

УДК 622.276.031.011.43:53.091

ВЛИЯНИЕ БАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ДЛЯ КОЛЛЕКТОРОВ СЕВЕРО-ВЕНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Д.Н. Мезенцев, Ю.А. Щемелинин, Т.И. Ледовская, Г.Г. Войков*

ОАО «ТомскНИПИнефть», г. Томск
*ООО «Венинефть», г. Южно-Сахалинск
E-mail: MezentsevDN@nipineft.tomsk.ru

Рассматриваются результаты лабораторных экспериментов по определению фильтрационно-емкостных и петрофизических свойств пород: пористости, проницаемости, скорости пробега упругих волн, удельного электрического сопротивления в атмосферных и барических условиях для коллекторов Северо-Венинского месторождения Сахалинской области. Получены корреляционные связи исследуемых характеристик.

Ключевые слова:

Коллектор, пористость, проницаемость, барические условия, упругие характеристики, параметр пористости пласта.

Key words:

Reservoir, porosity, permeability, pressure conditions, elastic characteristics, formation porosity factor.

В статье впервые приведены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния барического фактора на петрофизические характеристики керна терригенного разреза Северо-Венинского месторождения. При анализе экспериментальных данных получены зависимости, которые могут быть использованы при уточнении интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС), подсчета запасов, создании гидродинамической модели [1].

Массовые измерения на керне, необходимые для петрофизического обеспечения интерпретации материалов геофизических исследований скважин, проводятся при поверхностных условиях. При термобарических и барических условиях исследуется намного меньшее количество керна. Вопрос стоит об уточнении поправок для приведения петрофизических характеристик и возможных связей между ними к пластовым условиям [2].

В лаборатории физики пласта ОАО «ТомскНИПИнефть» помимо стандартных петрофизических исследований на кернах материала проводятся специальные петрофизические исследования в барических условиях. Полученные данные позволяют изучить влияние барического фактора на определяемые параметры и корреляционные связи между ними.

На рис. 1 представлены сопоставления коэффициента открытой пористости по гелию в поверхностных (атмосферных) и барических условиях. Видно, что изменение величины коэффициента открытой пористости в барических $K_{по}^{бар}$ и атмосферных $K_{по}^{атм}$ условиях несколько отличается. Для объекта разработки эти изменения составляют: 0,8 % – среднее; 0,5 % – минимальное и 1,44 % – максимальное значение. Относительное изменение пористости для объекта разработки составляет 6,2 %.

Таким образом, при пересчете пористости в барические условия для образцов объекта разработки Северо-Венинского месторождения Сахалинской

области рекомендуется использовать зависимость с высокой степенью корреляции R :

$$K_{по}^{бар} = 1,1135 K_{по}^{атм 1,0886}, \quad R = 0,996.$$

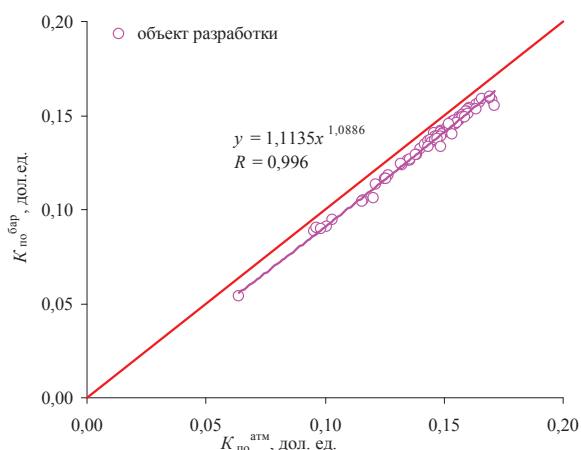


Рис. 1. Сопоставление коэффициента открытой пористости в пластовых и поверхностных условиях для образцов объекта разработки

Для количественного определения пористости широко используются данные ГИС. Что касается проницаемости, то надежных количественных геофизических методов для ее оценки пока нет. Поэтому как в петрофизике, так и при гидродинамическом моделировании часто проницаемость принимается как функция пористости, вычисленной по ГИС-оценкам.

На рис. 2 приведено сопоставление между значениями проницаемости в поверхностных $K_{пр}^{атм}$ и барических условиях $K_{пр}^{бар}$ для коллекторов Северо-Венинского месторождения по всему диапазону полученных проницаемостей. Получено уравнение регрессии, коэффициент корреляции в котором составляет 0,997.

Знание связи физических свойств горных пород в значительной степени повышает качество интер-

претации полевого материала. Электрические свойства и упругие параметры являются основой двух наиболее распространенных геофизических методов. При калибровке данных ГИС по данным, полученным на керне в поверхностных условиях, вводят поправочные коэффициенты на пластовые условия. Экспериментальные данные, полученные в условиях, приближенных к пластовым даже в относительно небольшом количестве, уменьшают неоднозначность зависимостей, позволяют уточнить поправочные коэффициенты.

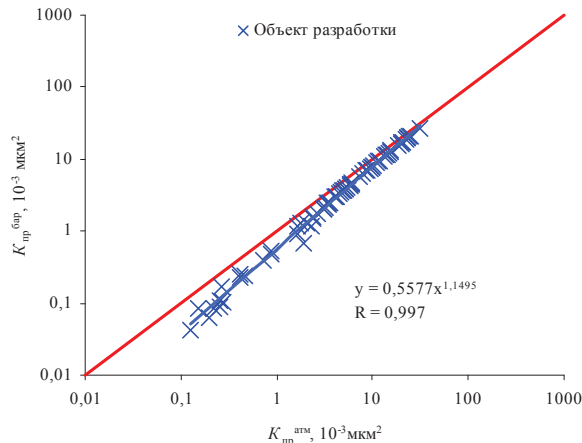


Рис. 2. Сопоставление коэффициента проницаемости в пластовых и поверхностных условиях для образцов объекта разработки

Для изучения зависимости изменений удельного сопротивления водонасыщенных песчано-глинистых пород от давления используют формулу, связывающую величины параметра пористости и коэффициента пористости породы — формулу Дахнова [1–4]

$$P_{\text{п}} = \frac{a_{\text{п}}}{K_{\text{по}}^m},$$

где $P_{\text{п}}$ — параметр пористости; $K_{\text{по}}$ — коэффициент открытой пористости, $a_{\text{п}}$ и m — постоянные для определенного типа породы.

Постоянную m называют структурным показателем или показателем цементирования. Показатель m зависит от множества факторов, в том числе: формы, сортированности и упаковки частиц матрицы породы, конфигурации и размера пор, сужения поровых каналов, их извилистости, присутствия глинистых материалов, уплотнения под действием горного давления, пластовой температуры. Установить зависимость этой величины от многообразных факторов в настоящее время невозможно, ее можно оценить только на образцах горных пород.

Электрическое сопротивление в атмосферных условиях определяли по двухэлектродной схеме на установке AERS-702, в которой ячейкой для измерения электрических свойств в атмосферных условиях служит кернодержатель АЕР-710. Для определения электрического сопротивления при бариче-

ских условиях использовали установку ОЕР-705. Относительная погрешность измерения не превышает 4 %.

Образцы насыщали моделью пластовой воды — раствором хлорида натрия минерализацией 14 г/л. Для определения параметра пористости была выбрана коллекция из 20 образцов. На каждом был замерен параметр пористости в атмосферных $P_{\text{п}}^{\text{атм}}$ и барических $P_{\text{п}}^{\text{бар}}$ условиях. Пористость образцов в выборке изменялась от 0,106 до 0,173 д.ед. Моделирование пластовых условий для данного месторождения обеспечивалось давлением обжима 35 МПа.

Коэффициент увеличения сопротивления параметра пористости $P_{\text{п}}^{\text{бар}}/P_{\text{п}}^{\text{атм}}$ для изученных образцов составил в среднем 2,6. Другими словами, под действием давления удельное сопротивление образцов Северо-Венинского месторождения возрастает на 160 % по сравнению с удельным сопротивлением, измеренным в атмосферных условиях. Под действием давления в породе происходит не только уменьшение коэффициента пористости, но и усложнение геометрии порового пространства, т. е. изменение структурного коэффициента m , значение которого возрастает.

На рис. 3 приведена зависимость параметра пористости от пористости, замеренной при атмосферных и барических условиях. Показатель цементации увеличивается с 1,24 до 1,35. Полученные экспериментальные данные позволили построить зависимость для определения параметра пористости от коэффициента пористости с учетом обжима, что увеличит точность интерпретации геофизических исследований.

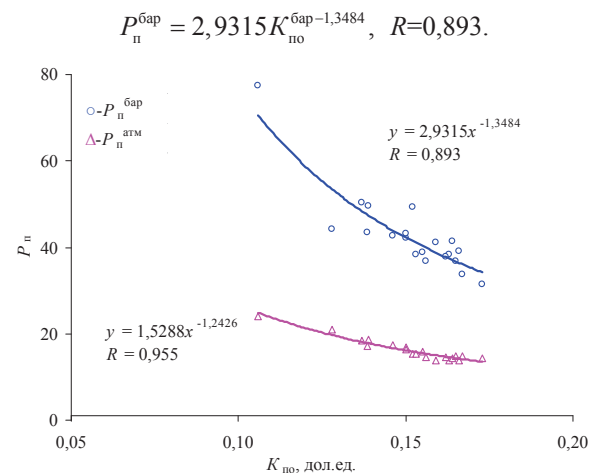


Рис. 3. Корреляционные зависимости параметра пористости от пористости для образцов объекта разработки

Для измерения скорости распространения упругих волн в образцах использовали специальную импульсную аппаратуру. При атмосферных условиях — прибор УК-10ПМС. Эксперимент при барических условиях проводили на установке AutoLab-500 компании «New England Research Inc».

Метод предусматривает определение скорости распространения продольной и двух поляризованных поперечных упругих волн при возбуждении ультразвуковых колебаний в образце породы. Направление вибрации для двух поперечных волн ориентируется на 90° друг к другу. Система позволяет проводить измерения в зависимости от давления обжима (горного) и внутриволнового давления [5]. Эксперимент проводили на полностью водонасыщенных образцах. Выборка для акустических исследований объекта разработки составила 50 образцов.

На рис. 4 приведено сопоставление скорости пробега продольной волны V_p при атмосферных и барических условиях. Соотношения характеризуются хорошей корреляцией.

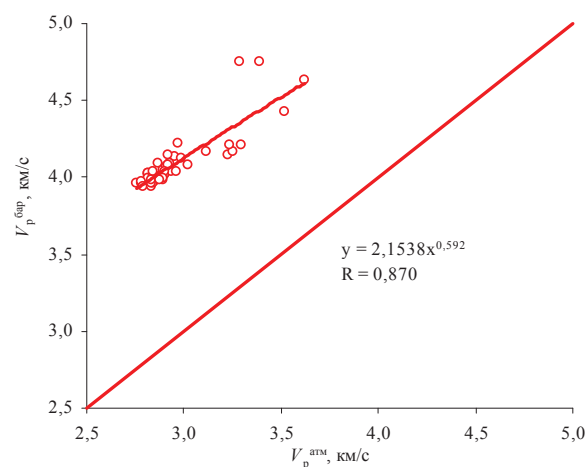


Рис. 4. Сопоставление скорости пробега продольной волны в поверхностных и барических условиях для образцов объекта

На рис. 5 приведены скорости пробега продольной волны от пористости при атмосферных и барических условиях. В обоих случаях наличествует тесная связь между этими параметрами. Во всем изученном интервале пористости в поверхностных условиях скорость волны значительно ниже, чем в приближенных к пластовым.

Кроме того построена зависимость скорости пробега волны при барических условиях $V_p^{\text{бар}}$ от коэффициента пористости при барических условиях, полученных для этих же образцов на установке АР-608.

Уравнения

$$V_p^{\text{бар}} = 2,3379 K_{\text{по}}^{\text{атм}-0,2936}, R=0,86;$$

$$V_p^{\text{бар}} = 2,3365 K_{\text{по}}^{\text{бар}-0,2827}, R=0,87;$$

$$V_p^{\text{бар}} = 2,1538 V_p^{\text{атм}0,592}, R=0,87$$

можно рекомендовать для пересчета измерений, полученных в поверхностных условиях, к барическим условиям.

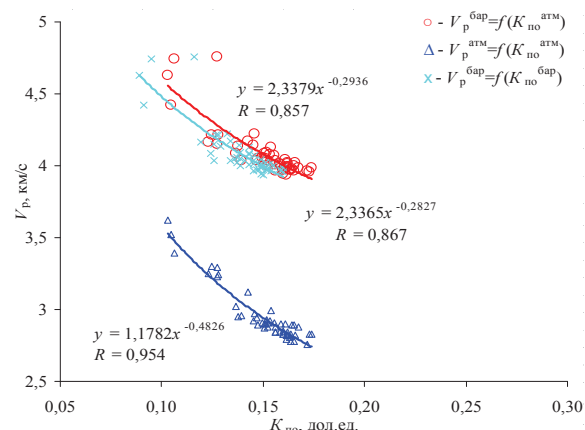


Рис. 5. Корреляционные зависимости скорости пробега продольной волны от пористости

Выводы

Впервые для терригенных коллекторов Северовенинского месторождения установлены тесные ядерные корреляционные зависимости пористости — как основной структурной и емкостной характеристики горных пород — с коэффициентом проницаемости, параметром пористости, скоростью пробега продольной волны с учетом барических условий. Приведены уравнения пересчета физических характеристик, замеренных в поверхностных условиях, на пластовые условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.Г. Определение физических свойств нефтесодержащих пород. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. — 592 с.
2. Дахнов А.В. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов. — М.: Недра, 1982. — 448 с.
3. Денисов С.Б., Евдокимов И.В., Ставинский П.В. Влияние термобарических условий на оценку запасов в терригенных и карбонатных отложениях // НТВ Каротажник. — 2009. — № 5 (182). — С. 3–13.
4. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. — М.: Наука, 1965. — 164 с.
5. Аноп А.А., Щемелин Ю.А., Раздобрева Н.И., Ледовская Т.И. Упругие характеристики коллекторов Крапивинского месторождения Томской области // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 318. — № 1. — С. 106–108.

Поступила 31.05.2012 г.