

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 «ТомскНИПНефть», 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 «ТомскНИПНефть» помимо стандартных петрофизических исследований на керновом материале 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  $R$ :

$$K_{по}^{бар} = 1,1135 K_{по}^{атм1,0886}, \quad R = 0,996.$$

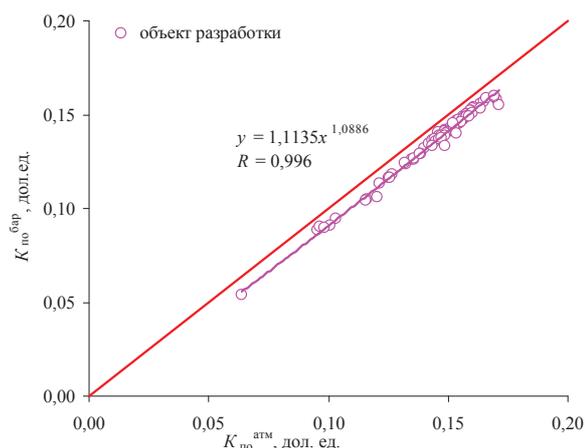


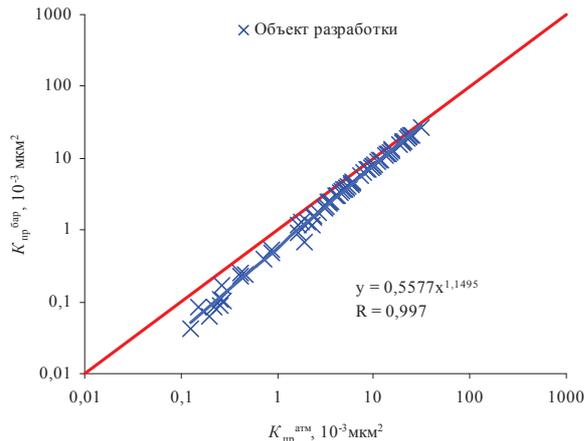
Рис. 1. Сопоставление коэффициента открытой пористости в пластовых и поверхностных условиях для образцов объекта разработки

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]

$$P_n = \frac{a_n}{K_{по}^m},$$

где  $P_n$  – параметр пористости;  $K_{по}$  – коэффициент открытой пористости,  $a_n$  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-

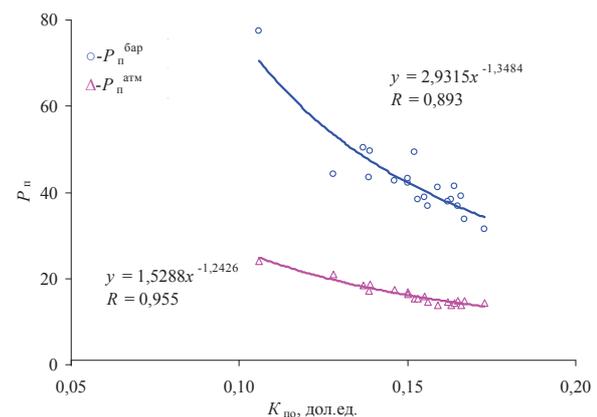
ских условиях использовали установку ОЕР-705. Относительная погрешность измерения не превышает 4 %.

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  $P_n^{атм}$  и барических  $P_n^{бар}$  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  $P_n^{бар}/P_n^{атм}$  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.

$$P_n^{бар} = 2,9315 K_{по}^{бар-1,3484}, \quad R=0,893.$$



**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  $90^\circ$  друг к другу. Система позволяет проводить измерения в зависимости от давления обжима (горного) и внутриволнового давления [5]. Эксперимент проводился 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.

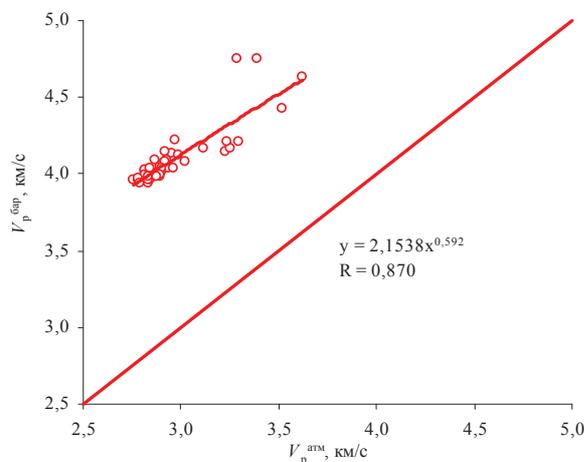


Рис. 4. Сопоставление скорости пробега продольной волны в поверхностных и барических условиях для образцов объекта

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.

#### 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.

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

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

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

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

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

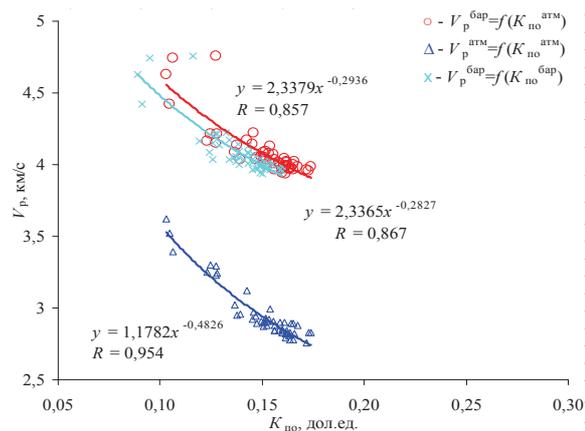


Рис. 5. Корреляционные зависимости скорости пробега продольной волны от пористости

#### 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.

4. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – М.: Наука, 1965. – 164 с.
5. Аноп А.А., Шемелин 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.