

КАРБОНАТНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ ПОДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИКАСПИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

В.А. Жемчугова, Е.Ю. Макарова, Ю.В. Наумчев, Н.Д. Макаров, В.В. Панков
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Прикаспийская синеклиза относится к числу наиболее перспективных на углеводородное сырье регионов России и Казахстана, что подтверждается открытием в последние годы в ее пределах крупных месторождений нефти и газа. Наличие в Прикаспийской синеклизе на нескольких стратиграфических уровнях глинисто-карбонатных отложений, обогащенных рассеянным органическим веществом, достаточно высокая степень их катагенетического преобразования, прохождение так называемого «нефтяного окна» – все свидетельствует о благоприятной для генерации УВ ситуации в рассматриваемом регионе. Распространение возможных скоплений нефти и газа в подсолевых отложениях синеклизы контролируется главным образом качеством коллекторов и покрышек. Предлагаемая статья иллюстрирует попытку авторов создать генерализованную модель формирования подсолевых толщ и разработки схемы взаимосвязи процессов накопления карбонатных осадков и их углеводородной продуктивности. Применение полученных результатов в практике нефтегазописковых работ может иметь большое значение, поскольку оценка углеводородной продуктивности недр невозможна без прогноза пространственного распределения разнофациальных отложений, играющих роль аккумулялирующих и консервирующих толщ. Выявленные закономерности пространственно-временных соотношений образования основных элементов природных резервуаров, отвечающих за нефтегазоносность подсолевых отложений, в какой-то мере могут служить базой для прироста запасов углеводородного сырья, так необходимого для Прикаспийского региона.

Ключевые слова: Прикаспийская синеклиза, природный резервуар, изолированная карбонатная платформа, окаймленная карбонатная платформа, гомоклиальный рамп, периферийно-крутой рамп

DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.20>

Для цитирования: Жемчугова В.А., Макарова Е.Ю., Наумчев Ю.В., Макаров Н.Д., Панков В.В. Карбонатные резервуары подсолевых отложений Прикаспийской синеклизы. *Георесурсы*. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 194-207. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.20>

Прикаспийская синеклиза относится к числу наиболее перспективных на углеводородное сырье регионов России и Казахстана, что подтверждается открытием в последние годы в ее пределах крупных месторождений нефти и газа (Рис. 1). Однако эти открытия далеко не исчерпали углеводородный потенциал территории, в котором неразведанные запасы составляют более 90%; большая их часть приходится на глубокозалегающие карбонатные отложения палеозоя.

Начиная с восьмидесятых годов прошлого столетия, особенно после открытия ряда крупнейших месторождений УВ флюидов (Астраханского, Тенгизского, Карачаганакского), в геологической литературе активно обсуждаются проблемы углеводородной продуктивности подсолевых отложений Прикаспийской синеклизы. При этом у геологов до настоящего времени нет единого мнения в отношении перспектив нефтегазоносности осадочных толщ древнее башкирских, и их прогнозы варьируются от самых оптимистичных (Орлов, Воронин, 1999) до достаточно осторожных (Жемчугова, 2014).

Как известно, промышленная углеводородная продуктивность осадочных толщ зависит от многих факторов, определяющими среди которых являются пространственно-временные соотношения процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Эти процессы во многом контролируются эволюцией осадочно-породных бассейнов, отвечающей за распределение в разрезе основных «формирующих» нефтегазоносность элементов: генерирующих нефтегазоматеринских толщ, коллекторов, способных аккумулировать углеводороды (УВ), и флюидопоров, которые в состоянии удерживать их скопления.

Наличие в Прикаспийской синеклизе на нескольких стратиграфических уровнях глинисто-карбонатных отложений, обогащенных рассеянным органическим веществом, достаточно высокая степень их катагенетического преобразования, прохождение так называемого «нефтяного окна» – все свидетельствует о благоприятной для генерации УВ ситуации в рассматриваемом регионе. Это означает, что распространение возможных скоплений нефти и(или) газа в подсолевых отложениях синеклизы контролируется главным образом качеством коллекторов и покрышек, прогноз которого представляет собой крайне сложную задачу. Ее решение во многом определяется выбором методики исследования осадочных образований, обладающих разными фильтрационно-емкостными и экранирующими характеристиками. Наиболее рациональным и эффективным способом познания природы этих различий является ретроспективный анализ условий формирования потенциальных коллекторов и покрышек, реализованный в виде седиментационного моделирования, позволяющего реконструировать специфику процессов осадконакопления в пространстве и времени.

Седиментационное моделирование представляет собой одну из ветвей историко-геологических исследований, опирающуюся на комплексное использование фациального и циклического анализов. Его развитие и становление связано с уникальными и не потерявшими своего значения до настоящего времени работами Н.Б. Вассоевича, Ю.А. Жемчужникова, Д.В. Наливкина, Л.В. Пустовалова, Л.Б. Рухина, Н.М. Страхова, С.В. Тихомирова. Заложенные еще в тридцатые годы прошлого столетия методические приемы изучения осадочных толщ с целью восстановления истории их образования в последние годы значительно

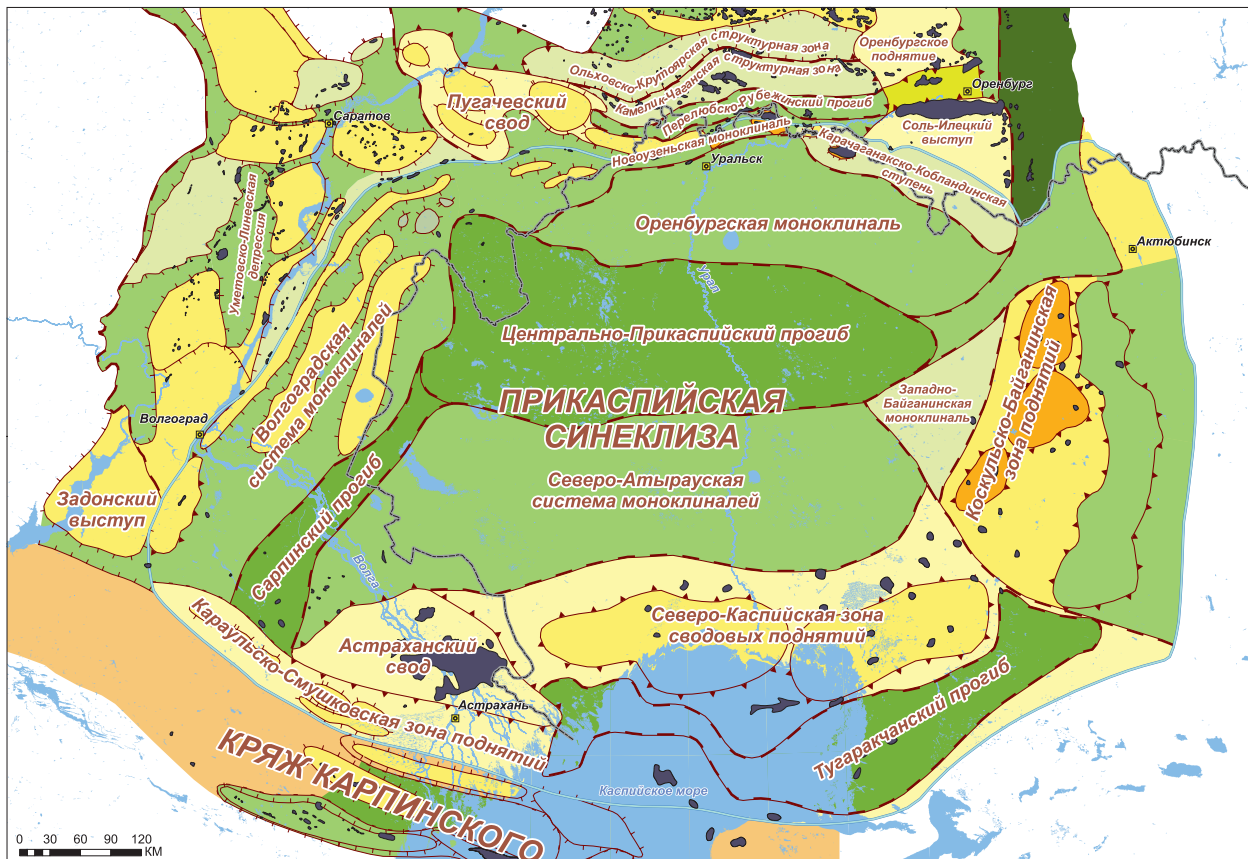


Рис. 1. Тектоническая схема Прикаспийской синеклизы и прилегающих территорий (показаны контуры месторождений нефти и газа)

пополнились рядом усовершенствований, возникших благодаря эволюции представлений геологов о процессе осадконакопления (Тимофеев, 1968, 1975; Фролов, 1965, 1972, 1995; Кузнецов, 1978; Фортунатова, 1985, 1988 и др.).

Качественно иной уровень знаний, обусловленный революцией в геологических науках, пришедшейся на вторую половину семидесятых годов, не мог не отразиться в создании обновленных концепций циклофациального анализа. В конце семидесятых годов в геологии появилось новое научное направление, развивающееся на стыке традиционных геологических методов, идеологически объединившее приемы фациального и циклического анализов. Оно получило название метода стратиграфии секвенций (Sequence stratigraphy). В нефтяной геологии применение секвенс-стратиграфического анализа позволяет не только прогнозировать распределение в разрезе осадочно-породного бассейна элементов нефтяных систем, но и лежит в основе геологического моделирования структуры и свойств природных резервуаров, содержащих УВ флюиды.

Несомненно, основные принципы секвенс-стратиграфии применимы ко всем осадочным системам, однако в формировании карбонатных секвенций, помимо внешних факторов (эвстатика, тектоника, климат) существенную роль играют законы, управляющие продуцированием, распределением и накоплением карбонатного материала в морском бассейне, не зависящие от привноса осадков извне. Зачастую потенциал роста карбонатной системы предопределяет не только архитектуру секвенции, но и возможность существования последней.

Карбонатные отложения – сложно построенное и специфичное семейство осадочных горных пород, обладающее крайне изменчивой и разнообразной по морфологии и

генезису пористостью. Различия в строении пор и поровых систем заложены в структуре самого карбонатного осадка, а именно, в широком спектре размеров и форм слагающих карбонаты структурных компонентов (биокластов, пелоидов, лито- и интракластов, оолитов и др.), формирующих поры в результате упаковки или в процессе растворения; в вариациях размера и конфигурации пор, связанных с секреторной деятельностью организмов (поры внутри биокластов или скелетных каркасов); в частичном заполнении пустотного пространства осадком. Эти различия многократно усиливаются процессами постседиментационного преобразования, включающего растворение карбоната кальция, перекристаллизацию, доломитизацию, растрескивание и т.д.

Однако многие исследователи, занимавшиеся вопросами генезиса пористости карбонатных пород (Соколов, 1962; Klovan, 1964; Гмид, 1968; Choquette, Pray, 1970; Багринцева, 1977; Майдль, 1985; 1987; Жемчугова, 2002 и др.), указывают на ее связь с условиями накопления карбонатного материала. Эта связь не только прослеживается в фациальной избирательности первичной емкости, но и подчеркивается в большинстве случаев различной интенсивностью и направленностью постседиментационных преобразований.

Подобная ситуация очень характерна для карбонатных отложений Прикаспийской синеклизы, особенности накопления которых транслируются в распределении коллекторов различного типа и класса, во многом контролирующей углеводородную продуктивность локальных объектов.

Исходя из морфологии, структуры и петрофизических параметров, среди карбонатных резервуаров подсолевого

комплекса можно выделить несколько основных типов, каждый из которых отражает своеобразие карбонатной седиментации в палеозойском морском бассейне. Поскольку различия в условиях образования и накопления карбонатных отложений реализованы в морфологии и структуре категорий (типов) карбонатных платформ, последние были приняты в качестве базовой модели для типизации природных резервуаров (Рис. 2).

Согласно существующим представлениям, Прикаспийская синеклиза в первой половине раннего палеозоя представляла собой юго-восточную оконечность эпиконтинентального бассейна, располагавшегося в пределах Восточно-Европейского кратона. Коллизия этого кратона с Северо-Устюртским континентальным блоком, произошедшая в позднедевонскую эпоху, привела, помимо формирования горно-складчатого сооружения, к образованию глубоководной впадины, трансформировавшейся позднее в Центрально-Каспийскую депрессию. По мере развития этой впадины, в погружение втягивались и северо-восточные участки платформы, расширяя области относительно глубоководного осадконакопления.

Такой сценарий тектонического развития рассматриваемого региона во многом предопределил эволюционные перестройки карбонатных платформ; соответственно с этим со временем менялись и типы приуроченных к этим платформам резервуаров.

В дофранское время на большей части рассматриваемой территории господствовали **рамповые** обстановки накопления (Рис. 3). Небольшие углы наклона рампа в его средней и внешней зонах, отвечающие модели гомоклинальной рампа, обеспечили господство биокластовой седиментации на огромных пространствах, но скорости производства карбонатного материала здесь были, вероятно, невелики.

Выверенный рельеф рампа, отсутствие в его пределах крупных барьеров и низкий потенциал продуктивности провоцировали активный отклик рамповой седиментационной системы на изменение темпов повышения относительного уровня моря (ОУМ), что способствовало разнонаправленной миграции береговой линии на большие расстояния и созданию серии «обмеляющих сверху» элементарных циклитов (парасеквенций) во всех зонах рампа. В условиях активных волн и приливно-отливных течений перераспределение осадков сопровождалось многочисленными кратковременными приостановками карбонатной седиментации и размывом отложений. Кроме того, быстрая проградация побережья приводила к выводу в субазральные условия значительной части рампа и активной переработке слагающих его пород метеорными водами. Особенно важно это было для карбонатных песков прибрежной зоны и отмелей, в результате воздействия процессов выщелачивания в которых мог создаваться высокий емкостной потенциал, реализующийся в дальнейшем в коллекторах с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС).

Моменты максимальных затоплений на рампах отображаются либо маломощными прослоями конденсированных отложений, но чаще с ними связано образование поверхностей твердого дна.

Тем самым, для рампового комплекса характерно широчайшее распространение как по площади, так и в разрезе коллекторов с высокими параметрами емкости, образующими тонкослоистую структуру резервуаров. Но, к сожалению, собственно рамповые обстановки осадконакопления не благоприятствуют накоплению осадков, способных формировать экраны, состоятельные с точки зрения сохранности скоплений УВ.

Так, на северо-востоке Прикаспийской синеклизы коллекторы с эффективной пористостью свыше 15% встречены в отложениях бийского горизонта. Они сложены каркасными кораллово-строматопоровыми, лито- и биокластовыми, оолитовыми вторичными доломитами карбонатных отмелей. Их перекрывает пачка микритовых кремнисто-битуминозных известняков с фауной кониконхий, радиолярий, гониатит, фиксирующих позднеэйфельское затопление. Экранирующий потенциал этих известняков невысок за счет небольшой мощности, а

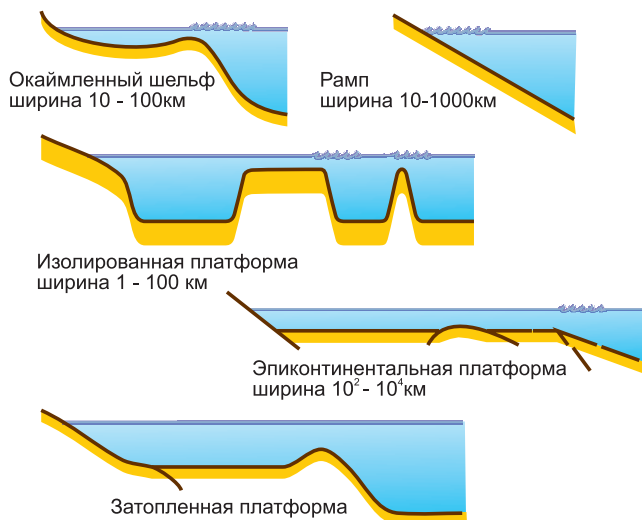


Рис. 2. Категории карбонатных платформ (Tucker, Wright, 1996)

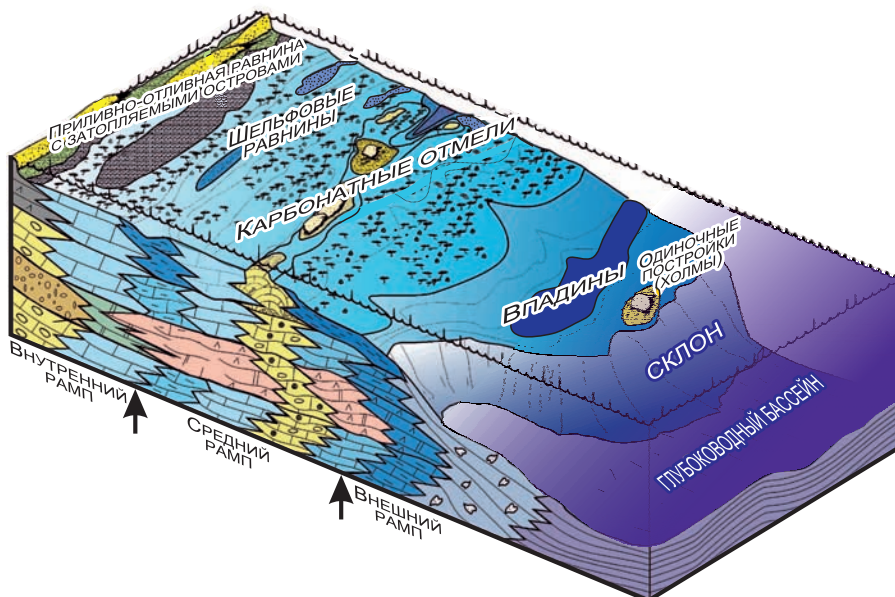


Рис. 3. Седиментационная модель периферийно-крутого рампа (Жемчугова, 2014)

также интенсивной микротрещиноватости, свойственной породам подобного состава и структуры.

Для большей части резервуаров с «рамповыми» коллекторами флюидопорами выступают породы некарбонатного состава. Резервуары такого типа широко развиты в живетских отложения юга Русской плиты, в зоне сочленения ее с Прикаспийской синеклизой, и их распространение прогнозируется также в пределах последней.

Формирование карбонатных резервуаров на фоне преобладающей обломочной седиментации в живетский век было обусловлено некоторым углублением морского бассейна в ардатовское время. Причина такого углубления кроется, вероятнее всего, не столько в повышении уровня моря, сколько в сокращении поступления в бассейн обломочного материала, негативно влиявшего на жизнедеятельность известьсекретирующих организмов. После длительной фазы «стресса заиления» накопление карбонатного осадка происходило не сразу, обнаруживая разрыв во времени между образованием пространства аккомодации и его заполнением. Раньше всего активная жизнь организмов начиналась в наиболее благоприятных условиях, в которых осадкообразование возрастало по мере увеличения глубины, «догоняя» уровень моря за счет развития новых экологических ниш. В ардатовском бассейне такие условия существовали, в первую очередь, на топографических поднятиях, на следующих главным образом выступы фундамента. Именно они стали местом роста невысоких мелководно-шельфовых органогенных построек.

Вне поднятий подобный разрыв во времени спровоцировал увеличение пространства аккомодации, для заполнения которого количества производимого организмами материала было недостаточно. Это привело к образованию областей недокомпенсации, несмотря на незначительную в целом глубину акватории.

Карбонатная седиментация в морском бассейне продолжалась недолго, и уже в муллинское время глинистым материалом сначала были заполнены топографические низины, а затем под ним захоронены и органогенные постройки (Рис. 4). Тем самым были созданы оптимальные пространственно-временные соотношения коллекторов и покрышек, обеспечившие промышленную углеводородную продуктивность резервуаров.

В позднедевонскую эпоху в результате активного прогибания юго-восточной части Прикаспийской синеклизы, дифференцированного осадконакопления и роста органогенных построек гомоклиальный рамп эволюционировал в **окаймленную платформу** (Рис. 5). Одновременно с изменением седиментационной модели значительную трансформацию претерпели и приуроченные к ним природные резервуары.

В структуре окаймленной платформы выделяются осадочные комплексы шельфовой лагуны и рифовой каймы. Последняя включает ассоциации каркасных известняков и сопутствующие им продукты разрушения, количество которых значительно превалирует над каркасной частью. Эти полигенные карбонаты формируют элементы рифовой системы: водорослевый волнолом; рифовое ядро, в составе которого преобладают каркасные разности; рифовое плато с определяющей биокластовой и микритовой седиментацией. Кроме того, к элементам системы относятся обломочные шлейфы в ее передовой (глубоководной) части и карбонатные пески отмелей – в тыловой.

Рост всех элементов платформы происходит во время повышения ОУМ, причем темпы этого повышения контролируют структурные композиции накапливающихся осадков. Быстрое повышение провоцирует наиболее активный рост рифовой системы и незначительное накопление карбонатов на зарифовом мелководье. Замедление темпов роста ОУМ зеркально меняет эту ситуацию: опережение производства осадочного материала в области рифовой каймы над скоростью добавления пространства аккомодации сопровождается образованием в ее пределах карбонатной отмели с преобладающей оолитово-литокластовой седиментацией, «наращивающей» песчаный

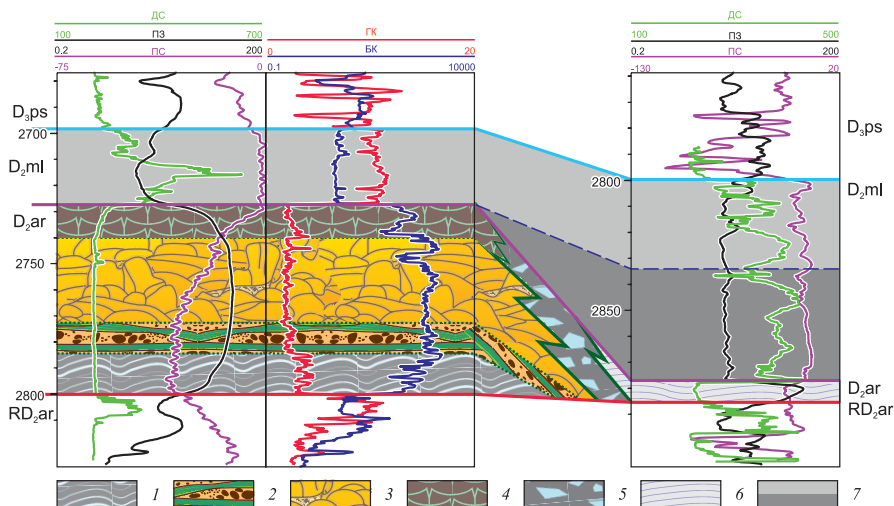


Рис. 4. Литологически экранированный резервуар в ардатовских отложениях. 1 – полидетритовые известняки (цоколь постройки); 2 – водорослевые известняки (слоистые формы колоний); 3 – кораллово-строматопоровые известняки (куполовидные, массивные формы колоний); 4 – строматолитовые известняки; 5 – обломочный шлейф; 6 – «доманикиты»; 7 – толщина компенсации

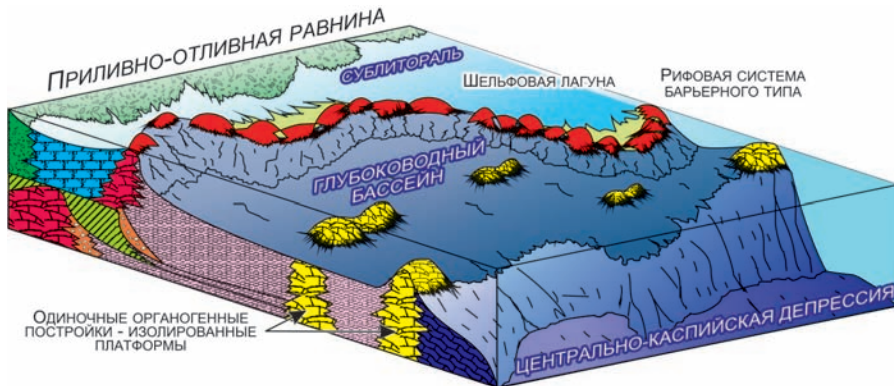


Рис. 5. Седиментационные модели окаймленной и изолированной платформ (Жемчугова, 2014)

пояс тылового шлейфа. Основной карбонатный материал в это время образовывается и накапливается в зарифовой зоне. Структуру накопившихся осадков здесь определяет главным образом топография дна. На поднятиях это, как правило, пелоидно-биокластовые известняки, иногда с маломощными водорослевыми биостромами мелководной сублиторали; литокластовые и оолитовые, пелоидные «фенестровые» известняки литорали; водорослевые ламиниты со следами микроразмывов и трещинами усыхания супралиторали. В разрезах отложений, седиментация которых связана с топографическими низинами, преобладают микритовые слабоглинистые разности с включениями детрита остракод, однокамерных фораминифер, гастропод.

Этому времени также отвечает накопление карбонатного материала на склонах карбонатной платформы, поскольку в бассейн в условиях лавинной седиментации переносятся огромные массы осадочного материала – от оползневых тел до зернистых потоков и турбидитов (Schlager, 1981).

Наличие уступа, разграничивающего мелководные и глубоководные обстановки осадконакопления, является обязательным, но недостаточным условием существования рифовой каймы платформы. Так, несмотря на наличие таких уступов на северо-востоке Прикаспийской синеклизы во франское время (Рис. 6а), рифообразования в их пределах не происходило. Можно предположить несколько причин такой ситуации. Во-первых, близко

расположенная суша на древнем Соль-Илецком своде, могла поставлять во впадину значительные массы обломочного материала, поскольку в ее пределах эродировались не только мелководно-шельфовые карбонаты, но и более древние обломочные породы. Возможно, именно обогащение вод пелитовыми частицами препятствовало процессу «нормального биогермообразования» на морфологически выраженном уступе.

Во-вторых, возможная причина отсутствия рифообразования на уступе – быстрое повышение относительного уровня моря на рубеже раннего и среднего франа. Предшествующий этому перерыв в осадконакоплении негативно сказался на биологической продуктивности системы, в результате чего большая часть карбонатной платформы была затоплена. Поэтому франский интервал разреза на большей части Прикаспийской синеклизы сложен черными глинисто-битуминозными неравномерно доломитизированными кониконхиевыми известняками мощностью около 50-60 м.

В фаменское время на северо-восточных участках борта Прикаспийской синеклизы органогенные постройки имеют несколько большее распространение (Рис. 6б), но все они относятся к числу микробиальных холмов с нетипичной для рифовых систем структурой.

Лишь во второй половине визейского века на уступе, разделявшем мелководный и глубоководный бассейн, начали расти новые, более сложнопостроенные, скелетные рифы (Рис. 7), однако и они имели достаточно локализованное распространение.

Существование «классической» рифовой каймы позднедевонской карбонатной платформы можно предположить лишь для западных районов Прикаспийской синеклизы. Здесь по результатам сейсмических исследований достаточно уверенно выделяется система органогенных массивов, маркирующих склон глубоководного бассейна.

Особенности строения и развития окаймленных платформ контролируют распространение в их разрезе потенциальных резервуаров. Главным образом, это толстослоистые клиноформенные резервуары окраины платформы, включающие коллекторы каверново-порового типа рифового ядра, поровые коллекторы тылового шлейфа и каверново-трещинные коллекторы передового шлейфа.

Экранами (правда, невысокого качества) для них служат кремнисто-глинисто-битуминозные отложения, фиксирующие моменты затопления карбонатной платформы и смену мелководного режима седиментации глубоководным.

Областью аккумуляции карбонатного материала мелководного генезиса в глубоководной впадине являются также карбонатные конуса выноса. Фрагмент одного из них вскрыт скважинами на Каинсайской площади, расположенной на северо-востоке Прикаспийской синеклизы. Здесь разрез фаменского яруса имеет нетипичное строение: во-первых, он имеет существенно большую, чем в соседних

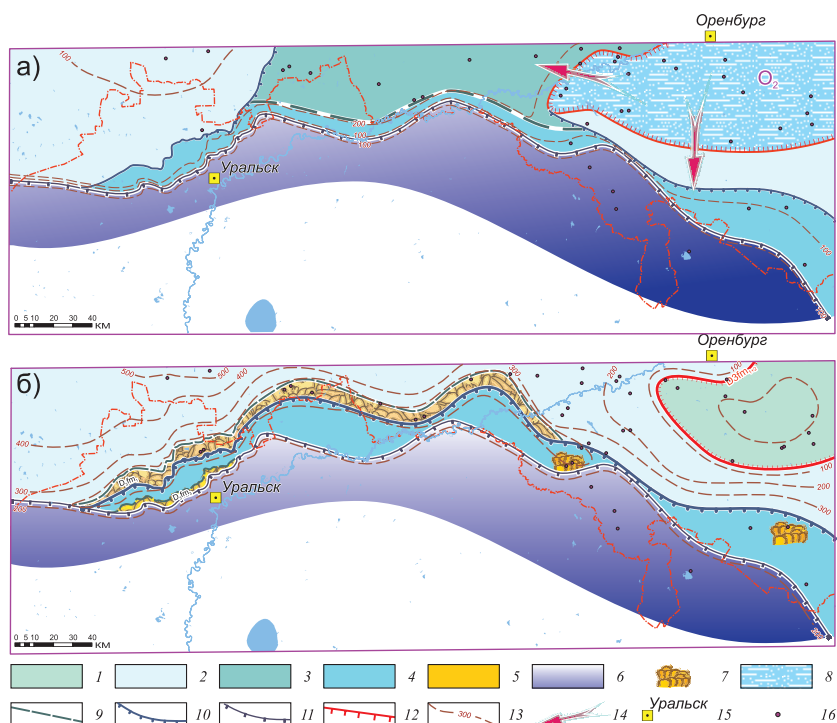


Рис. 6. Обстановки осадконакопления северной бортовой зоны Прикаспийской синеклизы в позднедевонскую эпоху (а – франское время, б – фаменское время): 1-7 – зоны преобладающего развития отложений: 1 – карбонатных отмелей, 2 – мелководного шельфа с карбонатным осадконакоплением, 3 – впадин на мелководном шельфе с обломочным осадконакоплением, 4 – впадин на мелководном шельфе с кремнисто-карбонатным осадконакоплением, 5 – систем микробиальных холмов, 6 – склона мелководного бассейна, 7 – одиночных органогенных построек; 8 – предполагаемый тип отложений в зонах размыва; 9-12 – границы; 9 – зон развития осадочных комплексов; 10 – глубоководного склона на шельфе; 11 – склона; 12 – отсутствия отложений; 13 – изопахиты, м; 14 – основные направления сноса обломочного материала; 15 – города; 16 – скважины

Склон рампа, судя по сейсмическим данным (Рис. 8), характеризуется достаточно большим углом наклона, что позволяет отнести его к эрозионному типу. Но у его основания могли накапливаться переотложенные обломочные карбонаты, перемещенные силами гравитации в виде оползней и зернистых потоков и локализованные вдоль основания склона. С ними может быть связано присутствие линзовидных резервуаров.

На самом же рампе преобладала смешанная обломочно-карбонатная седиментация. В западных участках Прикаспийской синеклизы во второй половине башкирского века в результате начала образования вблизи рассматриваемого региона складчатого сооружения – кряжа Карпинского – и активизации структурообразующих движений на юге Русской плиты в морской бассейн стало сноситься такое количество обломочного материала, что он полностью подавил карбонатную седиментацию. За относительно короткий отрезок геологического времени (поздний башкир – поздний карбон) в наиболее погруженных участках рампа накопилось до тысячи, а на склоне – до нескольких тысяч метров обломочных осадков.

Напротив, в северных и северо-восточных областях

синеклизы в каменноугольное время господствовали обстановки карбонатного осадконакопления. Здесь в разрезе рампового комплекса коллекторы развиты очень широко, особенно это касается зоны развития карбонатных отмелей. Такая отмель, к примеру, существовала на древнем Соль-Илецком палеоподнятии, и накопившиеся в его пределах отложения во многом обеспечили высокие добычные характеристики крупнейшего Оренбургского газоконденсатного месторождения.

Однако на большей части рассматриваемых областей разрез рампового комплекса характеризуется неблагоприятным соотношением коллекторов и покрышек. Исключение составляют башкирские (а в зоне их отсутствия серпуховские) известняки и доломиты, перекрытые разновозрастной и различной по вещественному составу покрышкой верейского горизонта. Область распространения покрышки удовлетворительного качества охватывает те районы, в которых в первой половине московского века господствовали достаточно глубоководные условия седиментации, определившие существенно глинистый состав накопившихся осадков. Значительно худшими экранирующими свойствами обладают, по-видимому, верейские

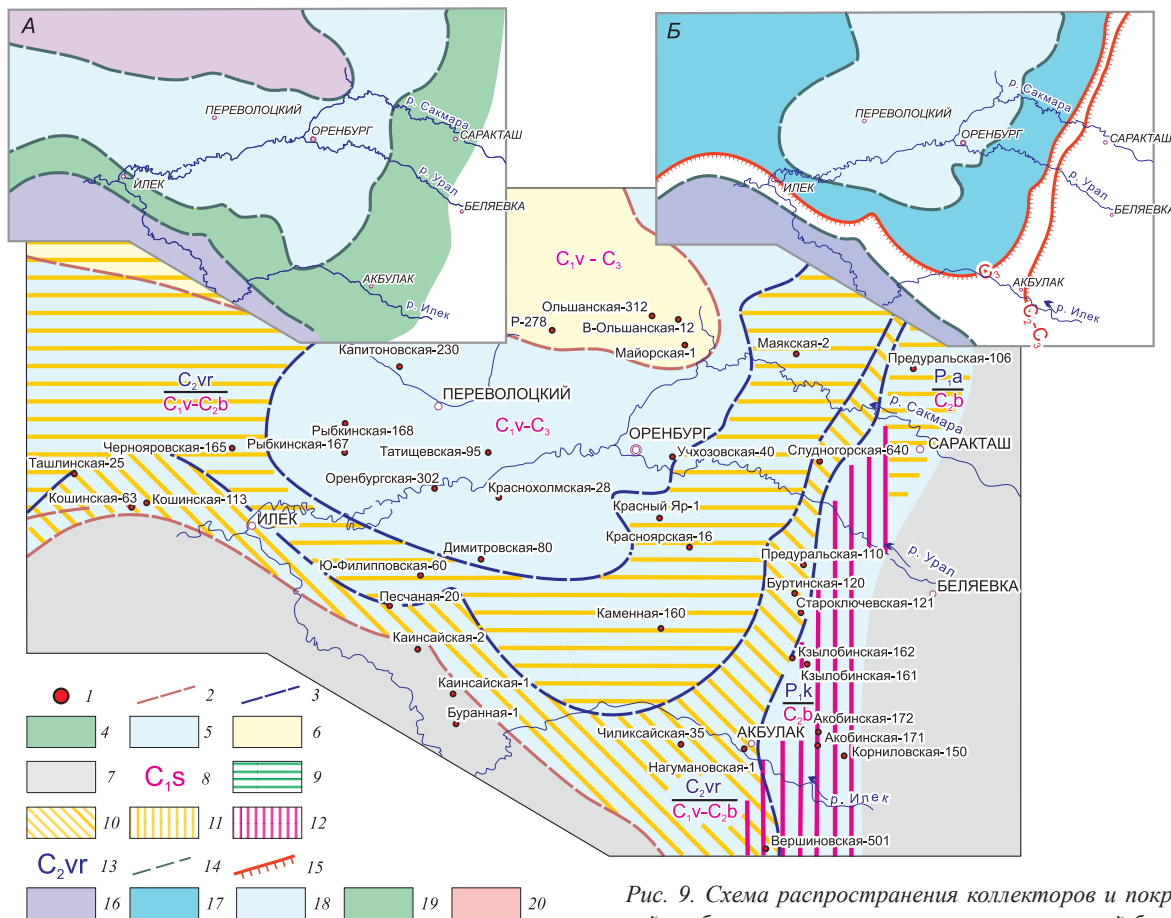


Рис. 9. Схема распространения коллекторов и покрышек в визейско-башкирском комплексе северо-восточной бортовой зоны

Прикаспийской синеклизы (Жемчугова, 2014). На врезках: литолого-фациальная схема строения визейско-башкирского (А) и московско-верхнекаменноугольного (Б) комплексов: 1 – параметрические скважины; 2-3 – границы: 2 – зон развития коллекторов соответствующего класса, 3 – зон развития покрышек соответствующего качества; 4-7 – преобладающий класс коллекторов: 4 – АВ (K_n 15-20%, K_{np} 0.1-0.5 мкм²), 5 – ВС (K_n 10-15%, K_{np} 0.1-0.01 мкм²), 6 – CD (K_n 7-10%, K_{np} 0.01-0.001 мкм²), 7 – D (K_n < 7%, K_{np} < 0.001 мкм², K_{np}^m > 0.1 мкм²); 8 – возраст коллекторов; 9 – глинистые покрышки среднего качества; 10 – глинисто-карбонатные покрышки низкого качества; 11-12 – соляные покрышки: 11 – низкого качества, 12 – высокого качества; 13 – возраст покрышек. На литолого-фациальных схемах: 14-15 – границы: 14 – зон развития осадочных комплексов, 15 – зон полного или зон частичного отсутствия отложенного комплекса; 16-20 – осадочные комплексы с преобладанием в разрезе отложений: 16 – глубокого шельфа с некомпенсированным осадконакоплением; среднего шельфа: 17 – с глинисто-карбонатным осадконакоплением, 18 – мелкого шельфа: шельфовых равнин, 19 – отмелей и карбонатных банок, 20 – забарьерных лагун с сульфатно-карбонатным осадконакоплением



Рис. 10. Схема стратиграфической приуроченности месторождений северной бортовой зоны Прикаспийской синеклизы: 1-4 – возраст залежей: 1 – девонский, 2 – каменноугольный, 3 – раннепермский, 4 – позднепермский; 5 – граница Прикаспийской синеклизы

отложения прибортовых частей впадин, что связано с их очень небольшими мощностями (до 10-15 м) и, кроме того, со значительной битуминозностью, способствующей развитию интенсивной трещиноватости.

В бортовых частях Прикаспийской синеклизы, а также в зоне сочленения ее с Предуральским краевым прогибом, где отсутствует средне-верхнекаменноугольная часть разреза, башкирские отложения формируют природные резервуары совместно с кунгурскими солями (Рис. 9). Развитие коллекторов здесь связано с обширной зоной карбонатных отмелей, наследующих мигрирующее по мере развития прогиба периферическое поднятие. Несмотря на значительные глубины залегания башкирских пород, их фильтрационно-емкостные возможности оцениваются достаточно высоко, поскольку этим разностям карбонатных осадков свойственны высокие значения первичной емкости, способной сохраняться на больших глубинах. Кроме того, они неоднократно подвергались выщелачиванию, поро- и кавернообразованию при приостановках седиментации и субэральном размыве литифицированного субстрата, так характерных для средне- и позднекаменноугольной эпох. Поскольку эта часть синеклизы испытала наиболее активную деформацию (как морфологическую, так и эрозийную), то в продуктивных отложениях широко развиты микротрещины, осуществляющие фильтрацию УВ в пластах и повышающие добычные свойства низкопористых карбонатных коллекторов.

Резервуары подобного типа и возраста содержат промышленные скопления УВ в более чем половине ловушек, опосредованных бурением в бортовой части синеклизы, несмотря на довольно значительные глубины их залегания (Рис. 10).

Особенность строения башкирско-кунгурских резервуаров, контролирующая их углеводородную продуктивность, – наличие в них толщ рассеивания. Минимальным значением эти толщи обладают в зонах отсутствия московско-верхнекаменноугольных пород, где к ним отнесена лишь небольшая (15-20 м) пачка глинисто-битуминозных известняков и доломитов нижней перми. Увеличение стратиграфического диапазона надбашкирских (московско-верхнекаменноугольных) отложений, наблюдаемое в

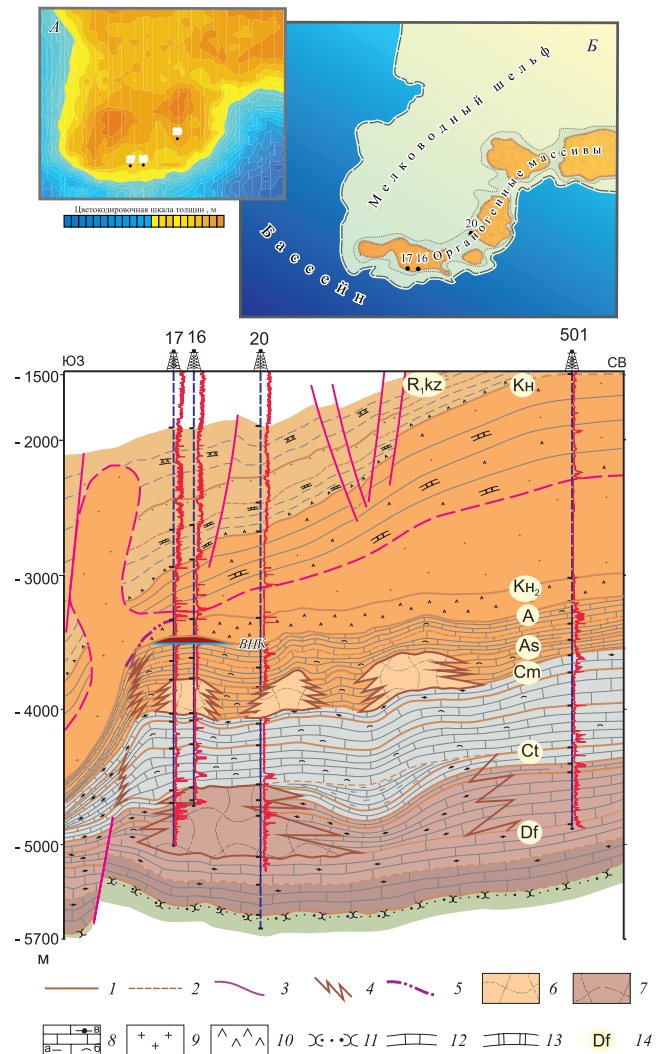


Рис. 11. Сейсмогеологический разрез подсолевых отложений северной бортовой зоны Прикаспийской синеклизы (Жемчугова, 2014). На врезках: карта толщин нижне-среднекаменноугольных отложений (А), карта фациальной зональности Песчаной площади для раннепермской эпохи (Б): 1-2 – геологические границы: 1 – по данным сейсморазведки 3D, 2 – промежуточные; 3 – тектонические нарушения; 4 – линии фациальных замещений; 5 – поверхность развития оползневых дислокаций; 6-7 – осадочные комплексы: 6 – шельфовых биогермных массивов, 7 – одиночных внутрибассейновых карбонатных построек; 8 – известняки (а – глинистые, б – биогенные, в – битуминозные); 9 – соли; 10 – ангидриты; 11 – песчаники и алевролиты; 12 – прослои известняков; 13 – прослои доломитов; 14 – индексы отражающих горизонтов

северном направлении, значительно ухудшает ситуацию, поскольку соотношение толщины ложной покрывки и амплитуды структуры во многом определяют возможность сохранения углеводородных скоплений.

Расцвет новых каркасообразующих организмов – палеоаплизин, мшанок, водорослей, сообщества которых обладали высокой продуцирующей способностью, пришелся на начало ранней перми; с этим временем ассоциируется формирование новой окаймленной платформы. Нижнепермские органогенные постройки, широко развитые в бортовых зонах Прикаспийской синеклизы, имеют все признаки «настоящим» рифам характеристики (большие размеры, асимметричное строение, передовые шлейфы; они также, в той или иной степени, осуществляют изоляцию мелководной зарифовой области), однако относятся к числу крупных скелетно-микробных холмов. Это объясняется негативным влиянием внешних факторов, препятствующих развитию рифовой экосистемы, в результате чего в течение длительного времени она находилась на начальных (пионерных) стадиях экологической сукцессии.

Широкое развитие коллекторов в ассельско-артинских отложениях, обусловленное спецификой накопления раннепермских осадков, наличие над ними мощнейшей региональной сульфатно-галогенной покрывки кунгура – все это предопределяет региональную углеводородную продуктивность нижнепермских резервуаров (Рис. 10). В их составе высокоемкие коллекторы кавернового и каверново-порового типа связаны с биогермными массивами; поровые – с лито-биокластовыми и оолитовыми известняками отмелей, наследующих эти массивы при обмелении морского бассейна.

К сожалению, часто эти массивы бывают обводнены, поскольку не изолированы экранами. Поэтому часть залежей УВ в нижнепермском комплексе приурочены к существенно менее емким коллекторам в кровле арта (например, рис. 11). Наиболее перспективные объекты для поиска скоплений УВ здесь – высокоамплитудные ассельские постройки, на которых сакмаро-артинские отложения отсутствуют, и они перекрыты толщей солей.

Еще один тип природных резервуаров, развитых в подсолевых отложениях Прикаспийской синеклизы, связан с платформами изолированного типа. На юге и востоке распространение этих платформ лимитируется главным образом Астраханско-Актюбинской системой поднятий (Рис. 1), выделяемой по поверхности фундамента (Астраханская,

Тенгиз, Кашаган, Жанажол и др.). Их формирование связано с позднедевонской эпохой, когда на месте ранне-среднедевонской островодужной системы в южной части относительно глубоководного Прикаспийского бассейна образовалось крупное топографически выраженное поднятие, представляющее собой идеальный цоколь для роста рифогенных массивов. Северным ограничением для последних являлся крутой склон поднятия, а на юге и востоке распространение карбонатных осадков в целом и каркасных в частности сдерживалось поступлением в акваторию значительных масс обломочного материала с территории современного Северного Устья (Абилхасимов, 2011).

На севере Прикаспийской синеклизы в области девонской глубоководной седиментации изолированные платформы также распространены (Карачаганак, Песчаная, Кобланды), но размеры их существенно меньше. Так, например, на Песчаной площади фаменско-турнейская одиночная постройка высотой около 600 м имеет размеры около 15 км². Она достаточно хорошо отображается в волновом поле (Рис. 12), и ее наличие и местоположение типичны для подобного рода обстановок осадконакопления. Сходными по морфологии и специфике формирования являются, по-видимому, небольшие изолированные платформы на Восточно-Песчаной и Нагумановской площадях.

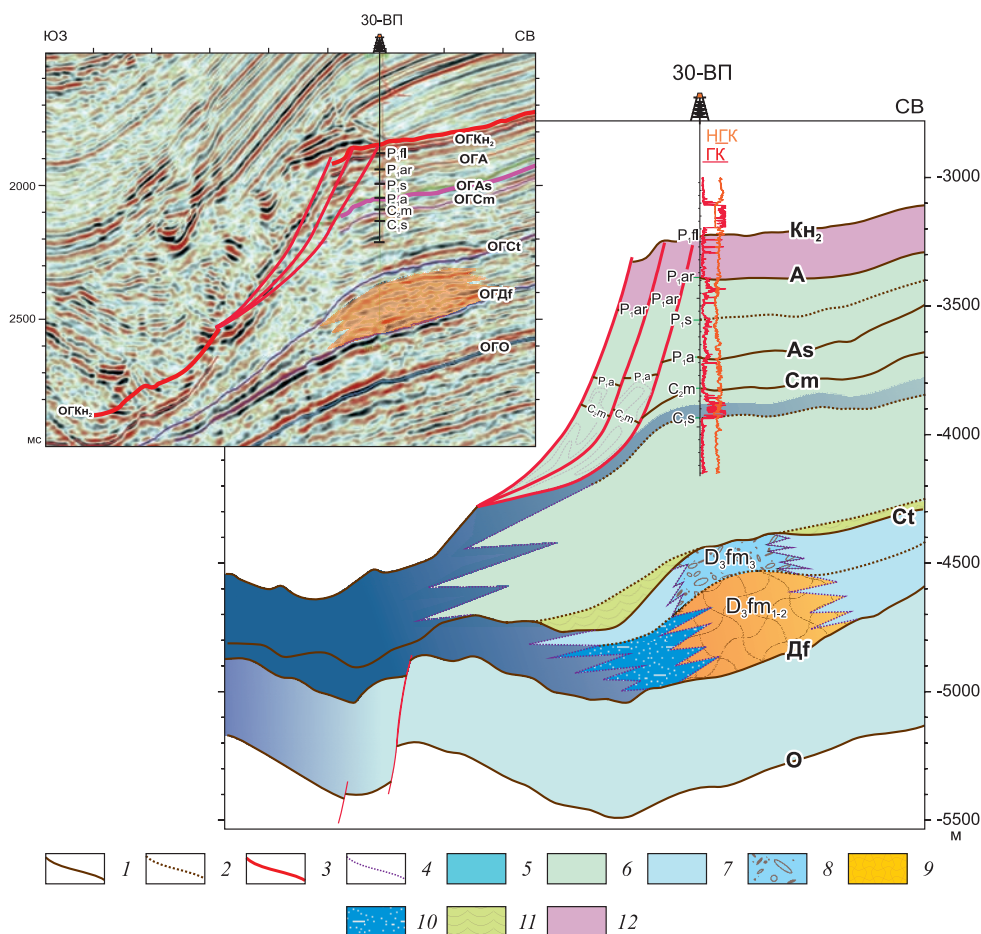


Рис. 12. Фациальный разрез подсолевых отложений в северной бортовой зоне Прикаспийской синеклизы (Жемчугова, 2014): 1-2 – границы сейсмокомплексов: 1 – прослеженные, 2 – предполагаемые; 3 – линии тектонических нарушений; 4 – линии фациальных замещений; 5-12 – осадочные комплексы: 5 – относительно глубоководной впадины, 6 – мелководного открытого шельфа, 7 – склона; 8 – карбонатных отмелей, 9 – краевых органогенных массивов, 10 – карбонатного шлейфа, 11 – толщ заполнения, 12 – шельфовых лагун

Изолированные платформы могут иметь различный профиль окраины: с рифовой каймой, либо рамповый. Примером первого служит морфология платформ Тенгиз, Королев, Карачаганак, второго – Астраханской платформы. Резкое уменьшение производства карбонатов с возрастанием глубины, особенно совместно со способностью рифов удерживать значительную часть «выращенного» материала, позволяла карбонатным системам формировать сравнительно крутой рельеф склона платформы. Поэтому изолированные платформы, окруженные глубокими водами, имели мало возможностей для проградации.

Для иллюстрации особенностей строения природных резервуаров в изолированных платформах первого типа рассмотрим платформу Тенгиз. Она сложена полигенными отложениями, смена которых в пространстве и времени отражает влияние внешних факторов на дифференцированное образование и накопление карбонатного материала. В позднем девоне наиболее активно карбонатный материал создавался на ее окраине, в зоне перегиба, отделяющего области мелководного карбонатного и относительно глубоководного кремнисто-карбонатного осадконакопления. Наличие этого перегиба во многом контролировало продуцирующие возможности рифовой экосистемы и, как следствие, «отвечало» за количество сносимого во внутреннюю часть платформы материала. Последняя также заполнялась остатками и продуктами жизнедеятельности бентосных организмов, не создающих карбонатные каркасы.

Разномасштабные изменения ОУМ обуславливали многократные смещения рифовых построек, но определяющим для этой стадии развития был процесс агградации карбонатной платформы (Рис. 13), наращивающей ее вверх. Поскольку верхняя часть склона платформы с увеличением высоты склона становилась все более крутой, формировался эрозионный тип склона, и накопления осадков в его пределах не происходило.

Несомненно, основные коллекторы в верхнедевонских отложениях в платформах такого типа связаны с рифогенными постройками, в которых преобладают каверново-поровые типы коллекторов. Но емкость их невелика, поскольку в структуре постройки высокопористые каркасные разности, образованные преимущественно колониями строматопороидей, скреплены слабо пористым пелоидным и микритовым материалом, вырабатываемым цементаторами цианидами. Доля этого материала в постройке зачастую превышает 60-70%. Кроме того, учитывая, что приуроченные к рифовым фациям коллекторы на Тенгизе насыщены водой, большая часть пустотного пространства в них заполнена эпигенетическими минералами.

Перерыв на рубеже фаменского и турнейского веков и выход платформы Тенгиз в зону субаэрального размыва резко уменьшили потенциал ее роста. И хотя турнейское затопление привело к возобновлению карбонатного осадконакопления на платформе, рифовые системы, тяготевшие к ее окраине, развивались в это время уже в режиме «отступления», наращивая каркасными известняками внутреннюю часть платформы.

Во второй половине раннего визе (тульское время) эта ситуация усугубилась за счет поступления в морской бассейн пеплового материала в результате активного вулканизма, проявление которого в рассматриваемом регионе связывается с моментом столкновения Устюрта с Восточно-Европейской платформой (Никишин и др., 2005). На фоне быстрого роста ОУМ и вымирания основных позднедевонских рифостроителей это внешнее воздействие привело к затоплению карбонатной платформы.

Начавшееся в позднем визе сокращение площади платформы спровоцировало уменьшение продуцирующей способности карбонатной системы, и эти процессы, разрастаясь как снежный ком, способствовали все большему ее поглощению. В результате образовалась многоуровневая модель «свадебного торта», отображающая

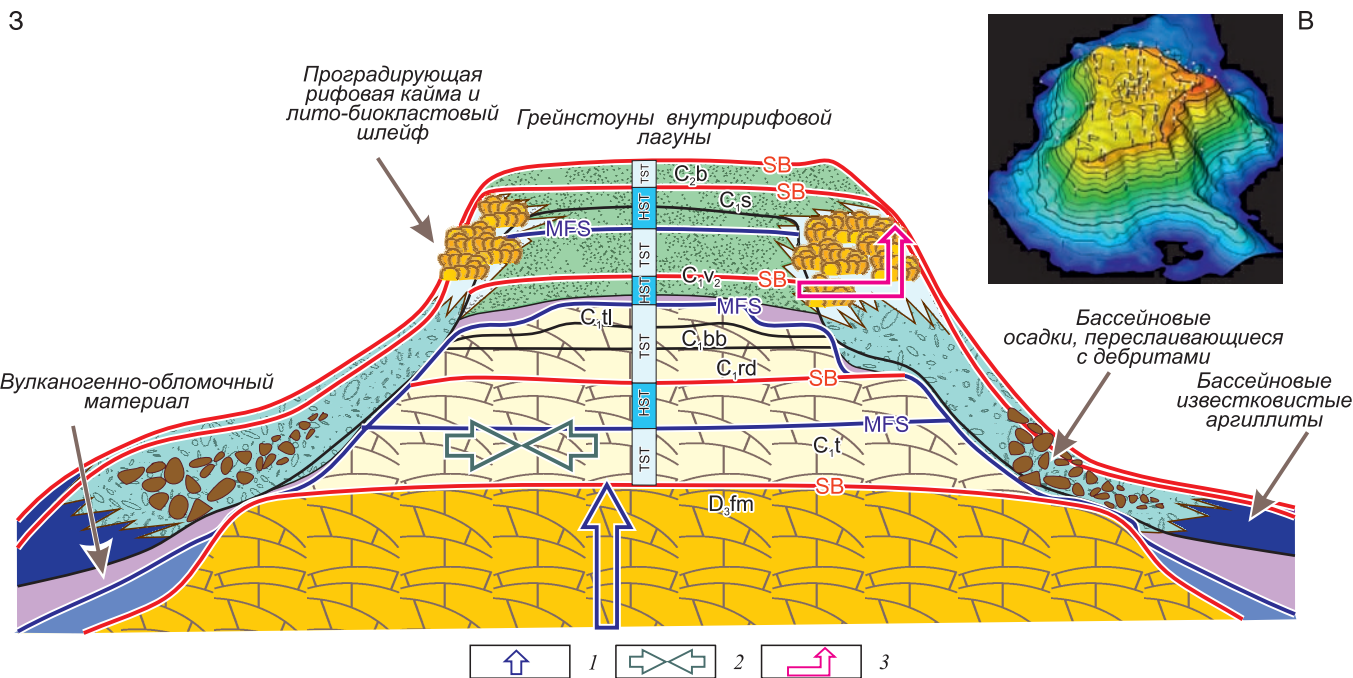


Рис. 13. Седиментационная модель изолированной карбонатной платформы Тенгиз (с использованием Harris et al., 2008). 1 – агградация; 2 – отступление; 3 – проградация; MFS – поверхность максимального затопления; SB – граница секвенции; системные тракты: TST – трансгрессивный; HST – высокого стояния

последовательное уменьшение в осадконакоплении роли наиболее активно создающих карбонатный материал каркасных организмов.

Самые молодые органогенные постройки на рассматриваемой платформе датируются серпуховским веком. Они представляли собой типичные микробиальные холмы, растущие на краю платформы. Замедление темпов образования карбонатного материала на окраине платформы привело в это время к изменению типа склона: эрозионный склон сменился аккреционным, что обеспечило возможность проградации построек на ширину аккумулятивной террасы, формируемой передовым шлейфом.

Основная углеводородная продуктивность платформы Тенгиз связана с каменноугольными отложениями. Приуроченные к ним коллекторы обладают очень изменчивыми ФЕС, транслирующими условия накопления карбонатного материала в различных частях платформы. В общем балансе коллекторов продуктивного разреза основную роль играют отложения карбонатных отмелей, расположение которых контролируется рельефом подстилающей рифовой системы. Высокая энергетика вод способствовала накоплению лито- биокластовых, оолитовых

известняков, практически лишенных микритового материала, с хорошо развитой системой пор и межзерновых каналов, а частые выходы в приповерхностные условия приводили к активному выщелачиванию.

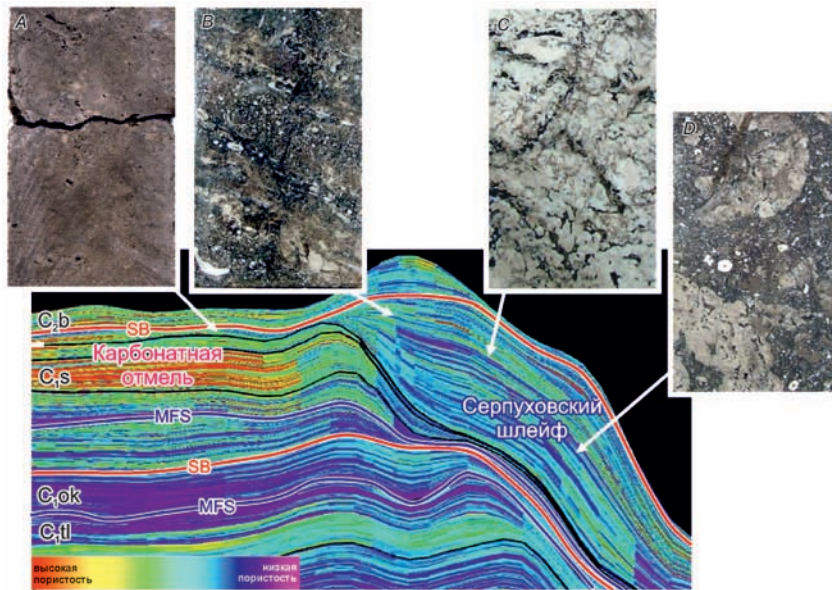


Рис. 14. Распределение коллекторов различных типов в структуре изолированной карбонатной платформы Тенгиз (Harris et al., 2008 с изменениями и дополнениями). На врезках: А – оолитовые и биокластовые грейнстоуны; В – биокластовые пакстоуны; С – микробиальные баундстоуны; D – литокластовые флаутстоуны (брекчии с обломками баундстоунов); MFS – поверхность максимального затопления; SB – граница секвенции

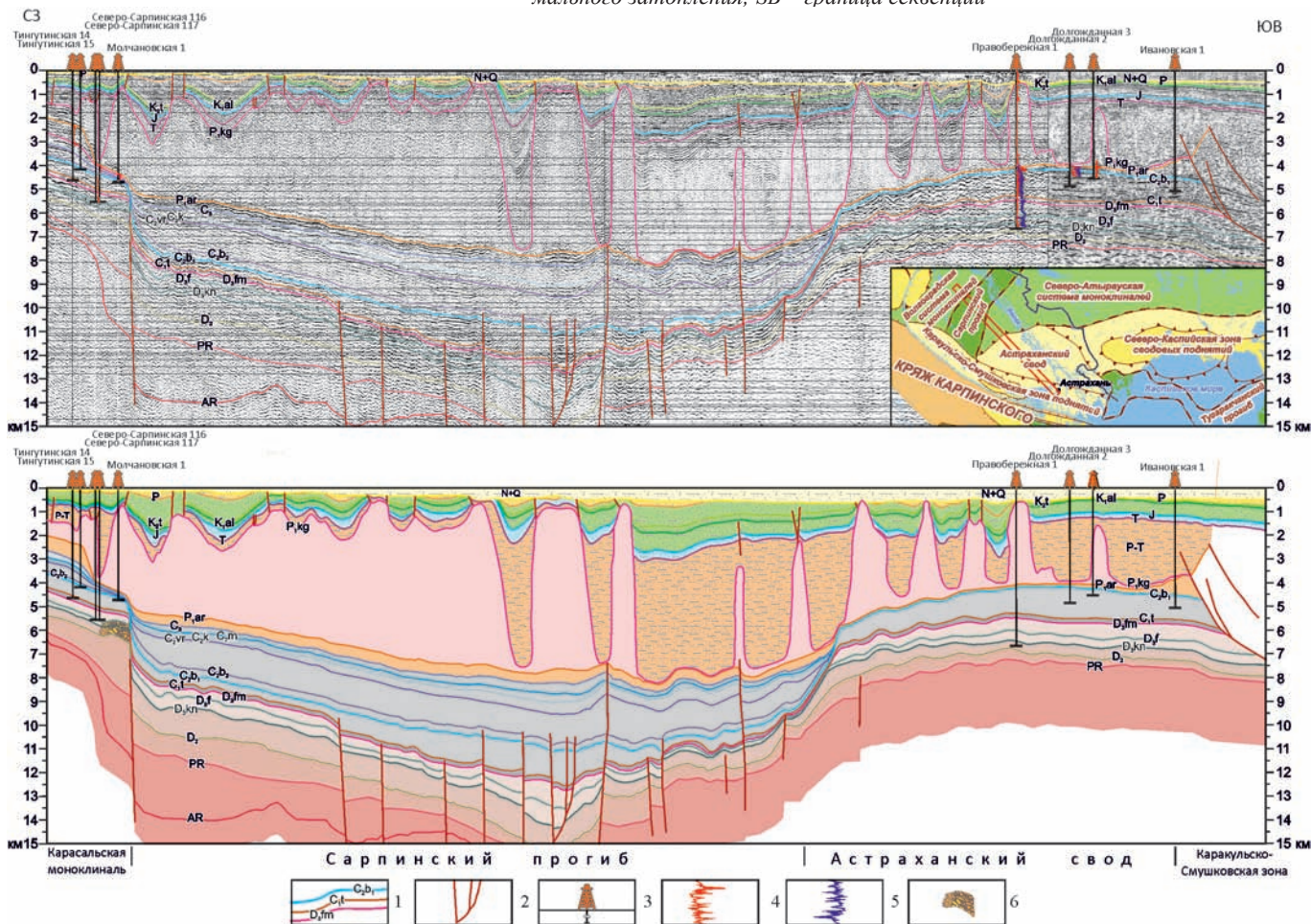


Рис. 15. Сейсмогеологический разрез по региональному профилю Оренбург-Маныч: 1 – отражающие горизонты, 2 – разрывные нарушения, 3 – скважины, 4 – гамма картаж, 5 – нейтронный гамма картаж, 6 – карбонатные постройки

Топографические низины служили местом накопления осадков с существенно меньшим емкостным потенциалом и, соответственно, худшими свойствами встречаемых в них коллекторов.

В массивных микробиальных каркасах, обволакивающих вертикально «стоящие» скелеты мшанок, цементирующий микритовый и пелоидный материал практически нацело заполняет межкаркасные поры. Вместе с отложениями шлейфа, сложенными продуктами разрушения построек, они формируют коллекторы главным образом трещинного типа (Рис. 14).

Еще одна область накопления будущих коллекторов – склон карбонатной платформы с преобладающей дебрисной седиментацией. Здесь разрез серпуховского и башкирского ярусов формируют грубообломочные брекчии, практически не содержащие микритового цемента, состоящие из обломков микробиальных каркасов, снесенных с верхнего склона, и зернистого био-литокластово-оолитового матрикса.

Экраном в этом полигенном резервуаре служат кунгурские соли, перекрывающие различные по условиям образования и петрофизическим свойствам коллекторы. Несмотря на наличие в разрезе резервуара нижнепермской толщи рассеивания, большая высота и резкая морфологическая выраженность платформы, обеспечила значительный вертикальный диапазон его продуктивности.

Астраханская карбонатная платформа отличается от рассмотренной выше не только большими размерами, рамповым склоном (Рис. 15), но и более стабильными условиями седиментации, существовавшими в ее пределах, начиная с позднефранской эпохи до второй половины башкирского века.

На протяжении этого времени осадконакопление осуществлялось в условиях мелководного бассейна, где господствовала биокластовая (и сопутствующая ей) седиментация. В результате была создана мощнейшая карбонатная платформа, занимавшая площадь свыше 25 тыс км², в которой известняки и доломиты слагают толщу более 2000 м. Отсутствие рифовой каймы, столь характерной для платформ Астраханско-Актюбинской зоны поднятий, возможно, объясняется выровненным рельефом дна акватории, существовавшей на Астраханской платформе на протяжении всего развития. Об этом свидетельствуют близкие толщины стратонев в скважинах, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, и практически одинаковое их литологическое наполнение. Самыми изменчивыми по толщине являются отложения верхнего франа, которые, вероятно, заполняли неровности предшествующего рельефа. Однако уже к фаменскому веку эти неровности были сnivelированы, и фаменские отложения повсеместно представлены толщей карбонатных пород, среди которых преобладают биокластовые известняки и развитые по ним вторичные доломиты. В разрезе скважин встречаются также небольшие пласты вторичных доломитов по микробиальным каркасам, «строителями» в которых выступают цианиды. По-видимому, они формировали небольшие микробиальные холмы, амплитуда которых вряд ли превышала 20-30 м, поскольку рост этих холмов ограничивался незначительным аккомодационным

пространством, характерным для такого рода обстановок осадконакопления. Но, в целом по платформе, их распространение было, по-видимому, достаточно широким, особенно в фаменский век.

Турнейское повышение ОУМ на Астраханской платформе отразилось в увеличении в составе карбонатных осадков микритовых разностей, обогащенных в отдельных слоях глинистым, кремнистым и(или) битуминозным материалом. Органогенные остатки встречаются редко; среди них преобладают перекристаллизованные обломки ветвей кораллов, погруженные в глинисто-карбонатную основную массу, либо неопределимый шламодетрит.

Одно из самых существенных углублений морского бассейна в пределах Астраханской платформы соотносится, как и на Тенгизе, с тульским временем. Оно фиксируется присутствием устойчивой битуминозной пачки известняков, играющей роль в разрезах подсолевых отложений Прикаспийской синеклизы одного из основных стратиграфических и событийных коррелятов. Однако на Астраханской платформе это событие не привело к ее затоплению, как это имело место на большинстве изолированных платформ, и, начиная с серпуховского века, в ее пределах господствовала мелководная биокластовая седиментация.

Подобное развитие платформы предопределило неблагоприятные в целом условия формирования резервуаров. В областях стабильного распространения мелководно-шельфовых отложений коллекторы развиты достаточно широко, однако на большей части рассматриваемого региона подсолевая часть разреза характеризуется неблагоприятным соотношением коллекторов и покрышек. Последнее обстоятельство объясняет, вероятно, отсутствие скоплений УВ в отложениях древнее серпуховско-башкирских. Последние совместно с перекрывающими породами нижней перми образуют трехслойные резервуары, в которых башкирские (а в зонах их отсутствия серпуховские) известняки содержат пласты-коллекторы, кремнисто-глинистые породы сакмара и арта представляют собой толщу рассеивания, а истинной покрышкой служат кунгурские ангидриты и соли.

Практически повсеместно продуктивные коллекторы характеризуются однородным литологическим составом. Среди них основную роль играют микритово-биокластовые известняки, сформированные органическими остатками широчайшего видового состава (багряных, зеленых и сине-зеленых, сифоновых водорослей, криноидей, мшанок, остракод, фораминифер). Несмотря на активные процессы субаэрального выщелачивания, в башкирских отложениях преобладают коллекторы невысокой емкости: коэффициенты пористости известняков и доломитов не превышают 10-15%, составляя в среднем 3-5%; проницаемость – до 10-50 мД.

Заключение

Таким образом, предлагаемая статья иллюстрирует попытку ее авторов создания генерализованной модели формирования подсолевых толщ и разработки схемы взаимосвязи процессов накопления карбонатных осадков и их углеводородной продуктивности.

В процессе работы высветилось множество проблем и нерешенных вопросов, которые требуют дополнительного анализа и в какой-то мере стимулируют дальнейшие исследования. Очевидно, применение полученных результатов в практике нефтегазопроисковых работ может иметь большое значение, поскольку оценка углеводородной продуктивности недр невозможна без прогноза пространственного распределения разнофациальных отложений, играющих роль аккумулялирующих и консервирующих толщ. Выявленные закономерности пространственно-временных соотношений образования основных элементов природных резервуаров, отвечающих за нефтегазоносность подсольевых отложений, в какой-то мере могут служить той базой, на которой основан прирост запасов углеводородного сырья, так необходимого для Прикаспийского региона.

Литература

- Абилхасимов Х.Б. Условия формирования резервуаров подсольевых отложений Прикаспийской впадины и оценка их нефтегазоносности. Автореф. дисс. д. геол.-мин. наук. Москва. 2011.
- Жемчугова В.А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. М: ООО «ЕАГЕ Геомодель». 2014. 232 с.
- Никишин А.М. и др. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы. Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». М: Геокарт. 2005. Вып.1. 388 с.
- Черницкий А.В. Геологическое моделирование нефтяных залежей массивного типа в карбонатных трещиноватых коллекторах. М: ОАО РМНТК «Нефтеотдача». 2002.
- Harris P.M., Collins J.F., Putney K.L., Zhumagulova A., Fischer D. Stratigraphic architecture, lithofacies, and reservoir quality: Tengiz and Korolev Fields, Caspian Basin, Kazakhstan. *AAPG Search and Discovery*. Article №20053. 2008.
- Schlager W. The paradox of drowned reefs and carbonate platforms. *Geological Society of America Bulletin*. 1981. Vol. 92. Pp. 197-211. doi:10.1130/0016-7606(1981)92
- Tucker M.E., Wright V.P. Carbonate sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1996.

Сведения об авторах

Валентина Алексеевна Жемчугова – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: zem@gds.ru

Елена Юрьевна Макарова – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: lenamakarova87@yandex.ru

Юрий Владимирович Наумчев – аспирант кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: y.naumchev@gmail.com

Николай Дмитриевич Макаров – аспирант кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: n91mak@yandex.ru

Виктор Викторович Панков – магистр геологии, инженер кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: vicvicpankov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.03.2017;

Принята к публикации 27.04.2017; Опубликовано 20.05.2017

Carbonate reservoirs of subsalt deposits of the Caspian syncline

V.A. Zhemchugova, E.Yu. Makarova, Yu.V. Naumcheev, N.D. Makarov, V.V. Pankov
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The Caspian syncline is one of the most promising hydrocarbon regions in Russia and Kazakhstan, which is confirmed by the discovery in recent years of large oil and gas fields within its borders. The presence in the Caspian syncline at several stratigraphic levels of clay-carbonate deposits enriched with dispersed organic matter, a sufficiently high degree of their catagenetic transformation, the passage of the so-called «oil window» – all indicates a favorable situation for the generation of hydrocarbons in the region under consideration. The spread of possible accumulations of oil and gas in the subsalt sediments of the syncline is mainly controlled by the quality of the reservoirs and impermeable layers. The proposed article illustrates the authors' attempt to create a generalized model for the formation of subsalt strata and to develop a scheme for the interrelationship between the processes of accumulation of carbonate sediments and their hydrocarbon productivity. The application of the obtained results to the practice of oil and gas prospecting can be of

great importance, since the evaluation of the hydrocarbon productivity of the subsoil is impossible without the prediction of the spatial distribution of differentfacial deposits playing the role of accumulating and preserving strata. The revealed regularities of the space-time relationships of the formation of the main elements of natural reservoirs responsible for the oil and gas content in the subsalt sediments can serve to some extent as a base for the growth of hydrocarbon reserves, which is so necessary for the Caspian region.

Keywords: the Caspian syncline, natural reservoir, banded carbonate platform, isolated carbonate platform, ramp valley

For citation: Zhemchugova V.A., Makarova E.Yu., Naumchev Yu.V., Makarov N.D., Pankov V.V. Carbonate reservoirs of subsalt deposits of the Caspian syncline. *Georesursy = Georesources*. 2017. Special issue. Part 2. Pp. 194-207. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.20>

References

Abilhasimov H.B. Conditions for the formation of reservoirs of subsalt deposits of the Caspian depression and an assessment of their oil and gas potential. *Avtoref. Diss. dokt. geol.-min. nauk* [Abstract Dr. geol. and min. sci. diss.]. Moscow. 2011. (In Russ.)

Chernickiy A.V. Geologicheskoe modelirovanie nefjtjanyh zalezhej massivnogo tipa v karbonatnyh treshhinovatyh kollektora [Geological modeling of oil deposits of massive type in carbonate fractured reservoirs]. Moscow: OAO RMNTK «Nefteotdacha». 2002. (In Russ.)

Harris P.M., Collins J.F., Putney K.L., Zhumagulova A., Fischer D. Stratigraphic architecture, lithofacies, and reservoir quality: Tengiz and Korolev Fields, Caspian Basin, Kazakhstan. *AAPG Search and Discovery*. Article №20053. 2008.

Nikishin A.M. et al. 400 million years of geological history of the southern part of Eastern Europe. *Seriya analiticheskikh obzorov «Ocherki po regional'noygeologii Rossii»* [A series of analytical reviews «Essays on regional geology of Russia»]. Moscow: Geokart. Is. 1. 2005. 388 p. (In Russ.)

Schlager W. The paradox of drowned reefs and carbonate platforms. *Geological Society of America Bulletin*. 1981. Vol. 92. Pp. 197-211. doi:10.1130/0016-7606(1981)92

Tucker M.E., Wright V.P. Carbonate sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1996.

Zhemchugova V.A. Rezervuarnaya sedimentologiya karbonatnyh otlozheniy [Reservoir sedimentology of carbonate deposits]. Moscow: JSC«EAGE Geomodel». 2014. 232 p. (In Russ.)

About the Authors

Valentina A. Zhemchugova – DSc in Geology and Mineralogy, Professor, Petroleum Geology Department Lomonosov Moscow State University Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1 e-mail: zem@gds.ru

Elena Yu. Makarova – PhD in Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Petroleum Geology Department Lomonosov Moscow State University Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1

Yurii V. Naumchev – PhD student, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1 e-mail: y.naumchev@gmail.com

Nikolai D. Makarov – PhD student, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1 e-mail: n91mak@yandex.ru

Viktor V. Pankov – Master of Geology, Engineer, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University Russia, 119234, Moscow, Leninskie gory, 1 e-mail: vicvicpankov@gmail.com

*Manuscript received 20 March 2017;
Accepted 27 April 2017; Published 20 May 2017*