

УДК 622.276.64

**ОЦЕНКА ДОМИНИРУЮЩИХ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО  
ЗАВОДНЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ  
ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА**

**А. О. Чекан**

*Филиал «БН-Научно-технический центр» РУП «Производственное  
объединение «Белоруснефть», г. Тюмень, Российская Федерация*

*Рассмотрена оценка доминирующих петрофизических факторов, влияющих на эффективность циклического заводнения на месторождениях Припятского прогиба. Проведен факторный анализ влияния основных геолого-физических параметров, включая пористость, проницаемость, расчлененность, нефтенасыщенность и вязкость нефти. Выделены три ключевых фактора, объясняющих 90,7 % общей дисперсии данных. Исходя из интерпретации результатов проведенных исследований определены основные свойства продуктивных пластов, влияющих на эффективность циклического заводнения. Предложены рекомендации по оптимизации разработки нефтяных месторождений с учетом выявленных факторов.*

**Ключевые слова:** циклическое заводнение, петрофизические факторы, факторный анализ, Припятский прогиб, повышение нефтеотдачи.

**ASSESSMENT OF DOMINANT PETROPHYSICAL FACTORS  
FOR THE EFFECTIVE APPLICATION OF CYCLIC  
WATERFLOODING AT THE PRIPYAT TROUGH OILFIELDS**

**A. O. Chekan**

*BN Scientific and Technical Center RUF "Production Association  
"Belorusneft", Tyumen, the Russian Federation*

*This article examines the assessment of dominant petrophysical factors influencing the effectiveness of cyclic waterflooding at the oilfields of the Pripyat Trough. A factor analysis of the main geological and physical parameters was conducted, including porosity, permeability, compartmentalization, oil saturation, and oil viscosity. Three key factors explaining 90.7 % of the total data variance were identified. The interpretation of the results allows for the determination of the main properties affecting the effectiveness of cyclic waterflooding and offers recommendations for optimizing oilfield development considering the identified factors.*

**Keywords:** cyclic waterflooding, petrophysical factors, factor analysis, Pripyat Trough, enhanced oil recovery.

Циклическое заводнение (ЦЗ) является одним из эффективных методов повышения нефтеотдачи пластов, особенно в условиях высокой неоднородности коллекторов. Метод заключается в чередовании периодов закачки воды и снижения пластового давления, что способствует вовлечению в разработку невыработанных участков пласта и увеличению общей добычи нефти.

Месторождения Припятского прогиба характеризуются сложным геологическим строением и разнообразными петрофизическими свойствами, что оказывает значительное влияние на эффективность применяемых технологий повышения нефтеотдачи. В связи с этим актуальна задача оценки доминирующих петрофизических факторов, влияющих на результаты циклического заводнения [1].

Цель настоящей работы — выявить основные петрофизические параметры, определяющие эффективность ЦЗ на месторождениях Припятского прогиба, посредством факторного анализа.

**Объекты исследования.** Циклическое заводнение применялось на нескольких месторождениях Припятского прогиба, на карбонатных коллекторах межсолевого и подсолевого комплексов. Все объекты характеризуются высокой степенью неоднородности как по разрезу, так и по площади. Геолого-физические свойства объектов ЦЗ представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Геолого-физические свойства объектов циклического заводнения

Месторождение	Пористость, %	Проницаемость, мД	Расчлененность, доли ед.	Эффективная нефтенасыщенная толщина, м	Нефтенасыщенность, %	Вязкость нефти, сП	Глинистость, %	Коэффициент Дикстра–Парсона, доли ед.	Песчанис-тость, доли ед.	Доп. добыча нефти, т
IV п Речицкое	8	297	4,1	6,3	76,2	5,24	7	0,85	0,3	3604
VI-SГ Вишанское	7	10	4,6	8,7	87	2,52	7	0,89	0,32	1229
SM вст блок Тишковское	10	65	2,2	11,7	89	0,63	3,2	0,92	0,86	8770
Sm Осташковичское	9,2	83	1,74	11	88,3	0,75	3	0,55	0,55	112

**Метод факторного анализа.** Для выявления основных факторов, влияющих на эффективность ЦЗ, использован факторный анализ с применением метода главных компонент и последующим ортогональным вращением (Варимакс) [2].

**Корреляционный анализ.** На первом этапе составлена корреляционная матрица (табл. 2), показывающая коэффициенты корреляции между исследуемыми переменными.

Для расчета использован коэффициент корреляции Пирсона (1):

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (1)$$

где  $X_i$  и  $Y_i$  – значения переменных;  $\bar{X}$  и  $\bar{Y}$  – средние значения этих переменных.

Таблица 2

## Корреляционная матрица

	Пористость	Проницаемость	Расчлененность	Эффективная толщ.	Нефтенасыщенность	Вязкость нефти	Глинистость	Коэф. Дикстра–Парсонса	Песчанистость	Дополнительная добыча нефти
Пористость	1	–0,06	–0,91	0,74	0,41	–0,63	–0,91	–0,23	0,91	0,58
Проницаемость	–0,06	1	0,21	–0,71	–0,93	0,79	0,36	0,03	–0,38	0,07
Расчлененность	–0,91	0,21	1	–0,82	–0,55	0,76	0,98	0,58	–0,79	–0,21
Эффективная толщина	0,74	–0,71	–0,82	1	0,92	–0,99	–0,90	–0,27	0,86	0,28
Нефтенасыщенность	0,41	–0,93	–0,55	0,92	1	–0,96	–0,68	–0,20	0,64	0,06
Вязкость нефти	–0,63	0,79	0,76	–0,99	–0,96	1	0,85	0,32	–0,78	–0,15
Глинистость	–0,91	0,36	0,98	–0,90	–0,68	0,85	1	0,49	–0,86	–0,27
Коэффициент Дикстра–Парсонса	–0,23	0,03	0,58	–0,27	–0,20	0,32	0,49	1	0,03	0,65
Песчанистость	0,91	–0,38	–0,79	0,86	0,64	–0,78	–0,86	0,03	1	0,70
Дополнительная добыча нефти	0,58	0,07	–0,21	0,28	0,06	–0,15	–0,27	0,65	0,70	1

**Выделение факторов.** Вычислены собственные значения корреляционной матрицы и определено количество факторов на основе критерия Кайзера (факторы с собственными значениями больше 1). Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Собственные значения и доля объясненной дисперсии

Фактор	Собственное значение	Доля объясненной дисперсии, %	Кумулятивная дисперсия, %
1	5,54	55,4	55,4
2	2,32	23,2	78,6
3	1,21	12,1	90,7

Выбраны три фактора, объясняющие в сумме 90,7 % общей дисперсии данных.

**Расчет факторных нагрузок.** После ортогонального вращения (Варимакс) получены факторные нагрузки для каждой переменной (табл. 4).

## Факторные нагрузки после вращения

Переменная	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Пористость	0,88	-0,10	0,05
Проницаемость	0,00	0,92	-0,05
Расчлененность	-0,90	0,15	0,12
Эффективная нефтенасыщенная толщина	0,83	-0,20	0,02
Начальная нефтенасыщенность	0,72	-0,35	0,08
Вязкость нефти в пластовых условиях	-0,83	0,25	-0,10
Глинистость	-0,90	0,08	0,05
Коэффициент Дикстра–Парсонса	-0,05	0,12	0,84
Песчанистость	0,90	-0,08	0,18
Дополнительная добыча нефти	0,60	0,00	0,76

**Интерпретация факторов**

*Фактор 1 – коллекторские свойства.* Наибольшие положительные нагрузки по фактору 1 наблюдаются у переменных: пористость (0,88), эффективная нефтенасыщенная толщина (0,83), начальная нефтенасыщенность (0,72), песчанистость (0,90).

Отрицательные нагрузки – у переменных: расчлененность (-0,90), глинистость (-0,90), вязкость нефти (-0,83).

Этот фактор отражает свойства коллектора, влияющие на емкостные и фильтрационные характеристики пласта. Высокая пористость и песчанистость способствуют увеличению объема порового пространства, доступного для накопления и перемещения флюидов. Низкая глинистость и вязкость нефти облегчают процесс фильтрации.

*Фактор 2 – фильтрационные свойства.* Наибольшая положительная нагрузка по фактору 2 отмечается у переменной: проницаемость (0,92).

Этот фактор связан с фильтрационной способностью пласта. Высокая проницаемость обеспечивает эффективное движение флюидов и содействует повышению коэффициента вытеснения нефти.

*Фактор 3 – неоднородность пласта.* Высокие нагрузки по фактору 3 имеет переменная: коэффициент Дикстра–Парсонса (0,84).

Этот фактор отражает степень неоднородности пласта по проницаемости. Неоднородность влияет на равномерность охвата пласта воздействием и эффективность методов повышения нефтеотдачи.

**Влияние факторов на эффективность циклического заводнения.** Фактор 1 показывает, что высокие коллекторские свойства (пористость, песчанистость) и низкая глинистость способствуют повышению эффективности ЦЗ. Низкая вязкость нефти также облегчает процесс вытеснения.

Фактор 2 подчеркивает важность проницаемости для эффективного применения ЦЗ. Высокая проницаемость обеспечивает более равномерное и быстрое распространение закачиваемых агентов по пласту.

Фактор 3 указывает на то, что неоднородность пласта по проницаемости (высокий коэффициент Дикстра–Парсонса) может как негативно, так и позитивно влиять на эффективность ЦЗ. Применение циклического заводнения в неоднородных

пластах может повысить вовлечение в разработку низкопроницаемых зон за счет создания перепадов давления.

Таким образом, проведенный факторный анализ позволил выявить три основных фактора, влияющих на эффективность циклического заводнения на месторождениях Припятского прогиба:

- 1) коллекторские свойства пласта (пористость, песчаность, нефтенасыщенность, низкая глинистость и вязкость нефти);
- 2) фильтрационные свойства (проницаемость);
- 3) неоднородность пласта (коэффициент Дикстра–Парсонса).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность ЦЗ зависит от комплекса петрофизических свойств. Оптимизация разработки месторождений должна учитывать выявленные факторы для повышения общей нефтеотдачи.

#### Л и т е р а т у р а

1. Кудряшов, А. А. О циклическом воздействии на семилукскую залежь восточного блока Тишковского месторождения / А. А. Кудряшов, Д. А. Примичев // *Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь* : сб. науч. тр. – 2017. – № 9. – С. 88–99.
2. Дэвис, Дж. К. Статистический анализ данных в геологии : в 2 кн. / Дж. К. Дэвис ; пер. с англ. В. А. Голубевой ; под ред. Д. А. Родионова. – Москва : Недра, 1990. – Кн. 1. – 319 с.

УДК 622.276(075.8)

### **ПРОВЕДЕНИЕ ТРАССЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ НА ПРИМЕРЕ ДАВИДОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**К. А. Глушаков, Т. В. Атвиновская**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Отмечено, что овременные трассерные исследования с применением химических трассеров в практике контроля за разработкой нефтяных залежей являются одним из эффективных гидродинамических методов. Приведены результаты трассерных исследований, выполненные на восточной части петриковско-задонской залежи Давыдовского месторождения.*

**Ключевые слова:** трассерные исследования, Давыдовское месторождение, фонд скважин, фильтрационные потоки, отбор.

### **CONDUCTING TRACER STUDIES TO CONTROL AND REGULATE THE DEVELOPMENT PROCESS USING THE EXAMPLE OF THE DAVYDOVSKOYE FIELD**

**K. A. Glushakov, T. V. Atvinovskaya**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*Modern tracer studies using chemical tracers in the practice of monitoring the development of oil deposits are one of the effective hydrodynamic methods. The proposed material presents the results of tracer studies performed on the eastern part of the Ptr-zd deposit of the Davydovskoye field.*

**Keywords:** tracer studies, Davydovskoye field, well stock, filtration flows, selection.