

Далее, рассматривая задачу по обеспечению комфорта и безопасности нефтедобывающего персонала следует уточнить, что речь идет о двух параметрах защиты: защита от песчаных бурь и тяжелых климатических условий. Обе эти задачи решаются путем предоставления персоналу необходимой спецодежды. Она должна обладать высокими терморегуляционными показателями и включать в себя специализированные очки и маску, для защиты глаз и дыхательных путей от песка.

Для защиты глубинно-насосного оборудования предстоит разработать систему фильтров с соответствующими размерами отверстий. Это не составит большого труда, так как нефть в пустынных нефтегазовых бассейнах имеет низкую вязкость и ее прохождение через фильтры с мелкой перфорацией не является проблемой.

Рассмотрев проблемы добычи нефти в пустынных нефтегазовых бассейнах, мы приходим к выводу о том, что это перспективное направление исследований и разработки, требующее, однако, немалого внимания к деталям.

Литература

1. Нефтяная отрасль промышленности Саудовской Аравии // ЭТП ГПБ URL: [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://etpgpb.ru/posts/6622-neftyanaya_otrasl_promyshlennosti_saudovskoy_aravii/ (дата обращения: 09.04.2021).
2. Сорта Российской и Мировой эталонной нефти (по странам) и ОПЕК // УТМАГ URL: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://barrel.black/sorta-nefti.htm> (дата обращения: 09.04.2021).
3. Oil Prices: Retail: Arabian Light // CEIC URL: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ceicdata.com/en> (дата обращения: 09.04.2021).

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОЛЛЕКТОРОВ ФЛЮВИАЛЬНОГО ТИПА С УЧЕТОМ ИХ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Белов Т.В.

Научный руководитель профессор О.С. Чернова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Современная нефтегазовая промышленность в течение последних лет сталкивается с вызовами, связанными с доизвлечением остаточных углеводородов из месторождений, находящихся на завершающей стадии разработки. Особое внимание уделяется поиску и реализации подходов, направленных на разработку трудноизвлекаемых запасов, локализованных в низкопроницаемых, с высокой степенью неоднородности коллекторах. Одним из примеров таких коллекторов являются залежи флювиального типа, которые ввиду своих геологических особенностей, осложняющих процесс извлечения углеводородов, требуют к себе комплексного подхода, направленного на разработку коллекторов данного типа. Существует два основных типа речных отложений, являющихся потенциальными коллекторами: отложения разветвленных рек, которые образуются у подножий горных систем и за их пределами, где уклон земной поверхности относительно крутой, и отложения меандрирующих рек, образующиеся на более пологих поймах [3]. Каждый из этих типов отложений обладает уникальным набором свойств, которые отличают его от других, включая размер зерна, геометрию песчаного тела, ориентацию и т. д. Понимание этих различий важно для оценки коллектора, поскольку эти свойства влияют на поток флюида и, в конечном счете, на производительность коллектора. Недостаточно знать, что резервуар представлен отложениями флювиального типа, необходимо знать тип речного резервуара и определяющие его характеристики.

Правильная идентификация типа русла (извилистого или плетеного) в речной последовательности принципиально важна при анализе коллектора, поскольку она позволяет прогнозировать форму и размер коллектора, поперечную непрерывность и степень взаимосвязанности песчаников и переплетенных глинистых пород, и внутреннюю неоднородность внутри песчаных тел коллектора [5].

Например, отложения меандрирующей реки можно разделить на следующие типы:

- пойма, сложенная мелким песком, алевролитом, сланцами, которые образуют второстепенные коллекторы, представленные листовидными песчаными телами береговых валов и кревассовых глифов, образующихся при прорыве русла;
- меандровые отмели с хорошим коллекторским потенциалом, которые образуются во время боковой миграции речного канала под воздействием эрозионных и аккреционных процессов.

Резервуары флювиального типа, особенно отложения меандрирующей реки, демонстрируют важность архитектуры резервуара при разработке. Архитектура отложений меандрирующей реки, образованных многоэтажными русловыми отложениями, разделенными пойменной глиной, сложна из-за боковой миграции и авульсии. Фракция песка известна как доминирующий фактор при оценке речного коллектора, в то время как геометрия каналов, скорость авульсии и направление миграции меандровых отмелей также имеют значение [2]. Эти факторы в том числе определяют связность песчаных тел (высокопроницаемые области), что является доминирующим фактором, влияющим на поток жидкости и формирующим преимущественные пути течения флюида в коллекторах. Все эти характеристики контролируются геологическими параметрами системы. Правильная оценка песчаных тел и их топологических взаимосвязей являются ключевыми элементами в понимании этих коллекторов.

Песчаные отложения меандровых отмелей образуют основной тип резервуара в системе извилистых рек. Эти скопления могут быть значительно разделены из-за пересекающихся, заполненных глиной каналов. Тенденция к увеличению размера зерна меандровых отмелей означает, что проницаемость также будет снижаться вверх по разрезу. По этой причине заводнение, как правило, будет более эффективным в базальных, высокопроницаемых прослоях отмели и оставит неохваченную заводнением нефть в верхних, более мелкозернистых частях [3]. Геометрия, размер и

характеристики коллектора каждого из флювиальных типов тел зависят от транспортировочных, осадочных и постседиментационных процессов, которые контролируются несколькими внешними переменными, включая географическое положение, районы источников отложений (происхождение), климат и степень тектонической активности. Отложения меандрового пояса могут лучше подходить в качестве резервуаров газа, чем резервуаров нефти. В лабиринте многочисленных тупиковых пор этих систем не так много газа, как нефти. Расширение газа при снижении давления при истощении приведет к тому, что большая часть газа выйдет из тупиков речных резервуаров. Газ также может проходить через пути с низкой проницаемостью, существующие в речных системах, которые в противном случае не пропускали бы нефть [3].

Небольшие разломы могут создавать вертикальные соединения поперек плоскости разлома между песчаными телами в интервалах с большими коэффициентами песчаности. Там, где речные отложения с низкими значениями песчаности рассечены разломами, это может значительно снизить связность. Уменьшенная степень контакта песчаных тел между собой через разломы является контролирующим фактором.

Что же касается отложений разветвленной реки, стоит отметить, что составление карты распределения конгломератов с низкой и высокой проницаемостью в пределах месторождения снизило бы риск бурения заполняющих скважин в конгломератах с низкой проницаемостью, а также риск обвалов стенок скважин. Также фации разветвленных рек более пористые и более проницаемые, чем фации меандрирующих рек [3].

Основным подходом при разработке флювиальных коллекторов являются модернизация систем разработки, бурение горизонтальных скважин с многостадийным гидравлическим разрывом пласта. Например, проблема низкой проницаемости может быть решена стимулированием пласта гидравлическим разрывом, при котором пространственное распределение песчаных тел является основной трудностью, являющейся причиной низкого успеха бурения и отсутствия эффективной организации заводнения [5]. В настоящее время ее решение заключается в бурении горизонтальных скважин для охвата максимального количества песчаных тел с применением многоступенчатого гидравлического разрыва пласта.

В случаях комплексов каналов, состоящих из множества сочлененных отmelей, предпочтительнее размещать горизонтальные скважины, ориентированные перпендикулярно оси наноса бара, учитывая, что длина меандрового бара обычно больше ширины [1]. Это приведет к тому, что каждая скважина будет иметь большую вероятность пересечения нескольких баров и большую их долю, пересекаемых на длину скважины, что позволит расширить распределение скважин. Тем не менее, следует признать, что можно было бы дать противоположные рекомендации, если бы наблюдалась внутрислоевая дифференциация, связанная с неоднородностями фациального масштаба, например, из-за наличия илистого грунта.

Для русловых отложений в качестве примера можно привести китайское месторождение Бохай. Горизонтальные скважины широко используются на этом объекте для улучшения контроля запасов. Следует принимать во внимание как качество песчаника при ориентировке горизонтальной скважины, так и охват заводнением. Представлены три примера оптимизации схемы скважин, в основном ориентированных на горизонтальное направление (рисунок) [4]. В первом случае горизонтальная скважина параллельна каналу, что является подходящим вариантом при наличии высокопроницаемого песчаника. Однако, в скором времени может произойти прорыв воды, что приведет к падению коэффициента извлечения намного ниже, чем ожидалось. Для второго случая горизонтальная скважина расположена перпендикулярно каналу. Посадка в скважину очень сложна из-за низкопроницаемого песчаника на краю канала, но при этом коэффициент извлечения самый высокий. Чтобы снизить риск посадки ствола скважины и максимизировать эффективность заводнения, предлагается третий вариант с горизонтальной скважиной, наклоненной к каналу. В этом случае скважина будет располагаться недалеко от центра канала с песчаником с улучшенными свойствами. Кроме того, нагнетательная скважина расположена параллельно добывающей, чтобы замедлить нагнетание воды и увеличить охват.

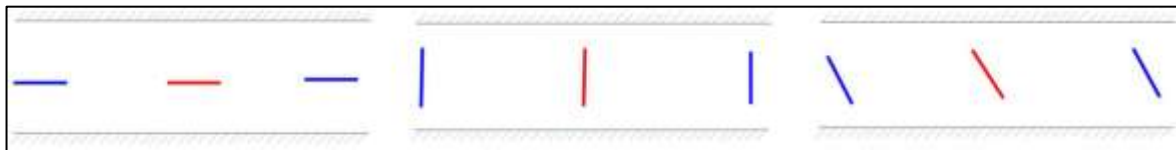


Рис. Три варианта для оптимизации расстановки скважин.
Синим цветом обозначены нагнетательные скважины, а красным – добывающие

При разработке коллекторов флювиального типа необходимо точно определить тип речной системы для определения спектра основных геологических особенностей коллекторов, где важную роль будут играть геометрические параметры отложений, фильтрационно-емкостные свойства, рельеф, климат и т.д. Горизонтальные скважины могут быть более эффективными для прерывистых песчаников меандрирующей реки, чем в более непрерывных и взаимосвязанных отложениях разветвленной реки. Методы сейсмоки, а также анализы геофизических исследований скважин, керна и скважинных испытаний - все это может быть использовано для корректного определения типа речного коллектора и прогнозирования показателей извлечения и продуктивности этого коллектора.

Литература

1. Colombera, L, Mountney, NP orcid.org/0000-0002-8356-9889, Russell, CE et al. (2 more authors) (2017) Geometry and compartmentalization of fluvial meander-belt reservoirs at the bar-form scale: quantitative insight from outcrop, modern and subsurface analogues. *Marine and Petroleum Geology*, 82. pp.

2. Koneshloo, Mo & Aryana, Saman & Hu, Xiaoni. (2018). The impact of geological uncertainty on primary production from a fluvial reservoir. *Petroleum Science*.
3. Roger. M. Slatt (2007) - Stratigraphic Reservoir characterization for petroleum geologists, Geophysicists and Engineers. *Handbook of Petroleum exploration and production*, Vol.6, John Cubitt (Ed), Elsevier, pp. 478.
4. Shi, Hongfu & Hu, Yong & He, Yifan & Sun, Qiang & Zhao, Junshou. (2019). Case Stories of Horizontal Wells in Offshore Fluvial Oil Reservoir.
5. Shishmanidi, I., Martynov, M., and A. Kozlov. "Advantages of Fluvial Reservoir Object Modeling." Paper presented at the SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical Conference and Exhibition, Moscow, Russia, October 2014.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА НЕФТИ ДЛЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ

Бычков Д.А.

Научный руководитель профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В нефтегазовой отрасли уже почти 120 лет используют кислотную обработку для повышения производительности скважин. Кислотная обработка предшествует всем другим методам стимулирования скважин, включая гидравлический разрыв пласта, который не был разработан до конца 1940-х годов. Однако до начала 1930-х годов применение подкисления было ограничено отсутствием эффективных ингибиторов кислотной коррозии для защиты стальных труб в скважинах. С разработкой эффективных ингибиторов коррозии, использованием и дальнейшим развитием кислотной обработки увеличилось количество нефтяных и газовых скважин, что привело к созданию индустрии услуг по стимулированию скважин. Сегодня кислотная обработка является одним из наиболее широко используемых и эффективных средств, доступных нефтегазовым операторам для повышения производительности (стимулирования) скважин. Кислотное стимулирование обычно проводится на новых скважинах, чтобы максимизировать их первоначальную производительность, и на скважинах с большим сроком эксплуатации, чтобы восстановить производительность и максимизировать извлечение энергетических ресурсов. Для проведения данной операции необходимо закачивание раствора кислоты в околоскважинное пространство для улучшения коллекторских свойств пласта.

Особенно это актуально для карбонатных пород палеозойских отложений, которые хорошо поддаются растворению соляной кислотой. Максимальная эффективность обработок будет в глинисто-карбонатных породах, для кремнистых отложений эффективность значительно ниже. Целью кислотной обработки матрицы является улучшение продуктивности, уменьшение величины скин-фактора в коллекторе при помощи удаления естественных загрязнений, а также созданием новых каналов в прискважинной зоне.

Для проведения кислотной обработки необходимо выбирать скважины, в которых наблюдается ухудшение фильтрационных свойств в призабойной зоне.

Если падение дебита скважины связано с сокращением пластового давления, выделением газа в призабойной зоне или проблемами с техническим состоянием скважины, то операция окажется неэффективной, поскольку не будет получен дополнительный прирост добычи.

Необходимо находить скважины, где по каким-либо причинам произошло падение продуктивности, при этом важно определять причину:

Проникновение бурового фильтра или рабочей жидкости в пласт.

Данный вид загрязнения может быть диагностирован по ухудшенной работе скважин по сравнению с окружением, также положительный скин-фактор может быть определен исходя из гидродинамических исследований.

Также необходимо проверять соответствие расчетов по рабочему давлению во время проведения операции (бурение, ремонтные работы) с реальным рабочим, чтобы определить вероятно ли проникновение рабочей жидкости в пласт.

Выпадение отложений в призабойной зоне.

Для оценки необходимости удаления отложений в призабойной зоне необходимо проводить лабораторные исследования по составу флюида, а также расчеты в специальном программном комплексе. Также следует исходить из опыта разработки месторождения, а также проводить анализ поступающей продукции.

Недостаточная степень очистки закачиваемой воды.

случае недостаточной степени очистки закачиваемой воды может произойти загрязнение призабойной зоны скважины, что приведет к снижению приемистости пласта и невозможности полностью компенсировать пластовое давление [2].

Наибольший опыт разработки карбонатных коллекторов накоплен на Чкаловском месторождении. ОПЗ направлены на восстановление и повышение проницаемости ПЗП.

В карбонатных пластах реакция относительно проста и протекает в одну стадию. Соляная кислота (HCl) вступает в реакцию с карбонатом с образованием соли, двуокиси углерода и воды. При подкислении песчаников с HF реакции более сложны и протекают в три этапа. На первичной стадии буровой раствор вступает в реакцию с песком, полевым шпатом и глинами с образованием фторидов кремния и фторидов алюминия. На вторичной стадии фториды кремния могут вступать в реакцию с глиной и полевым шпатом с выделением осадков алюминия и кремния, однако при правильном проектировании можно избежать образования этих вредных осадков, которые могут ограничить поток нефти или газа через пласт. На заключительной стадии оставшиеся фториды алюминия вступают в реакцию до тех пор, пока не будет израсходована вся оставшаяся кислота.