

Литература

1. Белоногов Е.В., Пустовских А.А., Ситников А.Н. Критерий выбора способа разработки низкопроницаемых коллекторов // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2018 – № 1(7). – С. 49 – 51.
2. Мамбетов Ж. С., Медведев К.С. Анализ эффективности многозонного гидроразрыва пласта в условиях низкопроницаемых коллекторов // Вопросы науки и образования. 2018. №26 (38) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-mnogozonnogo-gidrorazryva-plasta-v-usloviyah-izkopronitsaemyh-kollektorov> (дата обращения: 28.09.2020).
3. Черевко М.А. Оптимизация системы горизонтальных скважин и трещин при разработке ультранизкопроницаемых коллекторов. // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. «Тюменский государственный нефтегазовый университет». 2015. – 156 с.
4. Шупик Н.В. Повышение эффективности площадных систем разоводнения низкопроницаемых пластов Западной Сибири: дис. канд. тех. наук: 25.00.17. – М.: – 2017.

**ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГО-ПРОМЫСЛОВЫХ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРОВ
Белов Т.В.**

Научный руководитель - старший преподаватель Ю.А. Максимова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Современная нефтегазовая промышленность сталкивается с необходимостью максимального извлечения трудноизвлекаемых запасов, одним из хранилищ которых является низкопроницаемый коллектор (НПК). Последнее время активно создаются и совершенствуются методы добычи углеводородов из низкопроницаемых коллекторов, обоснование которых основывается на многочисленных исследованиях свойств данных типов коллекторов и геолого-промысловых условий их образования. Изученность особенностей разработки терригенных НПК очень велика, но в настоящее время растет спрос на доизвлечение запасов из карбонатных коллекторов. Для наиболее эффективной разработки подобных залежей необходимо использовать комплексный подход в анализе междисциплинарных данных о закономерностях добычи углеводородов (УВ) из низкопроницаемых коллекторов.

Низкопроницаемый коллектор – коллектор, характеризующийся низкими значениями проницаемости и высокой степенью неоднородности, запасы которого причисляются к трудноизвлекаемым (ТРИЗ), к которым приурочены углеводороды из конкретной залежи углеводородного сырья, относящихся к баженовским, абалакским, хадумским или доманиковым продуктивным отложениям, характеризующиеся низкими значениями проницаемости (от $0,01$ до $0,4 \cdot 10^{-3}$ мкм², до 10^{-5} мкм², $0,6 \cdot 10^{-3}$ мкм² и от $0,01 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{-3}$ мкм² соответственно), а движение флюидов в нем подчиняется нелинейным зависимостям фильтрации. К НПК относят нефтяные коллекторы, имеющие значения проницаемости менее $0,050$ мкм² и газовые коллекторы проницаемостью 10^{-3} - 10^{-4} мкм² и менее. На данный момент месторождения Западной Сибири характеризуются значением проницаемости НПК, равным $0,022$ мкм² [3].

Литотип НПК, как и для всех коллекторов, подразделяется на терригенный и карбонатный. В терригенных коллекторах фильтрация происходит по объему пор, в которых может происходить перемещение флюида, также остаточные запасы нефти могут находиться в так называемых «тупиковых» порах – участках порового пространства, обладающих затрудненным массообменом с проточными каналами в данном направлении фильтрации [4]. В карбонатных же коллекторах фильтрация происходит зачастую по трещинам, распространяющимся в пласте. По структуре порового пространства можно выделить следующие типы карбонатных коллекторов [5]:

1. Поровый тип коллектора встречается довольно редко ввиду изменений, происходящих в процессе катагенеза, которые способны частично или полностью нивелировать изначально имеющуюся первичную пористость;

2. Каверно-поровый тип коллектора, у которого за счет вторичных постседиментационных преобразований формируется пустоты, к таким процессам относятся: выщелачивание, перекристаллизация и образование доломитов. Данный тип карбонатного коллектора встречается чаще. В качестве наиболее действенного процесса для формирования вторичных пор и каверн стоит отметить процесс выщелачивания.

3. Порово-трещинный и смешанный трещинно-поровый типы коллекторов. В карбонатных породах также являются общераспространёнными. Литологические процессы, приводящие к различным изменениям состояния карбонатных пород, как по разрезу, так и по площади, влекут за собой непостоянство фильтрационно-емкостных свойств, а также градиацию разного количества плохо проницаемых и вовсе плотных, непроницаемых пропластков по всему разрезу. В подобных ситуациях перемещение пластовой жидкости происходит по трещинам, обладающим большей проницаемостью по сравнению с каналами, локализованными между зёрнами. Также структура порового пространства у терригенных НПК более отсортирована, чем у карбонатных, а в случае одинаковых низких значений проницаемости размеры поровых каналов больше у карбонатных, нежели у терригенных [3].

Следующим показателем, характеризующим НПК является неоднородность, но в данной работе хотелось бы обратить внимание именно на неоднородность по проницаемости, которую целесообразно изучать по разрезу, по латерали и по площади всей залежи и которую можно классифицировать на слоистую, зональную и пространственную.

СЕКЦИЯ 10. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Послойная неоднородность по проницаемости характеризуется изменчивостью значений коэффициентов проницаемости, которые усредняются в зависимости от мощности пласта.

Зональная неоднородность пласта по проницаемости также сопровождается измерением усредненных значений проницаемостей, но уже непосредственно по площади всей залежи.

При пространственной неоднородности пласта по проницаемости физические свойства пласта различны по всему объему. Если сравнивать данный тип неоднородности с уже ранее упомянутыми, нужно отметить, что здесь работа ведется уже с истинными значениями проницаемости, которые изменяются согласно некоторой закономерности, которая может быть задана функцией $k(x, y, h)$. Еще одним важным параметром, неразрывно связанным с понятием НПК является анизотропия пласта, а именно анизотропия по проницаемости. Под анизотропией проницаемости пласта, сложенного осадочными горными породами, подразумевается отношение горизонтальной проницаемости к вертикальной [1].

В основном, для определения направления и величины анизотропии по проницаемости применяются методы по исследованию ориентированного керна, обычному и 3D гидропрослушиванию, проведение акустического, нейтронного, гамма- и ПС-каротажей [2]. После чего полученные данные используются для картирования участка по анизотропии проницаемости. Наиболее надежным признаком анизотропии пласта по проницаемости является момент прорыва воды, а, следовательно, увеличения обводненности продукции. Анализ для обнаружения этого признака проводится между результатами моделирования и исторических показателей разработки месторождения.

При распределении пор по размеру для НПК принято выделять три группы: сверхкапиллярные с радиусом $r > 30$ мкм, капиллярные ($30 > r > 0,5$ мкм) и субкапиллярные ($r < 0,5$ мкм). Также стоит выделить тонкопоровые структуры с радиусом пор менее 2 мкм, которые также относятся к терригенным и карбонатным коллекторам ввиду резкого увеличения остаточной водонасыщенности, присущего такому размеру пор.

Таким образом можно выделить следующие группы объектов при обосновании разработки залежей в терригенных НПК и характеристики запасов нефти и газа [3]:

1. НПК – объекты в песчаных коллекторах, $k_{пр} < 0,05$ мкм²;
2. ГНПК – объекты, отличающиеся повышенным содержанием глинистых минералов, $k_{пр} < 0,1 \dots 0,2$ мкм²;
3. СНПК – объекты, имеющие слабодренлируемые участки, $k_{пр} < 0,3$ мкм² (СНПК);
4. НДК – объекты, пласты-коллекторы которых характеризуются низкими значениями дебита, $k_{пр} < 0,3 \dots 0,4$ мкм²;

Сюда же могут быть включены плотные карбонатные коллекторы, у которых $k_{пр} < 0,01 \dots 0,05$ мкм².

Исходя из всех проанализированных особенностей разработки, связанных с низкопроницаемыми коллекторами, однозначно стоит обозначить важность исследования процессов формирования и преобразования низкопроницаемых коллекторов, а также характер фильтрации пластовых флюидов через них для наиболее эффективной разработки коллекторов такого типа. Можно сформировать комплекс аспектов, с которыми необходимо ознакомиться при изучении процесса разработки УВ из НПК, представленные на рисунке.

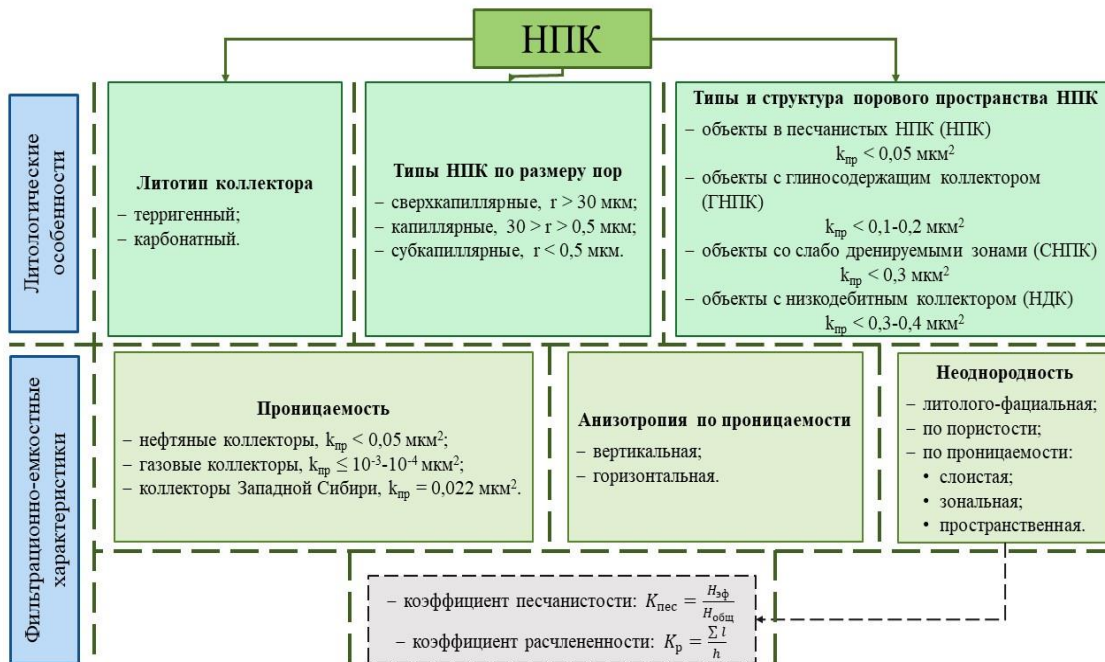


Рис. Комплексный подход к разработке низкопроницаемых коллекторов

Литература

1. Главнова Е.Н., Меркулов В.П., Главнов Н.Г. Сравнительный анализ методик определения анизотропии горизонтальной проницаемости пласта // Известия ТПУ. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-metodik-opredeleniya-anizotropii-gorizontalnoy-pronitsaemosti-plasta> (дата обращения: 15.02.2021).
2. Меркулов В.П., Александров Д.В., Краснощекова Л.А. и др. Методика и результаты изучения анизотропии верхнеюрских коллекторов. / В кн.: Геофизические методы при разведке недр и экологических исследований. - Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С.114 – 119.
3. Пономарев А.И. Повышение эффективности разработки залежей углеводородов в низкопроницаемых и слоисто-неоднородных коллекторах: дис. канд. тех. наук. – Уфа, 2000.
4. Тульбович Б.И. Методы изучения пород-коллекторов нефти и газа. – М.: Недра. –1979. – 199с.
5. Шибина Т.Д., Белоновская Л.Г., Пестова А.Н., Климова Е.В., Хазикова Л.А., Яковлева А.А. Литолого-петрографические особенности низкопроницаемых карбонатных толщ древних платформ в связи с их нефтегазоносностью // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2016. – Т.11. – №3. – http://www.ngtp.ru/rub/2/35_2016.pdf.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СЕКТОРЕ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Булатов В.Р., Ласкач В.А.

Научные руководители: профессор О.С. Чернова, инженер-исследователь М.О. Мельников
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Использование IT технологий в секторе разведки и добычи углеводородов становится всё актуальнее – большие объемы информации и входных данных предъявляют особые требования к его цифровизации. Одним из результатов цифровизации данного сектора является концепция умного месторождения. Согласно опросу экспертов «Газпром нефти» основные технологии, реализующие концепцию умного месторождения – большие данные (Big Data), дополненная/виртуальная реальность (AR/VR), интернет вещей (IoT), облачные технологии [1].

Умное месторождение – это комплекс средств, позволяющий управлять нефтяным пластом с целью увеличения показателей добычи углеводородов. Повышение эффективности технологических процессов и энергоэффективности оборудования происходит благодаря использованию интеллектуальных мультипараметрических датчиков, обеспечивающих удаленный доступ ко всему оборудованию и позволяющих диагностировать его состояние и при необходимости конфигурировать. Такое месторождение в среднем генерирует примерно 15 петабайт информации в год, работать с которой без применения методов обработки больших данных трудоемко и нерационально [2]. Сейчас наибольшую часть мирового рынка больших данных занимает финансовая отрасль, однако самым быстрорастущим сектором является энергетика. В сфере разработки и добычи углеводородов сбор данных о работе оборудования позволяет удаленно контролировать работу любого актива, оптимизировать производственные процессы, предсказывать возможные аварии и сбои в работе.

Пример – проект «Газпром нефти» по поиску отказов системы автоматического перезапуска погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) после выхода из строя системы электроснабжения. Анализ проводился на основе более двухсот миллионов записей по работе насосного оборудования от полутора тысяч скважин, а также данных по перезапускам электропитания. Кроме того, учитывался ряд других параметров: эксплуатационные условия, схемы электропитания и др. Обработка полученной информации стандартными методами весьма трудоемка вследствие значительного количества неупорядоченных данных. Методы больших данных помогли выдвинуть гипотезы о причинах отказов в автозапуске и добыть ценную информацию о прежде неизвестных зависимостях в функционировании погружного оборудования [2].

Помимо умного месторождения, генерирующего большое количество данных, следует отметить геологоразведку. Обработка и интерпретация данных геологоразведки наиболее емкая по времени часть работ, связанных с разработкой месторождений. Использование здесь методов больших данных позволяет ускорить процессы обработки информации на стадии разведки: производится поиск корреляционных зависимостей, детальное моделирование продуктивных горизонтов, что способствует открытию перспективных площадей, сравнивая новые участки с уже известными аналогами [3].

Так, сотрудниками научно-исследовательского центра Heriot-Watt (г. Томск) разработан проект, представляющий собой алгоритм поиска месторождений-аналогов с использованием одномерных геолого-геофизических сигналов. Каротажные кривые, например, аномалии ПС или ГК, как одномерный сигнал представляется в виде временного ряда. В основе поиска аналогов заложены два базовых алгоритма: DTW (Dynamic Time Warping) – метод динамической трансформации временной шкалы и DFT (Discrete Fourier Transform) – метод вычисления дискретного преобразования Фурье.

DTW – метод, позволяющий найти близость между двумя последовательностями измерений. Суть этого алгоритма состоит в сопоставлении и сравнении пары сигналов, основываясь на нелинейном выравнивании. Мерой близости служит оценка расстояния между парой сигналов (Рис. 1).

Используя общедоступные библиотеки Python, был написан код алгоритма, осуществляющий сравнение всех сигналов с месторождения и дальнейшее ранжирование их по степени схожести относительно целевого ГИС и отбраковку сигналов из большой выборки (порядка 10000 значений), тем самым позволяя сделать вывод о степени схожести набора сигналов. Дальнейшая визуализация каротажных кривых позволяет выделять литофации.

Достоинство метода – способность сравнивать временные ряды (каротажные кривые) разной длины. Так, алгоритм способен эффективно оценивать схожесть двух пластов различной мощности, приуроченных к одной