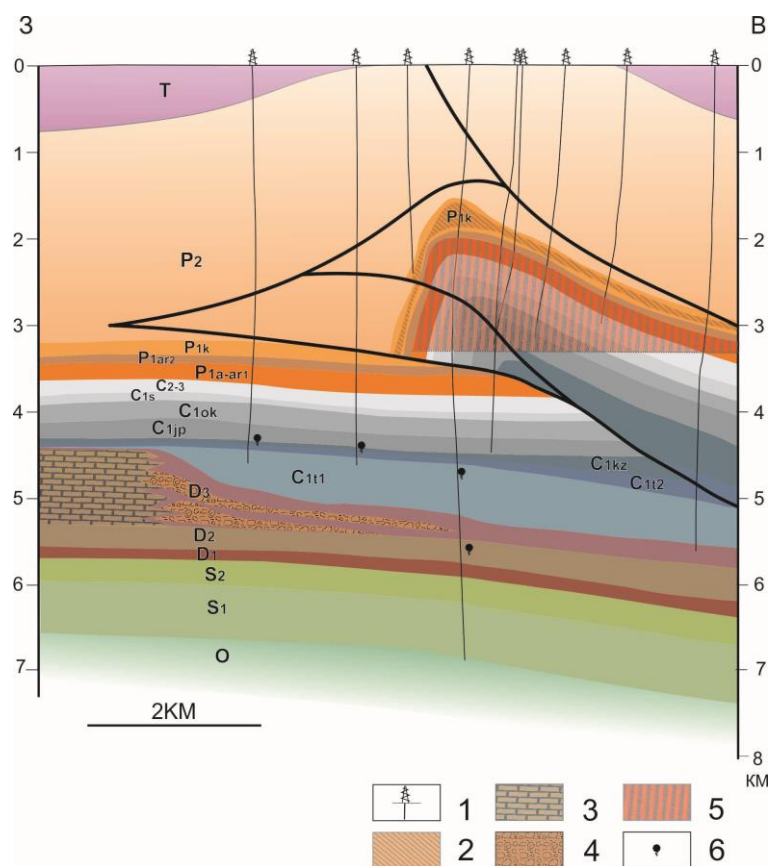


Рис. 11. Геологический разрез Вуктыльского газоконденсатного месторождения
(с использованием данных ОАО Газпром и Севергеофизика)

1 – скважина, 2 – кунгурская покрывка, 3 – рифогенные карбонаты, 4 – обломочный шлейф, 5 – газоконденсатная залежь. Стратиграфические обозначения: O - ордовик, S1 - нижний силур, S2 - верхний силур, D1 - нижний девон, D2 - средний девон, D3 - верхний девон, C1t1- нижнее турне, C1t2 - верхнее турне, C1kz - кожимский, C1jp - яснополянский, C1ok - окский, C1s - серпуховский, C2-3 - средний-верхний карбон, P1a-ar1 - ассель-нижний арт, P1ar2 - верхний арт, P1k - кунгур, P2 - верхняя пермь, T - триас.

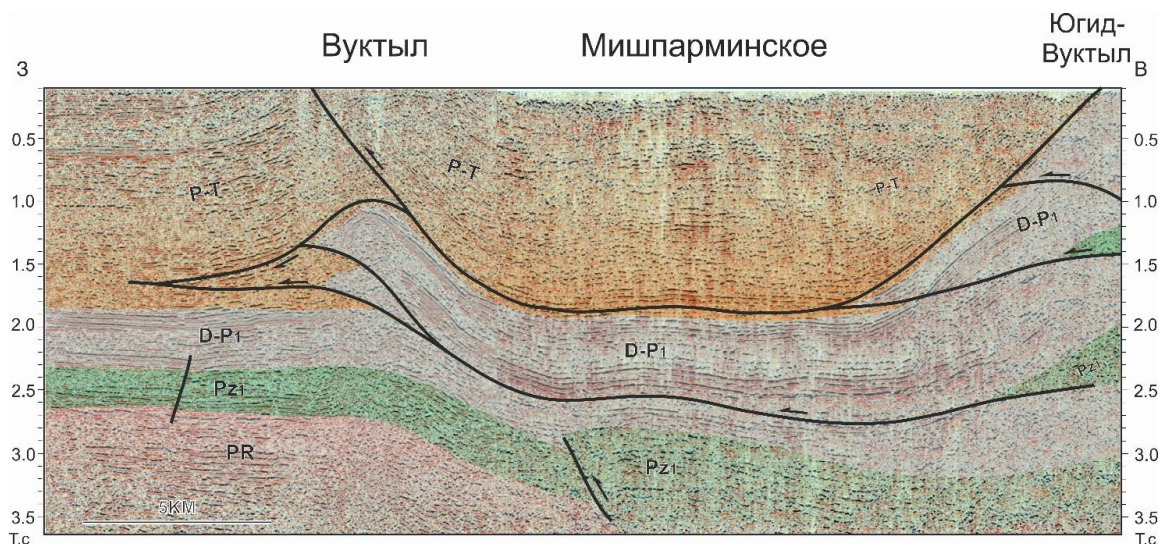


Рис. 12. Композитный сейсмических разрез складчатого борта Верхнепечорской впадины в районе Вуктыльского месторождения с геологической интерпретацией
(с использованием данных 1980-х гг. ОАО «Севергеофизика»)

Положение разреза см. рис. 6, профиль В. Стратиграфические обозначения: PR - протерозой, Pz1 - нижний палеозой, D-P1 - девон-нижняя пермь, P-T - пермь-триас.

Вероятная принадлежность продуктивной складки Вуктыльского месторождения вдвиговой пластине интересна не только само по себе. Это наблюдение в совокупности с данными по другим нефтегазоносным районам, включая рассмотренные выше примеры Северного Кавказа, дает основание предполагать, что зоны подобного строения представляют повышенный интерес для проведения поисковых работ на нефть и газ. В первую очередь это следует из лучшей сохранности залежей в этих структурных условиях, так в этих условиях лучше обеспечиваются целостность покровов над залежами. Кроме этого, расщепляя чехол вдоль пластичных глинистых отложений, обогащенных органическим веществом, клиновидные вдвиговые пластины имеют большую площадь контакта с облегающими нефтематеринскими отложениями.

Изучение строения складчатого Предуралья показывает, что рассмотренная структурная конфигурация не является уникальной, свойственной только для Вуктыльского месторождения, а, вероятно, имеет гораздо более широкое распространение. Важно и то, что с зонами подобного строения связаны крупные месторождения нефти и газа. В этой связи, для пояснения сущности предлагаемого уточнения структурной модели Вуктыльской складки, уместно сравнить эту ситуацию с развитием представлений о клиноформенной структуре неоконских отложений в Западной Сибири. Она привела к пересмотру представлений о структурных связях седиментационных тел. Как известно, клиноформенная модель строения этого комплекса утвердилась только после накопления достаточного количества сейсмических данных. Они смогли наглядно показать проградационную природу слоистости, сменившей традиционную «плоскую» корреляционную схему, основанную на точечных данных бурения. В условиях складчато-надвиговых зон задача корректной структурной интерпретации требует значительно более качественных данных, так как сейсмогеологические условия в их пределах намного сложнее.

Таким образом, изучение строения складчатых поясов и интерпретация данных, характеризующих строение и нефтегазоносность складчатого Предуралья, позволяют предполагать, что в этом «зрелом» районе могут быть открыты новые крупные залежи нефти и газа. Их разведка и разработка может стать основой нового цикла крупных серийных открытий [Соборнов, 2014]. В пользу этого свидетельствуют большая площадь перспективных районов, их доказанная нефтегазоносность, чрезвычайное многообразие перспективных объектов. Последние выделяются на основании интерпретации, накопленных данных с применением современных структурных моделей, развитых на основе изучения районов аналогичного строения в мире. Особый интерес представляют зоны дуплексного вдвигового строения, с которыми связаны многие крупные месторождения в мире и, возможно, Вуктыльское месторождение. Складчатое Предуралье обладает развитой

нефтегазовой инфраструктурой, что позволит снизить затраты на ГРП и сократить их сроки. Кроме того, проведение ГРП может осуществляться на основе передовых российских технологий, что важно в условиях политической и экономической нестабильности.

Автор выражает благодарность В.И. Богацкому, В.Н. Данилову, А.В. Липилину, С.М. Никитиной, Н.И. Никонову, В.Б. Ростовщикову, А.М. Хитрову, В.С. Шеину, В.В. Юдину, A.W. Bally, R. Graham, P. Jones, F. Picha за помощь в сборе данных и плодотворное обсуждение вопросов, связанных с геологическим строением и нефтегазоносностью складчатых поясов. В работе использованы сейсмические данные, выполненные за счет средств МПР России.

Литература

Гайдук В.В., Прокопьев А.В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. - Новосибирск: Наука, 1999. - 160 с.

Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2012 году». - 2014. - <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1564>

Давыденко Б.И., Порожун В.И., Розанова Г.Н., Игутина М.М., Доронина О.П., Тухтаева М.И. Современное состояние недропользования на углеводородное сырье в Российской Федерации // Геология нефти и газа. - 2013 (спецвыпуск). – С. 27-39.

Дотдугев С.И. О покровном строении Большого Кавказа // Геотектоника. - 1986. - № 5. - С. 94-106.

Клещев К.А., Шеин В.С., Соборнов К.О. Тектоника литосферных плит и проблемы нефтегазоносности надвиговых структур на территории СССР. Геодинамика и нефтегазоносность осадочных бассейнов СССР. - М.: ВНИГНИ, 1991. - С. 4-52.

Прищепина О.М., Богацкий В.И. Перспективы малоизученных районов и неоцененных горизонтов Тимано-Печорской провинции как результат уточнения схемы тектонического районирования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2012. - № 2. - С. 4-12.

Соборнов К.О. Поднадвиговые зоны нефтегазонакопления новый объект поисков нефти и газа в Предгорном Дагестане // Геология нефти и газа. – 1988. - №2. - С. 8-12.

Соборнов К.О. Складчато-надвиговые пояса: основа нового цикла наращивания ресурсной базы добычи нефти и газа в России? // Геология нефти и газа - 2014. - № 2. – С. 64–71.

Соборнов К.О., Ростовщиков В.Б. Новые направления поисков нефти и газа в поясе надвигов Северного Урала // Геология нефти и газа. - 1995. - № 6. - С. 30-34.

Bally A.W., Gordy P.L., Stewart G.A. Structure, seismic data, and orogenic evolution of Southern Canadian Rocky Mountains. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 1966, vol. 14, n. 3, p. 337-381.

Bally A.W. (editor). Seismic expression of structural styles- a picture and work atlas. AAPG, 1984, *Studies in Geology* #15, 3 vols.

Biteau J., Blaizot M., Janodet D., de Clarens Ph. Recent emerging paradigms in hydrocarbon exploration. *First Break*, 2014, vol. 32, p. 49-58. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2013035>

Chidsey T., Laine M., Vrona J., Strickland D. Covenant Oil Field, Central Utah Thrust Belt: Possible Harbinger of Future Discoveries. AAPG Search and Discovery Article #10130, 2007.

Cooper M. Structural style and hydrocarbon prospectivity in fold and thrust belts: a global review // *Ries A.C., Butler R.W. & Graham R.H.* Deformation of the Continental Crust: The Legacy of Mike Coward. Geological Society, London, 2007, vol. 272, 447–472.

Jones P.B., Oil and gas beneath east-dipping underthrust faults in the Alberta foothills. *Geologic studies of the Cordilleran thrust belt*. Denver, Rocky Mountain Association of geologists, 1982, v. 1, p. 61-74.

Klemme H.D., Ulmishek G.F. Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors. *AAPG Bulletin*, 1991, vol. 75, 1809-1851.

LoCricchio E. Granit wash play overview, Anadarko basin: Stratigraphic framework and controls on Pennsylvanian granite wash production, Anadarko basin, Texas and Oklahoma. AAPG Search and Discovery Article #80420, 2014.

Picha F.J. Late orogenic faulting of the foreland plate: An important component of petroleum systems in orogenic belts and their forelands. *AAPG Bulletin*, 2011, vol. 95, no. 6, p. 957-981. <https://doi.org/10.1306/11191010006>

Roeder D., Fold-thrust belts at Peak Oil. In Goffey G.P., Craig J., Needham T., Scott R. (eds) *Hydrocarbons in contractual belts*. Geological Society, London, 2010, vol. 348, 7–31.

Sherkati S., Letouzey J. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful embayment), Iran. *Marin and Petroleum Geology*, 2004, vol., 21, p. 535-554. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007>

Vann I.R., Graham R.H., Hayward A.B. The structure of mountain fronts. *Journal of Structural Geology*, 1986, vol. 8, p. 215-227. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(86\)90044-1](https://doi.org/10.1016/0191-8141(86)90044-1)

Xu Shilin, Lu Xiuxiang, Sun Zhonghua, Pi Xuejun, Liu Luofu, Li Qiming, Xie Huiwen. Kela-2: a major gas field in the Tarim Basin of west China. *Petroleum Geoscience*, vol. 10, 2004, 95–106. <https://doi.org/10.1144/1354-079303-571>

Sobornov K.O.

Ltd Severo-Zapad, Moscow, Russia, ksobornov@yandex.ru

STRUCTURE OF FOLD BELTS AND PROSPECTS OF DISCOVERY OF LARGE DEPOSITS IN FOLDED PRE-URALS

Study of the structure and oil and gas potential of fold belts of the world has shown that large oil and gas fields can be discovered within them after many decades of their prospecting due to the complexity of the structure. Using the experience of fold belts studying and new geophysical and drilling technologies can provide new large discoveries in folded Pre-Urals. This is supported by large prospective areas, proved productivity of their petroleum systems, and diversity of perspective objects. This area is characterized by developed oil and gas infrastructure, which will reduce exploration costs and reduce their duration.

Keywords: large fields, oil and gas prospecting, new areas of work, Ural fold belt.

References

Bally A.W., Gordy P.L., Stewart G.A. Structure, seismic data, and orogenic evolution of Southern Canadian Rocky Mountains. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 1966, vol. 14, n. 3, p. 337-381.

Bally A.W. (editor). *Seismic expression of structural styles- a picture and work atlas*. AAPG, 1984, *Studies in Geology* #15, 3 vols.

Biteau J., Blaizot M., Janodet D., de Clarens Ph. Recent emerging paradigms in hydrocarbon exploration. *First Break*, 2014, vol. 32, p. 49-58. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2013035>

Chidsey T., Laine M., Vrona J., Strickland D. Covenant Oil Field, Central Utah Thrust Belt: Possible Harbinger of Future Discoveries. *AAPG Search and Discovery Article* #10130, 2007.

Cooper M. Structural style and hydrocarbon prospectivity in fold and thrust belts: a global review // Ries A.C., Butler R.W. & Graham R.H. *Deformation of the Continental Crust: The Legacy of Mike Coward*. Geological Society, London, 2007, vol. 272, 447-472.

Davydenko B.I., Poroskun V.I., Rozanova G.N., Igutina M.M., Doronina O.P., Tukhtaeva M.I. *Sovremennoe sostoyanie nedropol'zovaniya na uglevodorodnoe syr'e v Rossiyskoy Federatsii* [The current state of the subsoil use of hydrocarbons in the Russian Federation]. *Geologiya nefi i gaza*, 2013 (special edition), p. 27-39.

Dotduev S.I. *O pokrovnom stroenii Bol'shogo Kavkaza* [About the coating structure of the Greater Caucasus]. *Geotektonika*, 1986, no. 5, p. 94-106.

Gayduk V.V., Prokop'ev A.V. *Metody izucheniya skladchato-nadvigovykh poyasov* [Methods of fold-thrust belts studying]. Novosibirsk: Nauka, 1999, 160 p.

Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2012 godu» [State report "On the status and use of mineral resources of the Russian Federation in 2012"], 2014, available at: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1564>

Jones P.B., Oil and gas beneath east-dipping underthrust faults in the Alberta foothills. *Geologic studies of the Cordilleran thrust belt*. Denver, Rocky Mountain Association of geologists, 1982, v. 1, p. 61-74.

Klemme H.D., Ulmishak G.F. Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors. *AAPG Bulletin*, 1991, vol. 75, 1809-1851.

Kleshchev K.A., Shein B.C., Sobornov K.O. *Tektonika litosfernykh plit i problemy neftegazonosnosti nadvigovykh struktur na territorii SSSR. Geodinamika i neftegazonosnost' osadochnykh basseynov SSSR* [Plate tectonics and petroleum potential problems of thrust structures in the USSR. Geodynamics and petroleum potential of sedimentary basins of the USSR]. Moscow: VNIGNI, 1991, p. 4-52.

LoCricchio E., Granit wash play overview, Anadarko basin: Stratigraphic framework and controls on Pennsylvanian granite wash production, Anadarko basin, Texas and Oklahoma. AAPG Search and Discovery Article #80420, 2014.

Picha F.J. Late orogenic faulting of the foreland plate: An important component of petroleum systems in orogenic belts and their forelands. AAPG Bulletin, 2011, vol. 95, no. 6, p. 957-981. <https://doi.org/10.1306/11191010006>

Prischepa O.M., Bogatskiy V.I. *Perspektivy maloizuchennykh rayonov i neotsenennykh gorizontov Timano-Pechorskoy provintsii kak rezul'tat utochneniya skhemy tektonicheskogo rayonirovaniya* [Prospects of poorly-studied areas and non-estimated horizons of the Timan-Pechora province as a result of tectonic zoning scheme clarify]. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy, 2012, no. 2, p. 4-12.

Roeder D., Fold-thrust belts at Peak Oil. In Goffey G.P., Craig J., Needham T., Scott R. (eds) Hydrocarbons in contractual belts. Geological Society, London, 2010, vol. 348, 7–31.

Sherkati S., Letouzey J. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful embayment), Iran. Marine and Petroleum Geology, 2004, vol., 21, p. 535-554. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007>

Sobornov K.O. *Podnadvigovye zony neftegazonakopleniya novyy ob"ekt poiskov nefiti i gaza v Predgornom Dagestane* [Subthrust zones of petroleum accumulation - a new object for oil and gas prospecting in the foothills Dagestan]. Geologiya nefiti i gaza, 1988, no. 2, p. 8-12.

Sobornov K.O. *Skladchato-nadvigovye poyasa: osnova novogo tsikla narashchivaniya resursnoy bazy dobychi nefiti i gaza v Rossii?* [Fold-and-thrust belts: the basis of a new cycle of increasing the resource base of oil and gas production in Russia?]. Geologiya nefiti i gaza, 2014, no. 2, p. 64–71.

Sobornov K.O., Rostovshchikov V.B. *Novye napravleniya poiskov nefiti i gaza v poyase nadvigov Severnogo Urala* [New directions for oil and gas prospecting in the thrust belt of the Northern Urals]. Geologiya nefiti i gaza, 1995, no. 6, p. 30-34.

Vann I.R., Graham R.H., Hayward A.B. The structure of mountain fronts. Journal of Structural Geology, 1986, vol. 8, p. 215-227. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(86\)90044-1](https://doi.org/10.1016/0191-8141(86)90044-1)

Xu Shilin, Lu Xiuxiang, Sun Zhonghua, Pi Xuejun, Liu Luofu, Li Qiming, Xie Huiwen. Kelas-2: a major gas field in the Tarim Basin of west China. Petroleum Geoscience, vol. 10, 2004, 95–106. <https://doi.org/10.1144/1354-079303-571>