

УДК 622.276.63:[552.578.061.4:552.54](470.41)

**Мисолина Н.А., Насибулин И.М.**ОАО «НИИнефтепромхим», Казань, Россия, [info@neftpx.ru](mailto:info@neftpx.ru)

## **ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КАРБОНАТНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ ВОСТОЧНОГО БОРТА МЕЛЕКЕССКОЙ ВПАДИНЫ**

*Рассмотрены причины различной эффективности кислотного воздействия на продуктивные карбонатные пласты турнейского и башкирского ярусов и верейского горизонта. Показано решающее влияние геологических параметров.*

**Ключевые слова:** Мелекесская впадина, карбонатные породы-коллекторы, нижний и средний карбон, кислотное воздействие.

В карбонатных породах-коллекторах, по различным оценкам, сосредоточено от 38 до 60% запасов углеводородов [Хисамов и др., 2006]. На территории Республики Татарстан большинство месторождений в этих коллекторах территориально приурочено к восточному борту Мелекесской впадины и Южно-Татарскому своду. Запасы (до 35-40% и более) сосредоточены преимущественно в отложениях нижнего и среднего карбона. Однако доля извлекаемых запасов не более 10-15%. Это связано со специфическим строением карбонатных пород-коллекторов. Как правило, они характеризуются сложным строением порового пространства, полиминеральным составом, широким диапазоном фильтрационных свойств и т.д. Несмотря на множество существующих методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации притока нефти, основным действенным методом, обеспечивающим повышение нефтеизвлечения из карбонатных коллекторов, остается кислотное воздействие. Тем не менее, эффективность различных технических решений на основе воздействия соляной кислоты, реализованных в карбонатных коллекторах, существенно различаются. Ранее при изучении воздействия кислотных обработок карбонатных пород в лаборатории отдела «Проектирования, разработки и внедрения МУН пластов» ОАО «НИИнефтепромхим» были получены результаты солянокислотных воздействий на основные карбонатные породы-коллекторы месторождений Республики Татарстан.

Оказалось, что при равных технических, технологических параметрах обработок, реализуемых в карбонатных отложениях разных месторождений, величины эффекта отличаются. Это связано с тем, что среди многообразия факторов, влияющих на эффективность воздействия, решающее влияние оказывают *геологические факторы*. На основе совокупности существовавших ранее обстановок осадконакопления, постседиментационных преобразований и тектонических процессов были сформированы

геологические характеристики карбонатных пород-коллекторов [Васясин и др., 2008]. Каждый отрезок геологической истории характеризуется определенными фациальными обстановками, которые формируют основные свойства пород-коллекторов. Наиболее эффективными являются обработки, проведенные в породах турнейского яруса, затем идут кислотные воздействия, реализованные в породах башкирского яруса. Самый худший результат - в отложениях фаменского яруса.

Существуют несколько классификаций карбонатных пород [Морозов, Козина, 2007]. Наиболее широко используются две из них: вещественная и структурно-генетическая. Была принята структурно-генетическая классификация известняков, отражающая особенности их строения и формирования, возможность интерпретации вторичных изменений.

В породах *башкирского* яруса выделяются три продуктивных пласта. Все пласты неоднородны по литологическому составу, коллекторским свойствам и нефтенасыщенности. Отложения яруса рассмотрены на примере скв. 2511 Зюзеевского месторождения (рис. 1).

На основе петрографического изучения шлифов, выделяются два основных типа известняков:

1. биокластово-зоогенные I и II типов;
2. пелитоморфные.

В целом по разрезу заметно преобладают биокластово-зоогенные известняки.

#### *Известняки биокластово-зоогенные*

*Первый тип* – представлен равномерно нефтенасыщенными известняками, в которых обычно гранулированные органические остатки имеют поровый тип цементации. Цемент спаритовый по структуре, не полностью заполняет пространство между органическими остатками. Известняки кавернозны из-за процессов выщелачивания (рис. 2).

*Второй тип* – плотные светло-серые породы. Однородные по текстуре, под микроскопом характеризуются базальным типом цементации биоморфных и гранулированных органических остатков. Цемент может быть сложен как микритом, так и спаритом, выполняющим всё межформенное пространство.

*Пелитоморфные* известняки встречаются в виде маломощных пластов, более распространены в его нижней части в виде светлых плотных, реже слабо неравномерно насыщенных участков пород. Под микроскопом представляют собой плотную микрозернистую массу кальцита с включениями фрагментов органических остатков, обычно брахиопод. По данным рентгенографического определения компонентного состава известняки сложены кальцитом.

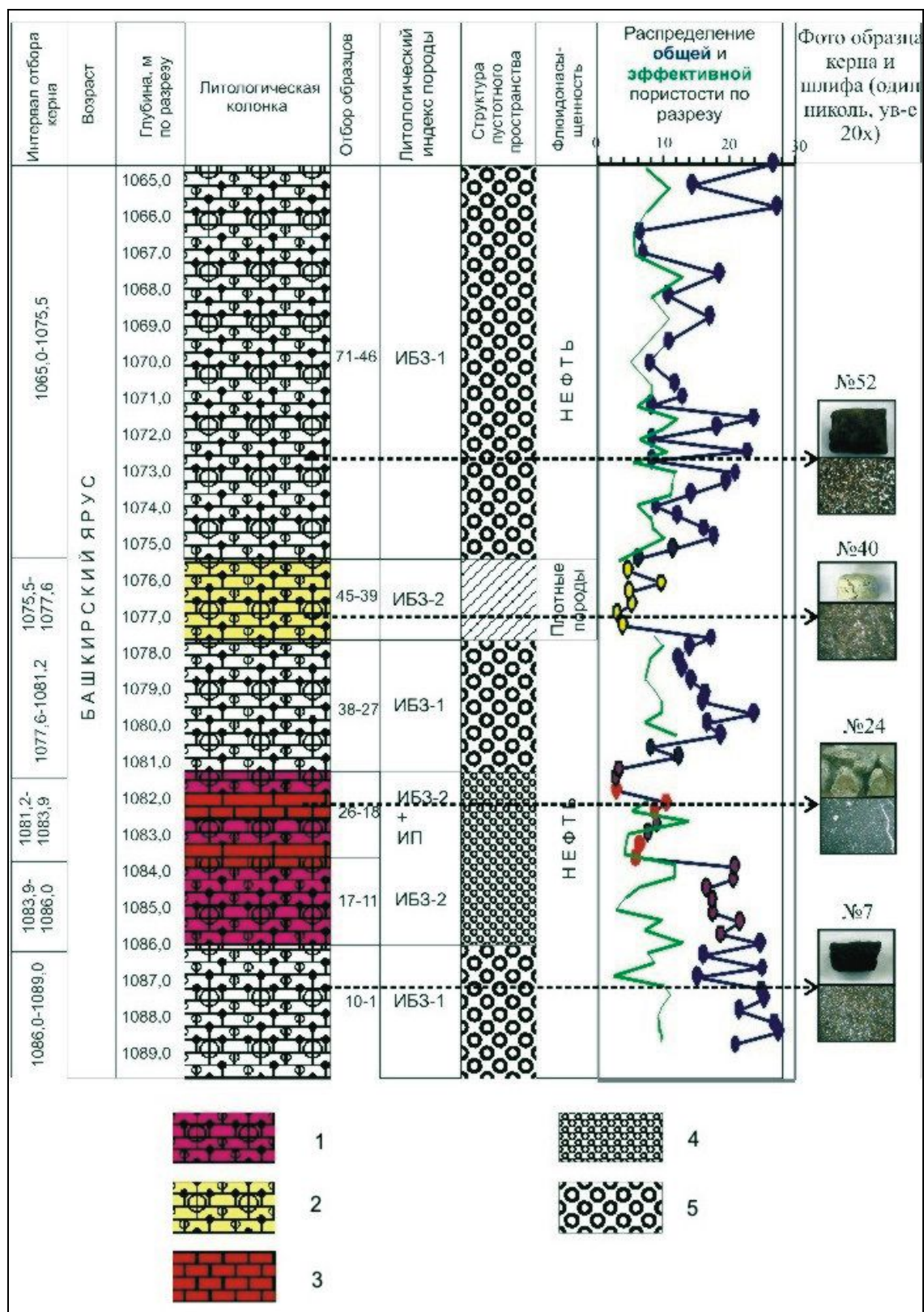
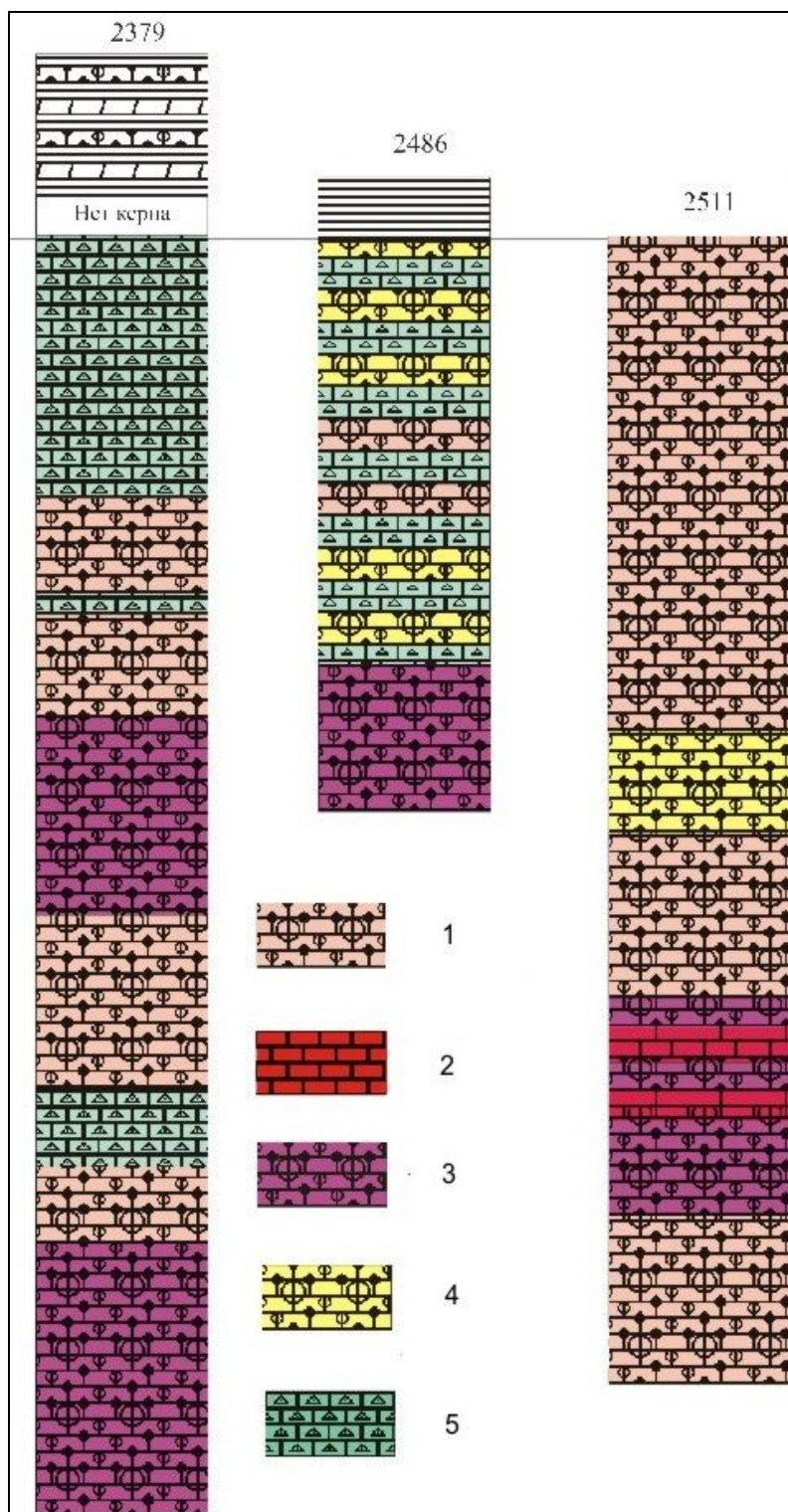


Рис. 1. Сводная таблица данных по скв. 2511 Зюзеевского месторождения

При построении литологических колонок использованы данные Морозова В.П. (2007, 2008 гг.).

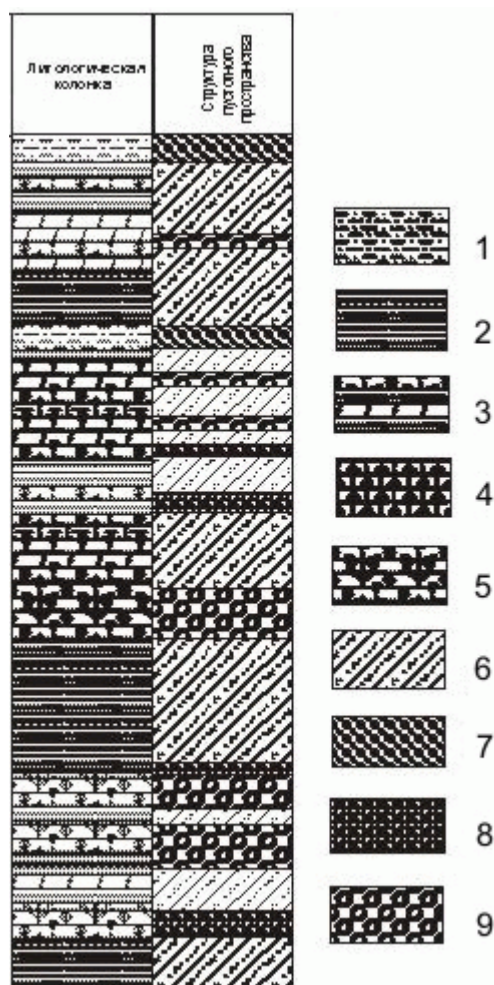
1 – ИБЗ-2 (неравномерная нефтенасыщенность); 2 – ИБЗ-2 (плотные породы); 3 – известняки пелитоморфные; 4 – кавернозность неравномерная; 5 – кавернозность равномерная.



**Рис. 2. Литологические колонки скважин 2379, 2486, 2511  
Зюзеевского нефтяного месторождения**

*1 – известняки биокластово-зоогенные I типа; 2 – известняки пелитоморфные; 3 – известняки биокластово-зоогенные II типа; 4 – известняки биокластово-зоогенные II типа (плотные породы); 5 – известняки литокластовые.*

Также в разрезах башкирских отложений встречаются другие структурно-генетические различия известняков (рис. 3).



**Рис. 3. Литологическая колонка скв. 2486 Зюзеевского месторождения (верейский горизонт)**  
 1 – алевролиты; 2 – аргиллиты; 3 – переслаивание аргиллитов, мергелей и ИБЗ; 4 – известняки литокластовые; 5 – известняки биокластово-зоогенные; 6 – плотные породы; 7 – гранулярная пористость в алевролитах; 8 – кавернозность неравномерная; 9 – кавернозность равномерная.

*Литокластовые* известняки – сложены различающимися по форме и размерам обломками и цементирующим их материалом. Окраска пород светло-серая до белой. Обломки, как правило, неокатаны или слабо окатаны, сложены известняками биокластово-зоогенными *II типа*, пелитоморфными, строматолитовыми. Обломки скреплены микритом, нередко спаритом, формирующими неравномернозернистую структуру.

*Строматолитовые* известняки – в качестве самостоятельных слоёв в отложениях башкирского яруса встречаются редко. Текстура строматолитов слоистая, осложненная почковидными раздувами и сужениями.

Изучение образцов керна и шлифов показало, что среди вторичных изменений в отложениях башкирского яруса обнаруживаются следующие: выщелачивание, кальцитизация, перекристаллизация, окремнение, доломитизация, сульфатизация.

В разрезе данной скважины встречены только выщелачивание и кальцитизация. Процесс выщелачивания развит достаточно широко. Характер выщелачивания изменчив, что определяется структурно-генетическим различием слагающих разрез известняков и, соответственно, их различной подверженности этому процессу. По характерным морфологическим особенностям в разрезе можно выделить лишь два типа выщелачивания:

1 – формирующий *равномерную* кавернозность в биокластово-зоогенных известняках с поровым типом цементации органических остатков;

2 – формирующий *неравномерную* кавернозность в биокластово-зоогенных известняках с преимущественно порово-базальным типом цементации органических остатков.

Первый тип развит весьма широко, второй встречается гораздо реже.

В разрезах *верейского* горизонта выделяются до шести продуктивных пластов. По литологическому составу, коллекторским свойствам, а также по характеру нефтенасыщенности они неоднородны. По простиранию пласты относительно выдержаны, кроме пласта  $S_{ver1}$ , который имеет линзовидное или прерывистое строение, и пласта  $S_{ver6}$ , который на некоторых площадях не выделяется. На Зюзеевском месторождении горизонт (рис. 3) представлен переслаивающимися терригенно-карбонатными породами: алевролитами, мергелями, аргиллитами и различными типами известняков, аналогичных известнякам башкирского яруса.

Разрез *турнейских* отложений (рис. 4) представляет собой *ритмичное* чередование пористо-проницаемых пластов-коллекторов и уплотненных покрышек. В турнейском ярусе пласты-коллекторы представлены в основном биокластово-зоогенными (малевский и упинский горизонты и верхняя часть кизеловского горизонта), биокластово-фитозоогенными (нижняя часть кизеловского яруса), биокластово-фитогенными (черепетский горизонт и кровельная часть кизеловского горизонта), а также пелитоморфными известняками в нижней части упинского горизонта.

Биокластово-зоогенные известняки турнейского яруса аналогичны таким же известнякам башкирского яруса и верейского горизонта.

Основными форменными структурными компонентами биокластово-зоогенных известняков являются гранулированные раковины фораминифер, биокластово-фитогенных – водорослевый детрит [Морозов, Козина, 2007].

Достаточно высокая выдержанность данных типов известняков турнейского яруса по площади и разрезу позволяют говорить об *однотипном формировании* осадков на обширных

территориях. Границы между выделенными известняками не резкие, в разрезе *присутствуют* переходные породы.

Нефтенасыщенные карбонатные породы турнейского яруса образуют массивные резервуары, что связано с большой мощностью слагающих ярус известняков и с наличием перекрывающих их «хороших» пород-флюидоупоров [Муслимов и др., 1999].


Ярус	Подъярус	Горизонт	Литологическая колонка	Мощность, м	Краткая характеристика пород
Турнейский	Верхний	Кизеловский		0,5	Известняки биокластово-фитогенные, слабо линистые
		Черепетский		10-29	Известняки биокластово-зоогенные (преимущественно в верхней части), биокластово-фитозоогенные и биокластово-фитогенные (в нижней части)
	Упинский + Малевский	13-32		Известняки биокластово-фитогенные слабо линистые, с редкими маломощными слоями и линзами биокластово-фитозоогенных и биокластово-зоогенных	
	Нижний	Упинский + Малевский		35 и более	Преимущественно биокластово-зоогенные известняки

Рис. 4. Сводный литологический разрез турнейского яруса

Осадконакопление в турнейский век происходило в условиях эпиконтинентального шельфа морского бассейна. Особенностью разреза турнейского яруса является возможность его расчленения на горизонты по литологическим признакам. Стратификация разрезов

турнейского яруса достаточно уверенно проводится и по данным ГИС, т.к. слагающие их типы известняков образуют пространственно выдержанные пласты [Морозов, Козина, 2007].

Установлено, что в турнейском ярусе коллекторы по разрезу распределяются периодически и имеют региональный характер [Хайретдинов, 1967]. Тектоническое развитие территории РТ в турнейском веке было тесно связано с тектоническим режимом Русской платформы. На фоне общего подъёма территории в турнейском веке произошло не менее четырёх опусканий. В связи с этим фациальная картина турнейского века представляется очень насыщенной. На фациально-палеогеографической карте представлены фации эвфотической зоны шельфа (1), прибрежного мелководья (2), переходные фации от заглубленных к приподнятым участкам дна (3) и фации заглубленных участков дна (4) (рис. 5). Такой пульсационный характер тектонических движений существенно менял фациальные условия осадконакопления. В связи с этим, состав и количественное содержание известняков по разрезу меняются.

Осадконакопление в башкирском веке происходило при трансгрессии моря, которая развивалась с востока и юго-востока на Русскую платформу. На территории Татарстана происходило медленное компенсированное осадконакоплением погружение. Для Волго-Уральской области этого времени характерны нисходящие движения. Но были районы (центральная часть западного склона Южно-Татарского свода и крайний запад Татарстана), которые представляли собой в башкирский век наиболее мобильные зоны. В соответствии с таким рельефом и пульсационным характером тектонических движений, в различные отрезки башкирского века эти участки выводились из-под уровня моря [Шакиров, 2003].

В составе башкирского яруса на территории Татарстана выделено две группы фаций: фации прибрежно-морского мелководья (2) и фации мелководного шельфа (1).

Фации прибрежно-морского мелководья встречены на восточном склоне Токмовского свода, на территории Казанско-Кировского прогиба и в зоне смыкания западного склона Южно-Татарского свода с восточным бортом Мелекесской впадины.

Фации мелководного шельфа пользуются распространением на всей остальной территории Татарстана (рис. 5).

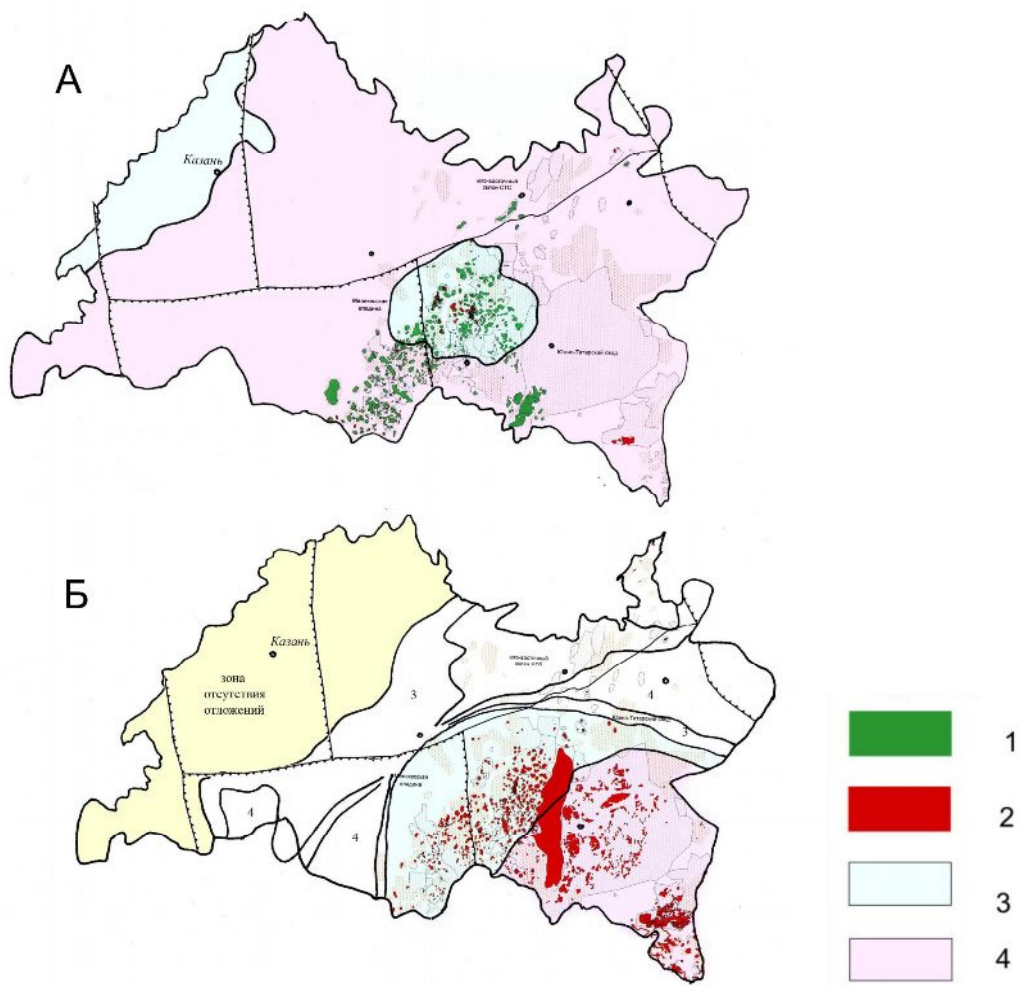
Распространение проницаемых прослоев по толщине и площади пород башкирского возраста не имеет какой-либо закономерности, в отличие от турнейского яруса. Корреляция разрезов даже соседних скважин в большинстве случаев не удаётся ни по данным ГИС, ни по литологическим критериям. Породы выделенных типов известняков в турнейских, башкирских и верейских отложениях отличаются друг от друга не только по структуре, но и



по условиям образования и вторичного преобразования. Это, в свою очередь, определяет существенные отличия их по коллекторским свойствам.

В турнейских отложениях кавернозность равномерно распространена по разрезу и простиранию. Форма каверн близка к изометричной, размеры имеют близкие значения. Формирование каверн происходило в условиях системы, термодинамически близкой к закрытой [Васясин и др., 2008].

В разрезе башкирского яруса распределение кавернозности не подчиняется какой-либо чёткой закономерности. Связано это с тем, что ярус сложен известняками различных структурно-генетических типов и с неравномерной вторичной изменчивостью этих известняков. Так называемая первичная кавернозность развивается в пористо-проницаемых разностях известняков с изначально благоприятной структурой пор. А вновь образованная кавернозность характерна для плотных пород.



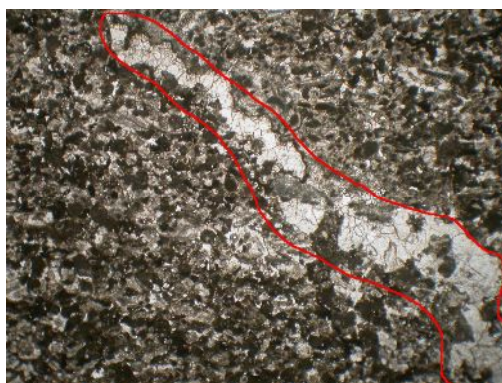
**Рис. 5. Фациально-палеогеографические карты Татарстана**  
 А – башкирского, Б - кизеловского времени (составил Г.И. Васясин)  
 [Муслимов и др., 1999; Васясин и др., 2008]

*Залежи нефти в 1 – башкирском ярусе; 2 – турнейском ярусе; 3 – прибрежно-морские фаши; 4 – фаши мелководного шельфа.*

Согласно исследованиям (Дияшев Р.Н., 1998), первичная пористость в отложениях турнейского яруса составляет 30-35%, а вторичная 65-70%. В башкирском ярусе эти значения существенно отличаются и составляют 15-20% и 80-85% соответственно. В верейских – 40 и 60%. Следовательно, формирование фильтрационно-емкостных свойств карбонатов башкирского яруса происходило с преобладанием вновь образованной кавернозности.

Также суммарное значение плотных прослоев в турнейском ярусе существенно ниже, чем в башкирском ярусе, а тем более в верейском горизонте. Для турнейского яруса характерно незначительное количество ангидрита в разрезе, тогда как в некоторых разрезах верейского горизонта эта величина достигает 15% и более [Муслимов и др., 1999].

Для пластов-коллекторов в башкирских отложениях свойственна значительная неоднородность емкостно-фильтрационных свойств, обусловленная влиянием первичных условий осадконакопления и вторичных процессов, связанных с кальцитизацией (рис. 6), перекристаллизацией, выщелачиванием и трещиноватостью.



**Рис. 7. Известняк биокластово-зоогенный, нефтенасыщенный с прожилком вторичного кальцита скв. 2486 Зюзеевского месторождения (башкирский ярус)**

Кроме минералогического состава пород продуктивных отложений на эффективность воздействия соляной кислотой оказывает тип коллектора. Для турнейского яруса характерен **поровый** тип коллектора, реже порово-каверновый, в башкирском ярусе и верейском горизонте преобладает **порово-каверново-трещинный** тип коллектора.

Проницаемость порового коллектора увеличивается в зависимости от наличия поровых каналов больших диаметров - чем больше количество поровых пространств, вступающих в контакт с кислотой, тем значительно увеличивается пористость и проницаемость. В этом случае повышенный эффект достигается лишь использованием значительных объёмов закачиваемого реагента. Карбонатные породы с трещиноватым поровым пространством характеризуются сетью трещин, являющейся нефтепроводящей системой. Нужный эффект

от воздействия может быть получен не увеличением поперечного сечения трещин за счёт растворения их стенок кислотой, а увеличением раскрытости трещин в связи с их отчисткой (например, от АСПО). Наиболее же сложной разновидностью карбонатных коллекторов в отношении солянокислотного воздействия является трещинно-порово-каверновый коллектор в связи с крайне неоднородным строением пустотного пространства.

Как уже отмечалось выше, фациальная обстановка определяет разнообразие структурно-генетических разностей пород, структуру порового пространства. Затем в эпигенезе и диагенезе в результате процессов уплотнения, дегидратации, перекристаллизации, выщелачивания происходят вторичные изменения. Таким образом, тип порового пространства карбонатного коллектора и фильтрационно-емкостные свойства являются производными от первичных параметров и последующих постседиментационных изменений.

Исследователями было установлено, что наиболее благоприятными условиями формирования первичного пустотного пространства коллекторов являются обстановки прибрежной зоны открытого моря с высокой гидродинамической активностью водной среды [Шакиров, 2003]. Обстановки удаленных частей шельфа и бассейновых фаций формируют более низкоёмкие коллекторы.

Обстановки приливно-отливной зоны морского бассейна со следами субаэральных обстановок образуют пустотное пространство сложной конфигурации – каверны, поры лапчатой и щелевидной форм. Но для органогенных известняков развитие вторичных изменений, а именно процессов выщелачивания, способно обеспечить их высокие коллекторские свойства [Морозов, Козина, 2007].

В республике Татарстан для воздействия на призабойную зону скважин, сложенных продуктивными отложениями верей-башкирского и турнейского возрастов были использованы технологии на основе соляной кислоты, растворителей, ПАВ и др. Оказалось, что лучший результат был получен в отложениях, представленных коллекторами прибрежно-морского генезиса, значительно хуже результат по отложениям мелководного шельфа [Шакиров, 2003].

Следовательно, наибольший эффект от кислотного воздействия в турнейском ярусе помимо указанных причин можно объяснить и фациальной обстановкой. Почти все месторождения, на которых было проведено кислотное воздействие, располагаются в зоне фаций прибрежно-морского мелководья (см. рис. 5). В башкирском веке эта группа фаций хоть и встречена в зоне смыкания западного склона Южно-Татарского свода с восточным

бортом Мелекесской впадины, большинство месторождений с продуктивными отложениями в башкирском ярусе с анализированными кислотным воздействием, остаются ею не затронуты (см. рис. 5).

Для большей наглядности об исследуемых параметрах карбонатных отложений башкирского яруса, некоторые данные (фото известняков, их шлифы, флюидонасыщенность, распределение общей и эффективной пористости по глубине, структура порового пространства) были сведены в таблицу (см. рис. 1). Значения пористости были получены методом ядерно-магнитного резонанса.

Таким образом, сегодня оперирование только общими понятиями проницаемости, пористости, типа коллектора при выборе методов воздействия на нефтяные пласты является недостаточным. Необходимо уделять больше внимания изучению влияния условий осадконакопления пород-коллекторов на эффективность применяемых технологий, а также их минералого-петрографическим исследованиям.

### Литература

*Васясин Г.И., Насибулин И.М., Харитонов Р.Р., Морозов В.П.* Геология и особенности применения технологий кислотного воздействия на карбонатный нефтяной пласт //Нефтепромысловое дело, 2008. - №10. - С. 35-39.

*Морозов В.П., Козина Е.А.* Карбонатные породы турнейского яруса нижнего карбона. – Казань: ПФ Гарт, 2007. – 201 с.

*Муслимов Р.Х., Васясин Г.И., Шакиров А.Н., Чендарев В.В.* Геология турнейского яруса Татарстана. – Казань, 1999. – 186 с.

*Хайретдинов Н.Ш.* К вопросу о формировании пористости в карбонатных породах. Вопросы геологии, разработки нефтяных месторождений, гидродинамики и физики пласта //Труды ТатНИПИ. – Ленинград: Недра, 1967. - Вып.10. - С. 226-235.

*Хисамов Р.С., Гатиятуллин Н.С., Либерман В.Б., Шаргородский И.Е., Хадидуллина Р.Н., Войтович С.Е.* Минерально-сырьевая база РТ. – Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2006. - 320 с.

*Шакиров А.Н.* Геологические основы применения методов увеличения нефтеотдачи в продуктивных отложениях палеозоя Татарстана. – СПб.: Недра, 2003. - 372 с.

**Misolina N.A., Nasibulin I.M.**

JSC «NIineftepromkhim», Kazan, Russia, [info@neftpx.ru](mailto:info@neftpx.ru)

## **GEOLOGICAL BASES OF APPLYING THE METHODS OF IMPACT ON CARBONATE RESERVOIRS, MELEKESSKAYA DEPRESSION EAST SLOPE**

*The causes of different efficiency of acid treating the productive carbonate beds of the Tournaisian and Bashkirian stages and Vereisk horizon are considered. The decisive role of geological parameters is shown.*

**Key words:** *Melekesskaya depression, carbonate reservoir rocks, Lower and Middle Carbonaceous, acid treatment.*

### **References**

*Vasâsin G.I., Nasibulin I.M., Haritonov R.R., Morozov V.P.* Geologiâ i osobennosti primeneniâ tehnologij kislotnogo vozdeystviâ na karbonatnyj neftânoj plast //Neftepromyslovoe delo, 2008. - #10. - S. 35-39.

*Morozov V.P., Kozina E.A.* Karbonatnye porody turnejskogo ârusa nižnego karbona. – Kazan': PF Gart, 2007. – 201 s.

*Muslimov R.H., Vasâsin G.I., Šakirov A.N., Čendarev V.V.* Geologiâ turnejskogo ârusa Tatarstana. – Kazan', 1999. – 186 s.

*Hajretdinov N.Š.* K voprosu o formirovanii poristosti v karbonatnyh porodah. Voprosy geologii, razrabotki neftânyh mestoroždenij, gidrodinamiki i fiziki plasta // Trudy TatNIPI. – Leningrad: Nedra, 1967. - Vyp.10. - S. 226-235.

*Hisamov R.S., Gatiâtullin N.S., Liberman V.B., Šargorodskij I.E., Hadiullina R.N., Vojtovič S.E.* Mineral'no-syr'evaâ baza RT. – Kazan': Izd-vo «Fèn» AN RT, 2006. - 320 s.

*Šakirov A.N.* Geologičeskie osnovy primeneniâ metodov uveličeniâ nefteotdači v produktivnyh otloženiâh paleozoâ Tatarstana. – SPb.: Nedra, 2003. - 372 s.