Problem-To-Solution Approach to Characterization and Differentiation of Pore Types in Carbonate Reservoirs

K.D. Shumatbaev* (BashNIPIneft LLC), O.R. Privalova (BashNIPIneft LLC), R.V. Akhmetzyanov (BashNIPIneft LLC), E.K. Gainullina (BashNIPIneft LLC), O.E. Kuchurina (Bashneft-Polus LLC), L.M. Shislova (USTU)

SUMMARY

The paper reviews the problems of differentiation of reservoirs with mixed types of voids including fractures, vugs and moldic pores for heterogeneous Lower Devonian and Upper Silurian carbonates of R. Trebsa oilfield (NAO) and Tournaisian-Frasnian carbonates of Tabynskoe oilfield (Bashkortostan) using core, wireline logs and production tests.

The algorithms are presented to obtain additional information on textural features of the reservoir facies from integration of core data with results of extended logging suite. The study results in the reservoir flow model based on the ratio of connected pores, secondary voids, clay content by volume and to a greater extent relative shaliness. Matching of permeabilities measured on samples in the laboratory both on whole-sized core and plugs to permeabilities estimated from well logs and flow tests revealed their different combinations in high-productivity and low-productivity wells producing from complex carbonates ranging in age from Upper Silurian to Lower Devonian on R. Trebsa oilfield and Upper Devonian to Lower Carboniferous on Tabynskoe oilfield. The integrated reservoir characterization from core data, special and standard methods of well logging, flow tests and production tests results in a new classification of reservoir facies and estimation of the range of the poroperm properties for the identified classes.

«Проблемы и пути решения дифференциации карбонатных коллекторов по структуре пустотного пространства»

К.Д. Шуматбаев* (ООО «БашНИПИнефть»), О.Р. Привалова (ООО «БашНИПИнефть»), Р.В. Ахметзянов (ООО «БашНИПИнефть»), Е.К. Гайнуллина (ООО «БашНИПИнефть»), О.Е. Кучурина (ООО «Башнефть-Полюс»), Л.М. Шишлова (ГНФ УГНТУ)

Введение

Карбонатные коллекторы характеризуются сложным строением пустотного пространства, обусловленным как процессами образования, так и постседиментационными преобразованиями. Выделение карбонатных коллекторов осложнено с тем, что в разрезе одного месторождения могут встречаться коллекторы с различным строением пустотного пространства и состоять из межзерновых пор, трещин, и каверн в различных их сочетаниях. В связи с этим вопрос выделения сложнопостроенных коллекторов неразрывно связан с их дифференциацией по типу пустотного пространства.

ООО «БашНИПИнефть» проводит сопровождение ГРП, ПЗ, подготовку ПТД и мониторинг разработки месторождений, продуктивность которых приурочена к коллекторам со сложным строением пустотного пространства и территориально расположенных в республиках Башкортостан и Татарстан, Оренбургской области и Ненецком автономном округе.

В данной работе рассматриваются вопросы выделения и дифференциации по данным керна, ГИС, ГДИС и ПГИ сложнопостроенных трещинных, трещинно-каверновых и трещинно-каверново-поровых карбонатных коллекторов нижнего девона и верхнего силура месторождения им. Р.Требса (НАО), и турней-франских отложений Табынского месторождения (РБ).

Метод

В работе кратко рассматриваются вопросы разделения пород на типы по структуре пустотного пространства по данным макро- и микроописания пород, по данным различных стандартных и специальных лабораторных исследований керна, выполненных на стандартных и полноразмерных образцах. На основании обобщения информации, полученной по керну, формируется представление о строении коллектора.

На втором этапе проводится сопоставительный анализ специального комплекса ГИС (электрические и акустические имиджеры, ЯМК, широкополосная акустика), направленного на изучение структуры пустотного пространства с данными керна, делаются выводы о наличии макронеоднородности (крупные каверны и трещины). Производится расчленение разреза скважин на однородные интервалы по типу пустотного пространства.

На следующем этапе производится сопоставление выделенных однотипных по структуре пустотного пространства коллекторов с данными работы скважин по ПГИ и ГДИС, делаются выводы о работе пласта и формируется перечень типов коллекторов, с помощью которых возможно описать работу пласта как коллектора в целом.

Далее на основе представления о строении коллектора, полученного по данным керна, специального комплекса ГИС, ПГИ и ГДИС, приводится анализ существующих методик выделения и дифференциации коллекторов по данным стандартного комплекса ГИС. По результатам проведенного анализа информативности методов и данных о комплексе ГИС на месторождении подбираются наиболее массовые и информативные методы ГИС, а также методики, способы и критерии, необходимые для выделения и дифференциации коллекторов по структуре пустотного пространства.

Примеры

1. Сложнопостроенные карбонатные коллекторы нижнего девона и верхнего силура месторождения им. Р.Требса

По данным макроописания керна отложения овинпармского и гребенского горизонтов сложены доломитами, доломитами глинистыми, известняками и аргиллитами. Коллекторами являются чистые доломиты, с содержанием доломита 96% и более /1/. Согласно макро- и микроописанию пород коллекторы характеризуются сложным типом пустотного пространства, включающим все виды пустот – поры первичные и вторичные, трещины и каверны выщелачивания развитые по трещинам, которые видны на всех масштабах кернавых исследований: полноразмерный керн, стандартные образцы и шлифы. По результатам стандартных лабораторных исследований керна продуктивные интервалы характеризуются следующими значениями: открытая пористость от 4,0% до 22,0%; проницаемость от 0,01 мД до 869,2 мД; остаточная водонасыщенность от 5,4% до 68,8% (исключение составляет «низкоомная» пачка, описанная в работе /2/). Дополнительным фактором, осложняющим интерпретацию данных ГИС, является неудовлетворительное состояние ствола скважин.

Анализ работы скважин эксплуатирующих основной пласт D1or1 показал, что при равных эффективных толщинах и средневзвешенных значениях пористости дебиты по скважинам сильно различаются, разница достигает одного порядка. При сопоставлении коллекторов, выделенных по ГИС, с работающими интервалами, определенными по профилю притока, было отмечено, что не все коллекторы вовлечены в работу, средняя работающая толщина составляет около 30%. Повторные замеры профилей притока и/или ухода, выполненные по ряду эксплуатационных скважин на протяжении двух-трех лет, показали, что профиль работающих интервалов по данным ПГИ меняется. Анализ динамики работы скважин показал, что по динамике падения дебита жидкости, обусловленной поведением пластового давления, скважины разделяются на две группы, условно названными «высокопродуктивные» и «низкопродуктивные».

На месторождении им. Р.Требса с целью изучения структуры пустотного пространства коллектора, и особенно вторичной пустотности, в рамках программы лабораторных исследований керна были проведены комплексные исследования /3/. На основании комплексного анализа этих исследований было установлено, что коллекторы отличаются по величине, размеру, связанности каверн и характеру их распределения в породе.

При сопоставлении данных по вторичной пустотности, определенной по керну, с данными электрических имиджей, ВАК и ЯМК было получено схематическое строение пустотного пространства коллекторов нижнего девона и верхнего силура, согласно которому в интервале нижнего девона по трещинам и микротрещинам неравномерно развиты крупные, средние и мелкие каверны и крупные поры, при этом «высокопродуктивные» и «низкопродуктивные» отличаются по величине вторичной пористости и сообщаемости пустот; в интервале верхнего силура по микротрещиноватости равномерно развиты крупные поры, мелкие и средние каверны /4/. На этапе подбора признаков дифференциации коллекторов по стандартным методам ГИС проведено сопоставление работающих толщин с данными показаний методов ГИС (АК, ГК, НГК, ГГКп, БК и др.) и рассчитанными по ним емкостным параметрам (W , K_p , $K_{p_вт}$, $K_{p_ак}$, $K_{гл}$, $X_{гл}$). В результате было установлено, что дифференциация коллекторов по добычным способностям возможна по: коэффициенту открытой пористости, вторичной пористости, объемной и, в большей степени, относительной глинистости. Работающие интервалы «высокопродуктивных» скважин характеризуются более высокими емкостными характеристиками как матрицы, так и вторичной пустотности, по сравнению с «низкопродуктивными» скважинами. Сопоставление проницаемостей полученных по данным лабораторных исследований керна, выполненных на стандартных и полноразмерных образцах, с проницаемостью по ГИС и ГДИС, показало различное их соотношение в «высокопродуктивных» и «низкопродуктивных» скважинах в отложениях нижнего девона, а также в коллекторах верхнего силура. В результате комплексного анализа керна, специальных и стандартных методов ГИС, ГДИС и ПГИ была получена классификация коллекторов и определены диапазоны ФЕС для выделяемых классов.

Таблица 1 –Классификация коллекторов

	Нижний девон		Верхний силур
	"Высокопродуктивные"	"Низкопродуктивные"	
Схематическая модель коллектора
Описание строения коллектора	по трещинам и микротрещинам неравномерно развиты крупные, средние и мелкие каверны и крупные поры		по микротрещиноватости равномерно развиты крупные поры, мелкие и средние каверны
Кп, д.е.	0,073/(0,040-0,171)	0,069/(0,04-0,197)	0,085/(0,04-0,157)
Кп_вт, д.е.	0,030/(0-0,088)	0,023/(0-0,067)	0,030/(0-0,063)
Хгл, д.е.	0,164/(0-0,417)	0,201/(0-0,5)	0,008/(0-0,036)
Кгл, д.е.	0,014/(0-0,040)	0,015/(0-0,040)	0,094/(0-0,375)
Кпр	$K_{пр}^{ГИС} < K_{пр}^{Керн} < K_{пр}^{Полн.Керн} < K_{пр}^{ГДИС}$	$K_{пр}^{Керн} \approx K_{пр}^{ГИС} < K_{пр}^{ГДИС}$	$K_{пр}^{Керн} \approx K_{пр}^{ГИС} < K_{пр}^{Полн.Керн} \approx K_{пр}^{ГДИС}$

2. Турней–франские трещинные и трещинно-каверновые коллекторы Табынского месторождения (РБ)

Промышленная нефтеносность Табынского месторождения связана с карбонатными коллекторами турней-франского возраста. В тектоническом отношении месторождение располагается в Бельской депрессии Предуральяского краевого прогиба - на севере зоны складок кинзебулатовского типа, что определяет сложность рассматриваемых отложений.

Стандартный комплекс ГИС, выполненный в большинстве скважин (пробурены в 60-70-х годах), не дает однозначной характеристики коллектора по причине сложного строения пустотного пространства, ухудшенного присутствием в разрезе глинистых минералов и битума, поэтому в предыдущие годы при интерпретации ГИС выделялась общая толщина продуктивного интервала без выделения эффективных толщин.

По данным архивных исследований керн, пустотное пространство коллекторов представлено трещинно-поровым и трещинным типом. Поровые коллекторы встречаются крайне редко и имеют подчинённое значение.

В 2016 г. пробурена скважина, в которой был проведен расширенный комплекс ГИС, включающий в себя исследования электрическим микроимиджером, АКШ, ГКС, акустическим имиджером, проведены промысловые исследования, отобран и исследован керн (профильные исследования ГК, фото в ультрафиолете, определение Кп, Кпр). На основании комплексного анализа керн и ГИС было установлено, что матрица коллекторов не проницаема, в разрезе выделяется два типа коллекторов – трещинный и трещинно-каверновый.

На следующем этапе, путем сопоставления данных керн, расширенного комплекса ГИС, ПГИ и временных замеров ГК, выполненных по историческому фонду скважин, с данными стандартного («усеченного») комплекса ГИС (ГК, НГК, БК) были сформированы критерии, на основании которых производится выделение коллекторов и дифференциация их по типу пустотного пространства.

Рисунок 1 Дифференциация коллекторов по структуре пустотного пространства по данным расширенного комплекса ГИС скважины Табыского месторождения

Выводы

В работе рассмотрены проблемы выделения и дифференциации сложнопостроенных коллекторов в разрезе скважин. Показаны приемы, позволяющие извлечь дополнительную информацию о строении пустотного пространства коллекторов на основе комплексирования керновых данных с данными специального комплекса ГИС. Рассмотрены примеры подбора критериев стандартного и/или усеченного комплексов ГИС, необходимых для дифференциации коллекторов по структуре пустотного пространства и добычному потенциалу.

Библиография

1. К.Д. Шуматбаев, О.Е. Кучурина, Л.М. Шишлова «Комплексное изучение структуры пустотного пространства карбонатных отложений на примере месторождения им. Р.Требса», Нефтяное хозяйство, июнь 2014, С. 91-93.
2. К.Д. Шуматбаев, Е.К. Гайнуллина, А.Е. Малышева, О.Е. Кучурина, Д.Е. Емельянов «Петрофизическая основа интерпретации сложнопостроенных коллекторов нижнего девона и верхнего силура на месторождении им. Р.Требса», Нефтяное хозяйство, май 2015, С. 44-46.
3. К.Д. Шуматбаев, Е.К. Гайнуллина, А.Е. Малышева, О.В. Емченко, К.Ю. Муринов, А.В. Зайнулин «Комплексирование методов изучения вторичной пустотности сложнопостроенных коллекторов месторождения им. Р.Требса», Нефтяное хозяйство, ноябрь 2015, С. 108-110.
4. K. Shumatbaev (BashNIPIneft); O. Privalova (BashNIPIneft); E. Gainullina (BashNIPIneft); R. Akhmetzyanov (BashNIPIneft); A. Chervyakova (BashNIPIneft); A. Melnikov (BashNIPIneft); A. Fedorov (Bashneft-Polus); O. Kuchurina (Bashneft-Polus) «Dynamic Attributes for Characterization of Complex Oil Reservoirs, A Case Study from R. Trebs Oil Field, Timan-Pechora Basin, Russia», SPE Bergen One Day Seminar, 20 April, Grieghallen, Bergen, Norway, 2016, SPE-180002-MS

References

1. Shumatbaev K.D., Kuchurina O.E., Shishlova L.M. «Integrated analysis of void space in carbonates by the example of R. Trebs oil field», Oil industry, june 2014, P. 91-93.
2. Shumatbaev K.D., Gainullina E.K., Malysheva A.E., Kuchurina O.E., Emeljanov D.E. «Petrophysical framework for interpretation of Lower Devonian and Upper Silurian heterogeneous carbonate reservoirs: a case study from R. Trebs oil field», Oil industry, May 2015, P. 44-46.
3. Shumatbaev K.D., Gaynullina E.K., Malysheva A.E., Emchenko O.V., Murinov K.Yu., Zaynulin A.V. «Integrated approach to secondary porosity characterization for complex carbonate reservoirs of R.Trebs», Oil industry, november 2015, P. 108-110.
4. K. Shumatbaev (BashNIPIneft); O. Privalova (BashNIPIneft); E. Gainullina (BashNIPIneft) ; R. Akhmetzyanov (BashNIPIneft); A. Chervyakova (BashNIPIneft); A. Melnikov (BashNIPIneft) ; A. Fedorov (Bashneft-Polus) ; O. Kuchurina (Bashneft-Polus) «Dynamic Attributes for Characterization of Complex Oil Reservoirs, A Case Study from R. Trebs Oil Field, Timan-Pechora Basin, Russia», SPE Bergen One Day Seminar, 20 April, Grieghallen, Bergen, Norway, 2016, SPE-180002-MS