

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ СНИЖЕНИИ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЗАЛЕЖАХ НЕФТИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А.В. Шелюто

*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» БелНИПИнефть,
Гомель, Беларусь*

Эффективная разработка месторождений нефти – приоритетное направление деятельности современной нефтяной промышленности. Для планирования системы разработки месторождений применяются методы компьютерного моделирования. Но даже самое современное программное обеспечение не способно достоверно спрогнозировать уровни добычи и эффективность применяемых геолого-технических мероприятий без понимания процессов протекающих в пласте.

Дебит скважины во многом зависит от состояния призабойной зоны и пласта, его фильтрационных характеристик. Даже незначительное изменение проницаемости или ухудшение состояния прискважинной области, может значительно снизить продуктивность скважины. Существует множество причин изменяющих проницаемость коллекторов, среди которых: загрязнение буровым раствором, выпадение солей и парафинов, выделение газа и др. Еще одной причиной изменения проницаемости, а вместе с ней, и продуктивности скважин является изменение напряженного состояния в пласте и призабойной зоне в процессе разработки месторождения.

Скелет породы испытывает нагрузку от вышележащей толщи отложений, называемую горным давлением. До начала эксплуатации залежи пластовое давление жидкости, насыщающей поровое пространство, уменьшает нагрузку на скелет. Разность между горным и пластовым давлением и есть эффективное давление, испытываемое породой-коллектором. С падением пластового давления в процессе разработки объем порового пространства пласта уменьшается вследствие упругого расширения зерен породы и возрастания сжимающих усилий, передающихся на скелет от толщи вышележащих пород. При этом зерна породы испытывают дополнительную деформацию, и пористость среды уменьшается также вследствие перераспределения зерен, более плотной упаковки их и изменения структуры пористой среды [1].

Некоторые из упомянутых процессов, вызывающие изменения объема пор, являются обратимыми как, например, упругое расширение зерен цемента и деформации их в сторону пустот, не занятых твердым веществом, под действием массы вышележащих пород. Другие же процессы, например, перегруппировка зерен, скольжение их по поверхности соприкосновения, разрушение и дробление зерен - процессы необратимые [2]. В результате, при возрастании пластового давления должны сохраниться значительные остаточные деформации и пористость пород не восстанавливается. Максимальные деформации будут наблюдаться в призабойной зоне, где минимальное давление и максимальные эффективные нагрузки вышележащих пород. При удалении от скважины деформационные эффекты в пласте будут уменьшаться.

К деформациям наиболее чувствительны карбонатные коллекторы. Они характеризуются разнообразием основных составляющих структуры емкостного пространства (пор, каверн, трещин). Трещины имеют небольшое значение в емкости коллектора, но они определяют фильтрационные свойства пород. Проницаемость таких пород, главным образом, обеспечивается трещиноватостью [1]. Трещины подвержены наибольшему сжатию, при увеличении нагрузок.

В рамках исследования были проведены: интерпретация более 150 кривых восстановления давления, 50 кривых восстановления уровня (КВД) и 30 индикаторных

диаграмм, анализ производственных отчетов и ранее проведенных исследований. По многим скважинам и залежам отмечено снижения проницаемости и продуктивности в процессе разработки по различным причинам, среди которых разгазирование нефти, деформация коллектора под действием эффективных горных давлений и др. В качестве примера в работе приведены результаты наиболее качественных и наглядных исследований по Ново-Кореневскому и Тишковскому месторождениям.

По результатам интерпретации КВД по скв. 9095 Тишковского месторождения отмечается зависимость фильтрационных параметров от величины пластового давления. Скважина эксплуатирует воронежскую залежь центрального блока. На рис. 1 показан график зависимости проницаемости от давления.

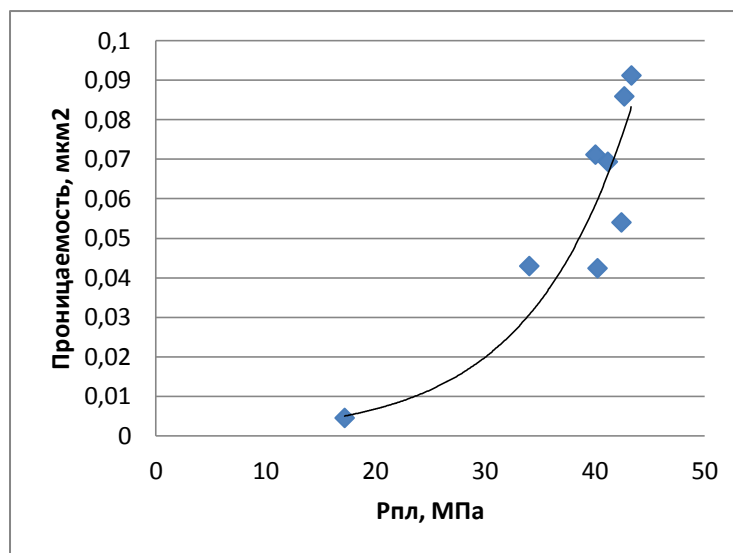


Рис. 1. Зависимость проницаемости от пластового давления по скв. 9095 Тишковского месторождения

Эффективное горное давление превышает предел упругой деформации (текучести) карбонатных пород. Таким образом, наиболее вероятной причиной снижения проницаемости является деформация коллектора.

Лебедянская залежь Ново-Кореневского месторождения характеризуется высокими значениями проницаемости пласта 0,154–2,25 мкм². В районе скважин этого месторождения были рассчитаны эффективные горные давления. Их величина оказалась выше предела текучести карбонатных коллекторов. В породах-коллекторах происходит развитие упругопластических деформаций, снижающих фильтрационные свойства пласта.

Пластовые давления по скв. 6, 10, 11, 14, 17, 22, 23s3 ниже критических давлений. Это может приводить к необратимым деформациям коллектора, которые уменьшают трещинную проницаемость, замедляют темпы отбора нефти, снижают нефтеотдачу пласта. Данное предположение подтверждается результатами гидродинамических исследований скв. 6.

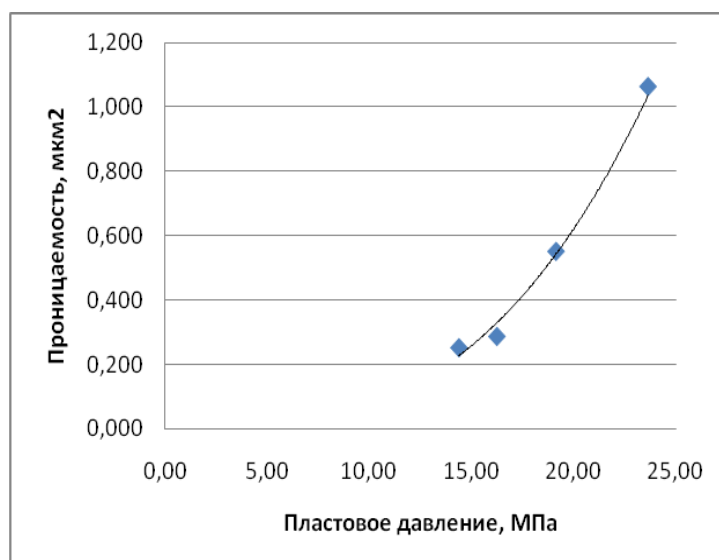


Рис. 2. Изменение проницаемости при снижении пластового давления по скв. 6 Ново-Корневского месторождения

С 2011 по 2013 гг. пластовое давление в скв. 6 изменялось от 23,66 до 14,39 МПа. По результатам ГДИС отмечается снижение значений проницаемости с 1,064 до 0,251 мкм², гидропроводности с 6,15 до 1,02 мкм² × см/МПа × с, пьезопроводности с 293 до 173,55 см²/с, продуктивности с 15,36 до 1,07 м³/(сут × МПа). На рис. 2 приведен график зависимости проницаемости от пластового давления. По другим скважинам такую тенденцию отследить невозможно ввиду отсутствия достаточного количества исследований.

Для предотвращения дальнейшего снижения фильтрационно-емкостных характеристик пласта и сохранения текущих значений проницаемости необходимо поддерживать пластовое давления на уровне не ниже текущего. Повышение пластового давления до значения близкого к критическому позволит снизить геостатическую нагрузку на коллектор, и остановить процесс ухудшения ФЕС, но к восстановлению фильтрационных характеристик до первоначальных значений не приведет. Оптимальное для коллектора значение пластового давления для Ново-Корневского месторождения должно быть не ниже критического (25,5-26,6 МПа).

Полученные зависимости помогут повысить достоверность гидродинамической и геологической моделей месторождений, эффективность разработки и прогноза добычи нефти, качество проводимых геолого-технических мероприятий. Позволят подобрать оптимальные пластовые и забойные давления для работы скважин.

Литература

1. Гиматулинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. – М.: Недра, 1982. - 311с.
2. Лобов А.И. Упруго-деформационные эффекты в девонских породах-коллекторах нефти и газа Припятского прогиба. Автореф. канд. диссертации. – Минск, 1994. - 160 с.

УДК 551/79(476)

ЛОЖБИНА СТОКА ПО р. ПТИЧЬ НА МИНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Н.А. Шимбалёва, О. И. Кравец

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Южная часть Минской возвышенности расчленена древними ложбинами стока талых ледниковых вод. Характерной особенностью таких ложбин является корытообразная форма и плоское дно. В большинстве случаев дно ложбин стока талых вод заболочено и заторфовано, склоны в верхних частях ложбин крутые, при выходе за пределы возвышенности – выполаживаются и сливаются с прилегающими зандровыми полями. Большинство ложбин стока южной части Минской возвышенности наследуют реки – Уса, Птичь, Свислочь, Гайна и др., по названиям которых удобно именовать и сами ложбины. Долины этих рек в большинстве случаев занимают только небольшую часть дна ложбин стока. Геологическое строение таких ложбин юга Минской возвышенности рассмотрим на примере наиболее изученной ложбины Птичи (рис.).

Длина реки составляет 421 км. Общее падение 176 м начинается на высоте 295 м над уровнем моря за 1 км на запад от д. Нарейки Дзержинского района. Верхнее течение - в границах Минской возвышенности. Абсолютная отметка уреза воды в реке при выходе из возвышенности (у д. Самохваловичи) составляет около 187 м. Следовательно, река врежется в ледниковые отложения Минской возвышенности на 108 м. Река Птичь в пределах возвышенности наследует ложбину стока талых ледниковых вод, имеющую трапециевидную форму шириной до 5,5 км. Образование ложбины стока связывается с припятским (сожским) ледниковым временем. Впоследствии дно и склоны ложбины заполнялись осадками различного возраста и генезиса.

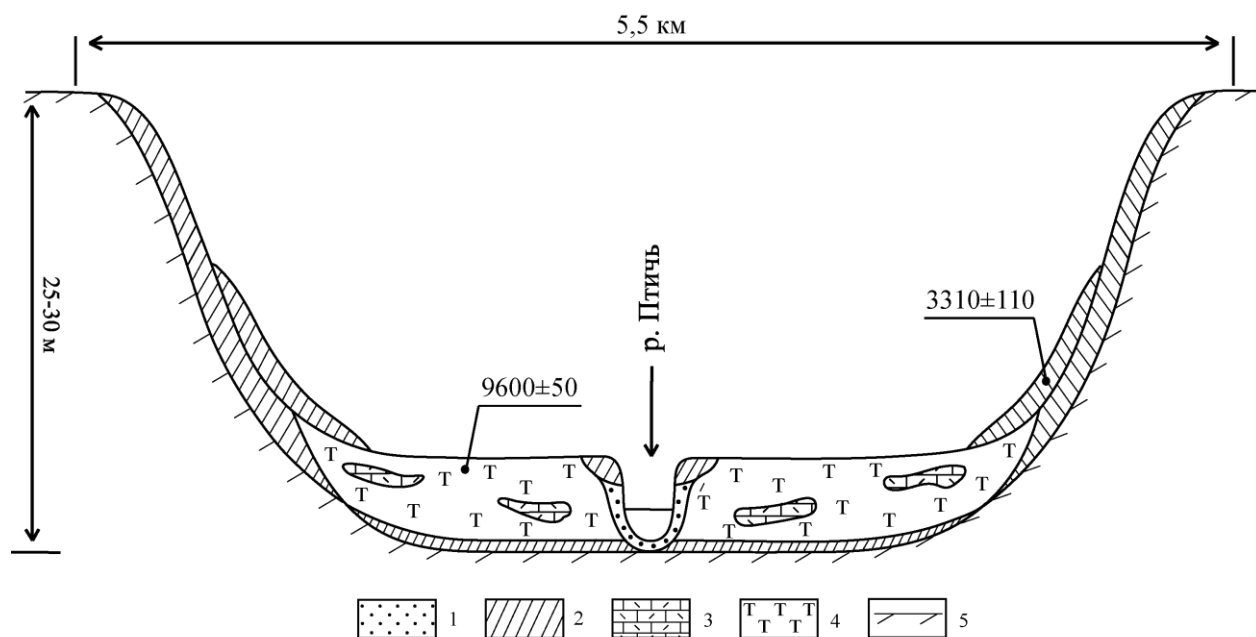


Рис. Схематическое геологическое строение ложбины стока Птичь: 1 – песок, 2 – супесь, 3 – известковый туф, 4 – торф, гумусированные отложения, 5 – коренные породы

Исследования ложбины стока Птичи, проведенные Т. Калицким и другими [1], позволили выделить на ее дне несколько серий отложений. Они дают возможность восстановить историю развития ложбины.

I этап формирования ложбины Птичи связан с грандиозным по масштабам, даже катастрофическим стоком талых ледниковых вод во время деградации припятского (сожского) ледникового покрова. К концу этого этапа окончательно оформились параметры ложбины и она приобрела вид близкий к современному.

II этап развития ложбины был самым длительным. Он охватывал время от конца припятского оледенения до поозерского позднеледникового. Отложения этого этапа на дне ложбины стока у д. Прилучки не сохранились. Несомненно, что на дне ложбины накапливались осадки в муравинское, ранне- и среднепоозерское время. Однако впоследствии они подверглись денудации. Скорее всего, процессы сноса и переноса

материала вниз по дну ложбины произошли на заключительном этапе поозерского оледенения, когда в ложбину хлынули потоки воды, освободившиеся в это время от многолетней мерзлоты.

III этап в развитии ложбины стока Птичь связан с поозерским позднеледниковьем. Отложения этого этапа залегают на моренных накоплениях припятского возраста и представлены несколькими слоями. Дно ложбины у д. Прилучки выстилают некарбонатные супеси с единичными раковинами моллюсков. Спорово-пыльцевые спектры из этих отложений по данным В.П. Зерницкой характерны для похолодания климата в среднем дриасе (DR-2) [2]. На некарбонатных супесях залегают прослойка сильно разложившегося, некарбонатного торфа мощностью около 20 см, с количеством органики до 30 % и сравнительно высоким разнообразием остатков наземной (10 таксонов) и пресноводной (15 таксонов) фауны моллюсков. Растительность в это время была представлена сосновыми (с участием берёзы) лесами, что позволило В.П. Зерницкой отнести ее к аллерёдскому тёплому этапу (Al) поозерского позднеледниковья. В конце этапа отмечается изменение в составе растительности: рост значения пыльцы трав и сокращение участия сосны и берёзы с повышением роли ивы и ели, что говорит о постепенном похолодании климата. Выше по разрезу (на аллередском торфу) залегают торфянистые карбонатные супеси с содержанием CaCO_3 около 25–50 %, иногда встречаются тонкие прослойки известкового туфа, толщиной до 2 см. Количество и разнообразие малакофаунистических остатков в этих отложениях снова становится беднее. Почти полностью исчезают наземные моллюски, преобладают стагнофилы, т. е. обитатели стоячих водоёмов, причём, судя по высокой концентрации данных видов, водоём в это время достиг максимальных размеров и был населён, в основном, эвриэкологическими видами. Данные спорово-пыльцевого анализа показывают максимальные значения пыльцы трав (20–40 %) и возрастающую роль сосново-берёзово-еловых лесов с участием тундростепных сообществ. Такие изменения в развитии флоры и фауны указывают на похолодание климата, характерное для позднего дриаса (DR-3).

К рассматриваемому этапу, по всей вероятности, относится часть серых тонких, близких к лессовидным, супесей мощностью до 5 м, облекающие моренные склоны ложбины Птичи у д. Прилучки.

IV этап формирования отложений ложбины Причь – голоценовый. Голоценовые отложения на дне ложбины р. Птичь достигают мощности 3 и более метров. Они представлены гумусированными карбонатными образованиями, торфом и известковым туфом (торфотуфом) с содержанием CaCO_3 50–80 %. В отложениях присутствуют многочисленные раковины моллюсков. При этом в нижней части отложений преобладают раковины пресноводных моллюсков с участием гидрофилов, способных обитать во временных, периодически пересыхающих водоемах. В верхней части голоценовых отложений количество раковин сильно возрастает. Господство переходит к представителям наземной фауны. В количественном отношении основная роль принадлежит видам открытых пространств. В нижней части голоценовых отложений присутствуют раковины бореально–альпийского моллюска *Vertigo geyeri* Lindholm, что указывают на условия, свойственные прохладному пребореальному (PB), а, возможно, и бореальному (BO) периодам раннего голоцена.

По древесине из нижней части голоценовых отложений получена радиоуглеродная датировка – $9\,600 \pm 50$ тыс. лет назад [3]. В верхней части голоценовой толщи преобладают карбонатные органогенные супеси, переслаивающиеся с известковым туфом. В этой части отложений состав раковин моллюсков претерпевает изменения: увеличивается количество и разнообразие наземных моллюсков и возрастает доля стагнофилов за счёт уменьшения видов временных водоёмов. Окружающая среда, судя по всему, имела весьма неустойчивый характер, так как наблюдаются частые смены лидирующих видов моллюсков. Наиболее вероятно, что данная ассоциация малакофауны развивалась в оптимальное голоценовое время, соответствующее теплому и влажному

атлантику. Приповерхностные отложения содержат раковины моллюсков, относящиеся к открытым ландшафтам. Это может означать усиление хозяйственной деятельности человека, связанная в основном, с вырубкой лесов вблизи ложбины. На склонах птичьей ложбины в это время усиливаются делювиальные процессы, приведшие к образованию поверх древней более молодой генерации делювия с погребенной почвой, имеющей радиоуглеродный возраст $3\,310 \pm 110$ лет назад [1]. По-видимому, в начале голоцена образовалась река Птичь. В течение всего голоцена река текла в узкой долине по дну ложбины стока. Следы меандрирования реки на плоском дне ложбины не отмечаются.

Таким образом, ложбина стока Птичь была образована на заключительном этапе последнего на Минской возвышенности припятского оледенения. Отложения дна и склонов ложбины представлены только образованиями позднепоозерского возраста и голоцена. Более древние отложения (припятско-поозерские) были размыты и не сохранились. С позднепоозерского времени в ложбине стока начали накапливаться аллювиальные отложения р. Птичь. Здесь аллювий занимает очень узкое место на дне ложбины стока, основная часть отложений, заполняющих дно ложбины стока, представлена болотными (торф, гумусированные отложения) и источниковыми отложениями (известковые туфы). Седиментация сильнокарбонатных отложений (известкового туфа) на дне ложбины произошла, в основном, в раннем голоцене, что подтверждают малакофаунистический и споро-пыльцевой анализы, а также данные радиоуглеродного датирования.

Литература

1. Kalicki T., Sanko A.F., Litvinjuk G.I. Zapis poznoglacjalnych I holocenskich zmian klimatu I dzialalnosci clowieka w osadach dna i sboczy Ptyczy kolo Minska // Badania ewolucji dolin rzecznych na Bialorusi – I. Dok. Geogr., N 6. Pod red. T.Kalickiego. Wroclaw, 1997. - S. 83-104.
2. Зерницкая В.П. Запись климатических событий позднеледниковья в пыльцевых спектрах перигляциальной зоны поозерского оледенения // Геология и полезные ископаемые четверт. отложений: в 2 ч.: Матер. VIII Университетских геол. чтений. – Минск: Цифровая печать, 2014. – Ч. 1. - 82 с.
3. Alexandrowicz W.P., Sanko A.F. Malacofauna and calcareous deposits in the Ptich valley (Minsk Upland, Belarus) // Folia Quaternaria. Malacofauna and environmental changes. Krakow, 1997. N 68. - P. 203-211.