

## СТАТЬИ

УДК 553.982:550

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
МЕТОДА ТЕРМОЩЕЛОЧНОГО ЗАВОДНЕНИЯ****Боровская Л.В., Шершнева В.А.***Кубанский государственный технологический университет, Краснодар,  
e-mail: borovskya@yandex.ru*

В современной нефтедобывающей промышленности остро встает вопрос об увеличении нефтеотдачи – коэффициента извлечения нефти из пласта, для чего ищутся возможности применения новых методов и усовершенствования старых. Активно изучается также возможность комбинирования методов извлечения. Авторами рассмотрены основные технологические и физические факторы, влияющие на величину коэффициента извлечения нефти из пласта, проведен анализ существующих ходовых методов и возможности комбинированного подхода к решению проблемы. В частности, представлен анализ метода щелочного заводнения, который основан на комбинированном химическом и тепловом методах воздействия на пласт. Рассмотрены особенности физико-химического взаимодействия щелочных реагентов с пластовой нефтью, представлен анализ метода щелочного заводнения, также рассмотрены особенности взаимодействия щелочных реагентов с пластовой нефтью в зависимости от различных тепловых режимов процесса извлечения, проведен анализ глубины извлечения. На примере лабораторных исследований конкретного месторождения построена зависимость нефтеотдачи от химического состава воды при различных температурах. Показано, что при подборе оптимальных условий работы реагентов при данной температуре можно добиться качественного извлечения из пласта нефти, которая не может добываться традиционными способами. В государственных программах Российской Федерации в сфере воспроизводства углеводородного сырья уделяется большое внимание применению методов увеличения нефтеотдачи пластов, которые могут повысить коэффициент извлечения нефти на уже разработанных месторождениях и вовлечь в разработку трудноизвлекаемые запасы. Всё это связано с планом по проведению мероприятий по импортозамещению в отрасли нефтегазового дела, рассмотренный в этой статье метод входит в список мероприятий по повышению добычи.

**Ключевые слова:** нефтеотдача, коэффициент, извлечение, нефть, физико-химический, метод, щелочное, заводнение, температура, зависимость, анализ

**THE PHYSICO-CHEMICAL BASIS  
OF THE THERMAL-ALKALI WATERFLOODING METHOD****Borovskaya L.V., Shershneva V.A.***Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: borovskya@yandex.ru*

In today's oil industry, there is an urgent need to increase oil recovery – the rate of oil recovery from a reservoir – by seeking new methods and improving old ones. The possibility of combining extraction methods is also actively studied. Authors have considered basic technological and physical factors influencing the value of oil recovery factor, analyzed existing standard methods and possibility of combined approach to the problem. Also, analysis of the alkaline waterflooding method based on the combined chemical-thermal method of reservoir stimulation the features of the physicochemical interaction of alkaline reagents are presented. Features of physical and chemical interaction of alkaline reagents with formation oil are considered, the analysis of alkaline flooding method is presented, also the features of interaction of alkaline reagents with formation oil depending on various thermal regimes of extraction process are considered, the depth of extraction is analyzed. By the example of laboratory research in a particular field the dependence of oil recovery on the chemical composition of water at different temperatures is plotted. It is shown that selecting optimum conditions for reagents at the given temperature one can achieve quality oil recovery from the reservoir which cannot be recovered by conventional methods. In the state programs of the Russian Federation in the sphere of hydrocarbon raw material reproduction much attention is paid to application of methods of enhanced oil recovery, which can increase oil recovery factor at the already developed fields and involve hard-to-recover reserves in development. All this is related to the plan to carry out import substitution measures in the oil and gas industry, and the method discussed in this article is included in the list of production enhancement measures.

**Keywords:** oil recovery, coefficient, recovery, oil, physicochemical, method, alkaline, waterflooding, temperature, dependence, analysis

В реальное время крупные нефтяные фирмы разрабатывают месторождения агрессивными методами – это приводит к снижению объема добычи из-за внушительного количества остаточной нефти. Это явление связано с финансовой частью в нефтедобывающей отрасли, но прогрессивное состояние сырье-

вой базы Российской Федерации вынуждает подумать о внедрении свежих способов извлечения нефти. В нашей статье предложено решение этой проблемы с учётом экономической и экологической составляющих.

Разработка новых методов, позволяющих извлекать остаточные запасы нефти

там, где это уже невозможно сделать обычным способом, весьма актуальна в настоящее время, и в нефтедобывающей промышленности остро встает вопрос об увеличении нефтеотдачи – коэффициента извлечения нефти (КИН) пласта, путем применения новых методов либо усовершенствования старых. В нашей работе представлен анализ комплексного физико-химического процесса взаимодействия щелочных реагентов с пластовой нефтью.

Нефтеотдача – коэффициент извлечения нефти (КИН) – это отношение объема добытой из пласта нефти к первоначальным её запасам в пласте (до разработки).

Рассмотренная величина зависит от многочисленных факторов и варьируется от 0,09 до 0,75 (9-75%). Вычисление коэффициента извлечения нефти производят по формуле:

$$\eta = V_{\text{нефти добытой}} / V_{\text{нефти балансовой}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{нефти добытой}}$  – объем добываемой нефти из пласта;

$V_{\text{нефти балансовой}}$  – объем первоначальной (балансовой) нефти в пласте.

Анализируя многолетний опыт нефтедобычи, можно отметить, что основными причинами, влияющими на КИН, являются следующие:

1. Геолого-физический и технологический факторы. Они определяются минеральным составом, структурным фактором, текстурой осадочного слоя, маг-

матическим, метаморфическим составом породы и неоднородностью продуктивного горизонта.

2. Физические факторы – это реологические свойства (вязкость) нефти и воды.

3. Способ интенсификации добываемой нефти.

При разработке нефтяных и газонефтяных залежей с использованием заводнения и иных способов влияния на пласт учитывается единственный расклад к обеспечиванию конечного КИН [1].

### Материалы и методы исследования

Увеличение нефтеотдачи – это совокупность задач, которые ориентированы на совершенствование физико-химических свойств нефтяного коллектора (рис. 1). Есть несколько методов для улучшения показателей – к самым известным можно отнести: гидродинамический, физико-химический, тепловой и микробиологический. В настоящее время активно изучается комбинированный метод воздействия на пласт, потому что производится быстрый анализ нефти и подбор нужных реагентов и температуры для качественного извлечения нефти из пласта.

Последующее физико-химическое воздействие в добывающих скважинах усиливает эффект технологий нефтеотдачи на блоке залежи, позволяя достичь лучших результатов по извлечению остаточных углеводородов, тем самым снизить потери [2].

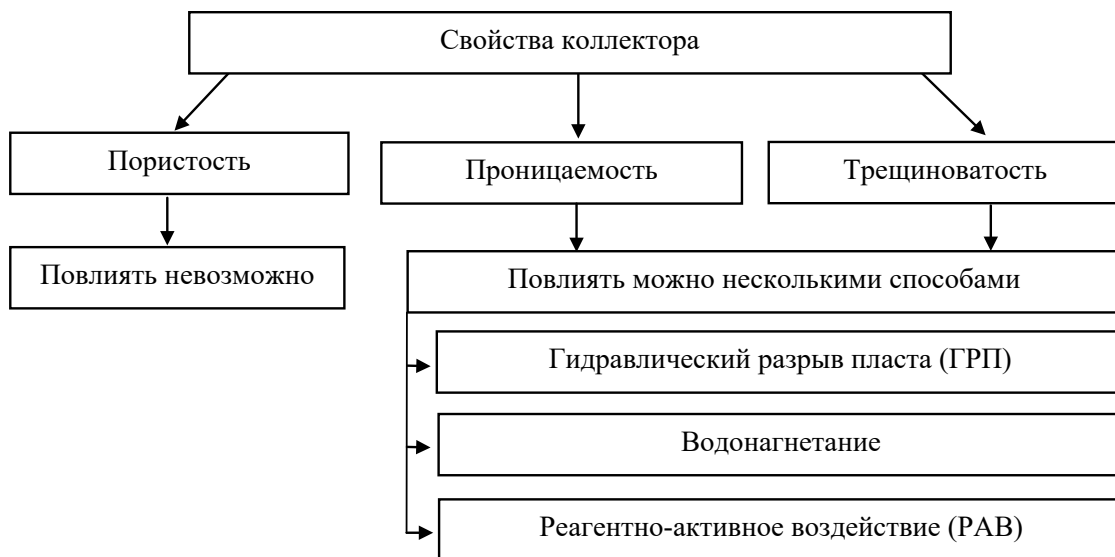


Рис. 1. Свойства коллектора и технологии повышения нефтеотдачи

В реальное время извлечение нефти из нефтеносных пластов считается неудовлетворительным, притом что потребление нефти с каждым годом растет – первое место по добыче занимают страны СНГ и Россия, что составляет почти половину от всей добываемой нефти. Второе место занимают США и Саудовская Аравия. Эти страны добывают 30% нефти в мире. Третье место занимают страны Юго-Восточной Азии и Латинской Америки, добывающие меньше 30% от всей добываемой нефти в мире.

Из приведенных выше примеров стран делаем вывод, что остаточная, или не извлекаемая промышленно освоенными методами нефть составляет 55-75% от первоначальных геологических запасов. Постепенно легкой нефти становится все меньше, что приводит к повторному возвращению к старым пластам, только уже с использованием физико-химических методов извлечения.

Сейчас актуальна разработка новых методов, позволяющих извлекать остаточные запасы нефти там, где это невозможно делать обычным способом, поэтому наступает эра новых рабочих агентов [3].

Метод щелочного заводнения основан на взаимодействии щелочи с пластовой

нефтью и породой. В состав пластовой нефти входят органические кислоты. Известно, что высокомолекулярные жирные кислоты при взаимодействии с щелочью образуют поверхностно-активные вещества, которые значительно снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз в силу дифильности строения своих молекул, тем самым увеличивая гидрофильность системы и, как следствие, усиление смачиваемости породы водой.

В ходе анализа лабораторных данных был подведен итог, что уровень межфазного натяжения растет с наращиванием числа органических кислот в нефти (рис. 3). Высокая эффективность применения щелочных растворов для вытеснения нефти возрастает при сочетании с тепловым воздействием – об этом свидетельствуют результаты лабораторных исследований, проведенных на образцах Ярегского месторождения (где вязкая нефть преобладает) [4].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученных данных из лаборатории показал, что уровень понижения межфазного натяжения растет с наращиванием числа органических кислот в нефти.

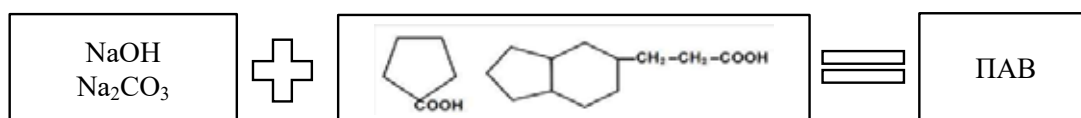


Рис. 2. Процесс получения поверхностно-активного вещества (ПАВ)

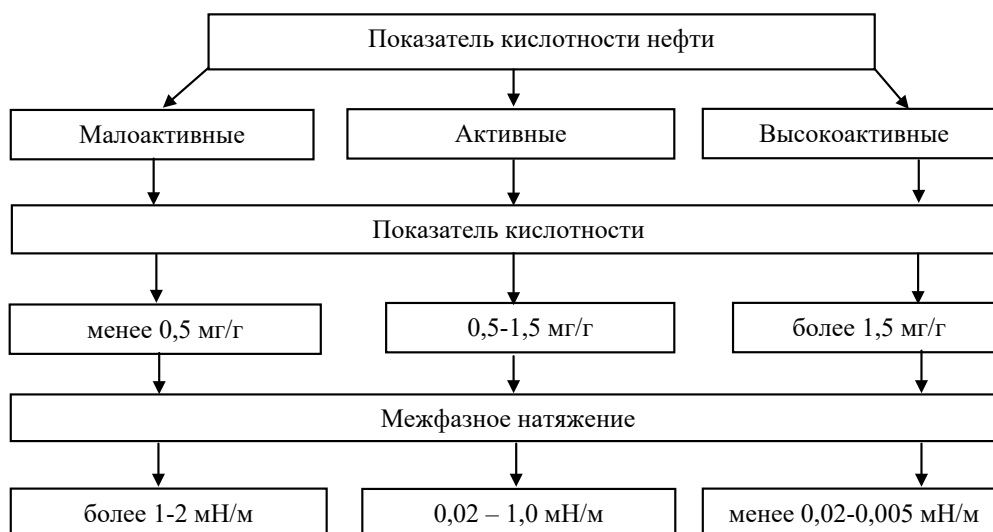


Рис. 3. Активные свойства нефти по показателю кислотности

На рисунке 3 видно, что для увеличения вытеснения воды достаточно снизить поверхностное натяжение до 0,01-0,05 мН/м. Одной из наиболее необходимых составляющих в процессе термощелочного заводнения является конфигурация смачиваемости породы щелочным веществом, путём наращивания адсорбции органических кислот на плоскости породы из нефти. Применение раствора щелочи приводит к сокращению контактного угла породы со смачиваемой водой, вследствие чего происходит гидрофилизация пористой среды, что наращивает эффективность вытеснения нефти [5].

*Опыт № 1. Корреляция между химическими растворами и нефтяным пластом при температуре 70 °С*

Параметры задаваемых условий для исследуемых растворов при установлении корреляции приведены в таблице 1.

Приведенная на рисунках 4 и 5 взаимозависимость коэффициента капиллярного

вытеснения нефти от химической структуры вытесняющей воды при температуре 70-90 °С позволяет сделать вывод, что при температуре 70 °С самым эффективным для применения в качестве вытесняющей среды является раствор дисольвана, а при 90 °С – щелочной раствор карбоната натрия и силиката натрия, которые способствуют гидрофилизации поверхности пород (табл. 1 и рис. 3) [6].

Также при использовании щелочных растворов при заводнении необходимо учитывать совместимость пластовых вод с нагнетаемым в пласт раствором реагента. Если в ходе проведения исследований обнаружена несовместимость, то реагент меняют на другой.

*Опыт № 2. Корреляция между химическими раствором карбоната натрия и нефтяным пластом при температуре 90 °С*

Параметры задаваемых условий для исследуемых растворов при установлении корреляции приведены в таблице 2.

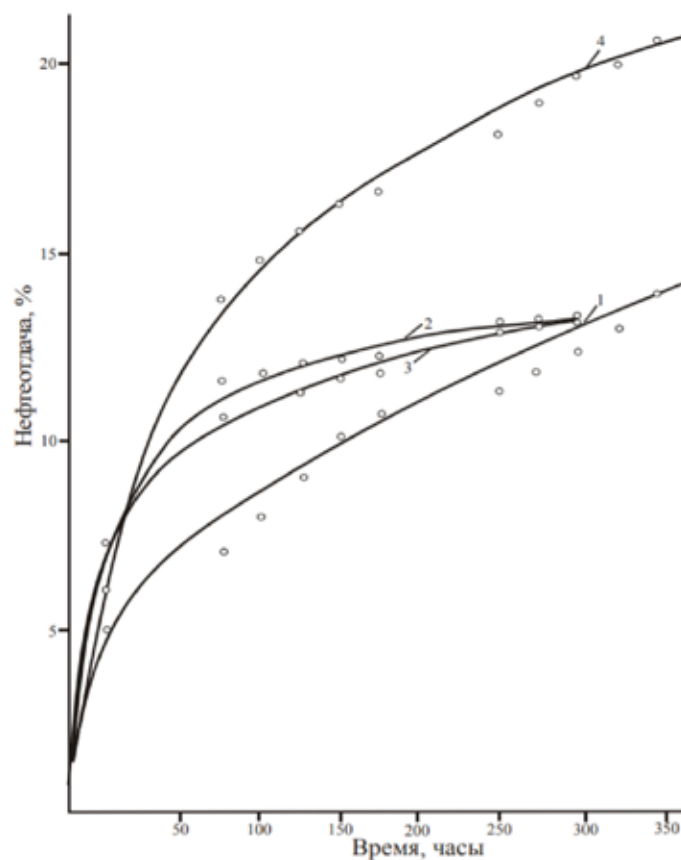


Рис. 4. Корреляция между химическими растворами и нефтяным пластом при температуре 70°С.  
 1 – вода пластов; 2 – раствор карбоната натрия;  
 3 – раствор силиката натрия; 4 – раствор дисольвана

Таблица 1

Корреляция между химическими растворами и нефтяным пластом при температуре 70 °С

	Процент нефтеотдачи при температуре 70 °С								
	40 ч	94 ч	100 ч	140 ч	150 ч	174 ч	250 ч	275 ч	300 ч
Вода пластов	5	6,5	7,5	8	8,5	9,5	10	11	11,3
Раствор карбоната натрия	-	10	11	12	12	11,5	11,5	11,4	11,4
Раствор силиката натрия	7,5	10,5	10,5	11	11,4	11,4	11,4	11,45	11,4
Раствор дисолвана	6	13,5	14	15	15,5	15,7	16	16,5	17

Примечание. 1 – вода пластов; 2 – раствор карбоната натрия; 3 – раствор силиката натрия; 4 – раствор дисолвана.

Таблица 2

Корреляция между химическими растворами и нефтяным пластом при температуре 90 °С

	Процент нефтеотдачи при температуре 90 °С						
	30 ч	40 ч	70 ч	130 ч	160 ч	200 ч	220 ч
Раствор первый (0,05%)	5	6,5	7,5	8	8,5	9,5	10
Раствор второй (0,1%)	-	10	11	12	12	11,5	11,5
Раствор третий (0,5%)	7,5	10,5	10,5	11	11,4	11,4	11,4

Примечание. 1 – первый раствор (0,05%); 2 – второй раствор (0,1%); 3 – третий раствор (0,5%).

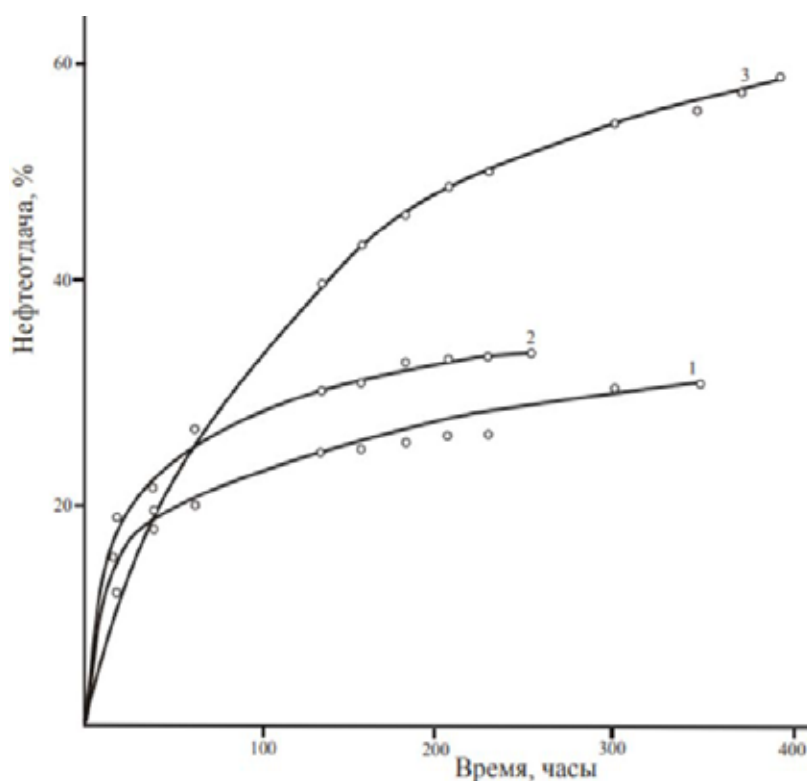


Рис. 5. Корреляция между химическими раствором карбоната натрия и нефтяным пластом при температуре 90 °С.  
1 – первый раствор (0,05%); 2 – второй раствор (0,1%); 3 – третий раствор (0,5%)

Применение термического воздействия более целесообразно использовать в добываемых месторождениях нефти с повышенной вязкостью. При этом щелочь должна будет закачиваться уже в прогретый пласт, чтобы повысить коэффициент извлечения нефти (КИН). Еще термощелочное влияние содействует отмыванию пленочной нефти – в отличие от иных физико-химических методов. После анализа результатов можно сделать вывод, что применение термощелочного воздействия перспективно и должно активно внедряться в нефтедобывающую промышленность (табл. 2 и рис. 5) [6].

### Заключение

Учитывая результаты лабораторных исследований, считаем, что наиболее перспективным является применение физико-химического метода термощелочного воздействия на залежах высоковязкой нефти для повышения коэффициента извлечения пласта и тем самым устранения потерь; при внедрении этой технологии в полевых усло-

виях произойдет также увеличение экономических параметров нефтескважины.

### Список литературы / References

1. Рузин Л.М., Морозиук О.А. Методы повышения нефтеотдачи пластов. Ухта, 2014. 127 с.  
Ruzin L.M., Moroziuk O.A. Enhanced oil recovery methods. Uhta, 2014. 127 p. (in Russian).
2. Елькин Б.П., Иванов В.А., Рябков А.В. Технологические процессы нефтегазового комплекса. Тюмень, 2018. 150 с.  
Elkin B.P., Ivanov V.A., Ryabkov A.V. Technological processes of oil and gas complex. Tumen, 2018. 150 p. (in Russian).
3. Щелкачев В.Н. Отечественные и мировая нефтеотдача. М., 2013. 132 с.  
Shchelkachev V.N. Domestic and World Oil Recovery. M., 2013. 132 p. (in Russian).
4. Хайн Норман Дж. Геология, разведка, бурения и добыча нефти, 2015. 200 с.  
Hine Norman J. Geology, Exploration, Drilling and Production, 2015. 200 p. (in Russian).
5. Густафсон Т.А. Колесо фортуны. Битва за нефть и власть в России, 2017. 599 с.  
Gustafson T.A. The Wheel of Fortune. The Battle for Oil and Power in Russia, 2017. 599 p. (in Russian).
6. Агабеков В.Е., Косяков В.К. Нефть и газ, 2014. 458 с.  
Agabekov V.E., Kosyakov V.K. Oil and Gas, 2014. 458 p. (in Russian)