

## Микробиологическое воздействие на пласт

Технология микробиологического воздействия на пласт основана на закачке биомассы микроорганизмов (сухого активного ила) в нагнетательные скважины на нефтяных месторождениях средней и поздней стадии разработки, где низка эффективность заводнения.

Метод предусматривает чередование введения водовоздушной смеси и раствора питательных веществ.

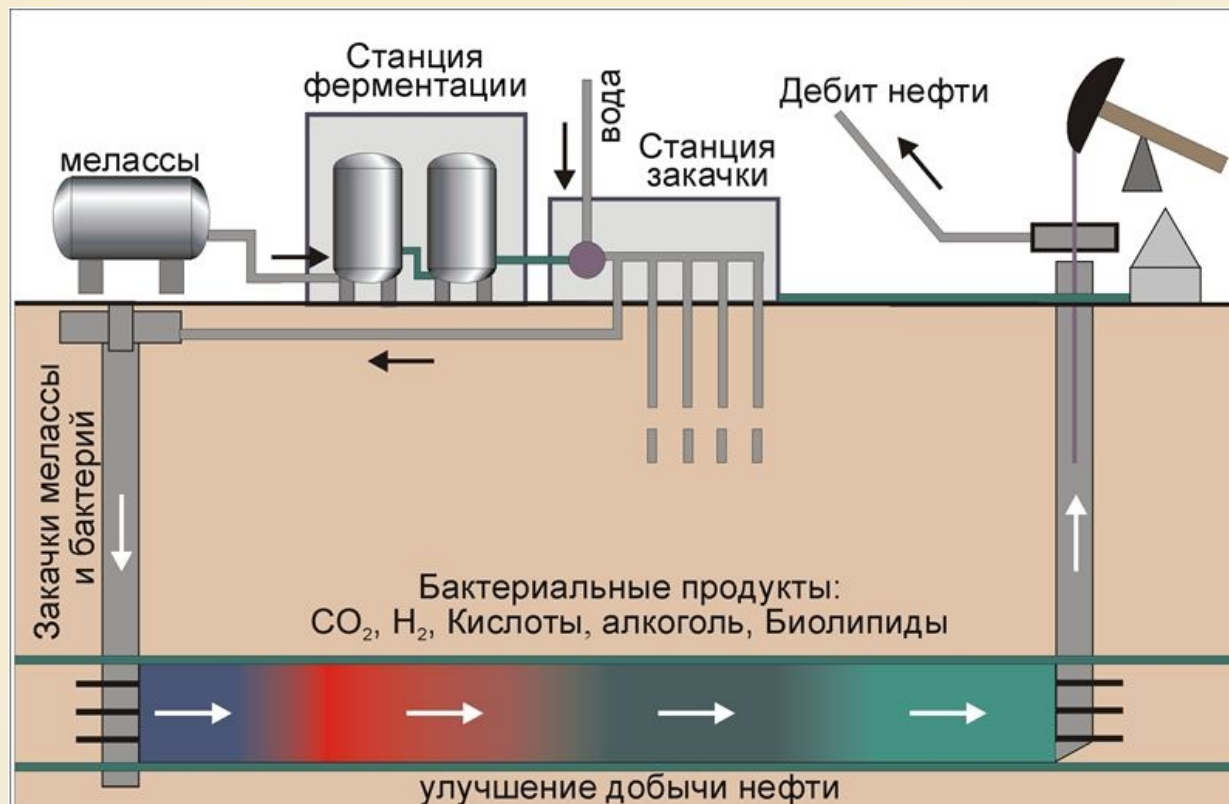
Микробиологические технологии используются во многих отраслях промышленности, но на сегодняшний день широко известны следующие основные направления развития и применения микробиологических технологий в нефтяной промышленности:

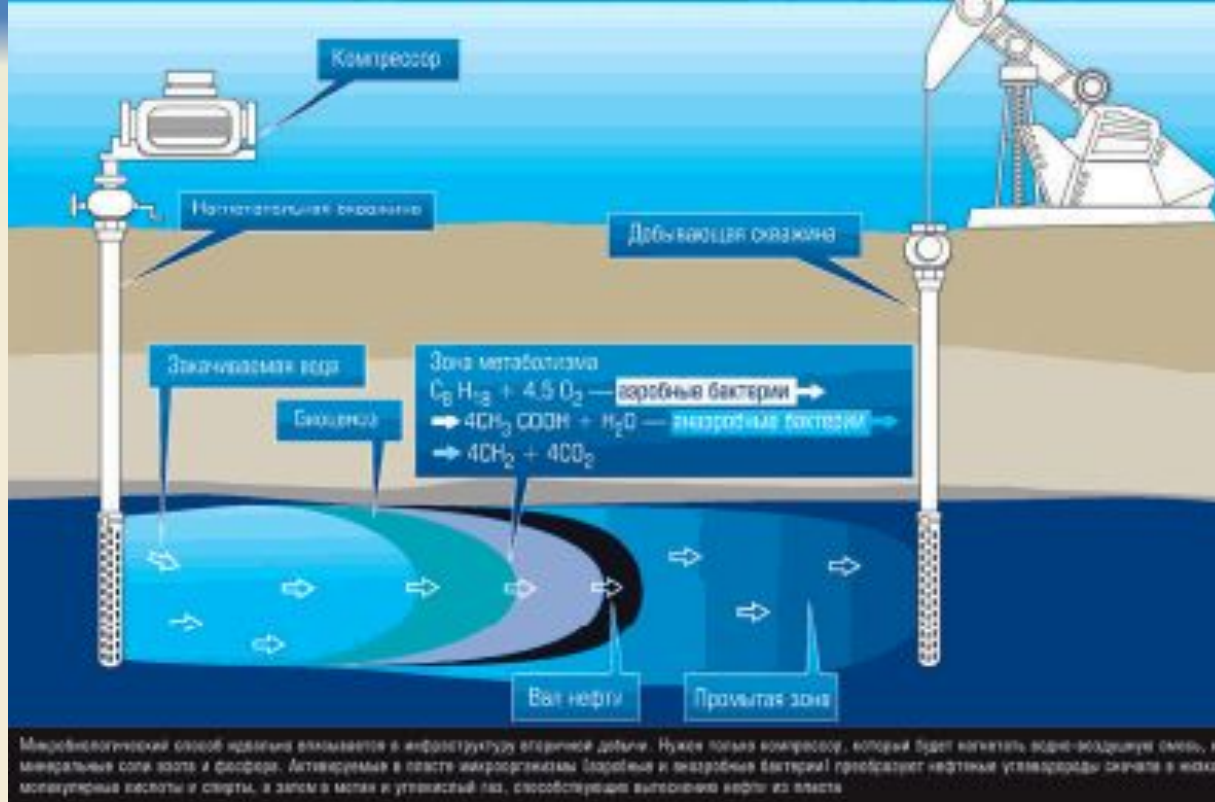
при разработке нефтяного месторождения для повышения нефтеотдачи пластов;  
стимуляция скважин;

при разливах нефти используется для очистки почвенного покрова земли и воды;  
для очистки скважинного оборудования

Механизм увеличения нефтеотдачи достигается, во-первых, селективной закупоркой высокопроницаемых промытых пропластков скоплениями микроорганизмов и выделяемыми ими биополимерами, что повышает коэффициент охвата пласта заводнением.

Во-вторых, генерируемые микроорганизмами нефтевытесняющие продукты метаболизма (биогазы, биоПАВы) увеличивают подвижность остаточной нефти, повышая коэффициент вытеснения.





Микробный агент	Микробы	Продукт
Газ	Clostridium	Метан, водород
Кислоты	Clostridium	Пропионовая кислота
	Enterobacter Mixed acidogens	Масляная кислота
Растворители	Clostridium, Zymomonas и Klebsiella	Ацетон Бутанол Пропан-2-диол
	Acinetobacter Bacillus sp	Emulsan and alasan Surfactin, rhamnolipid, lichenysin
БиоПАВы	Pseudomonas Rhodococcus sp., etc	Rhamnolipid, glycolipids Viscosin and trehaloselipids

Микробный продукт	Механизм увеличения нефтеотдачи	Эффект
Газ (H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение вязкости нефти</li> <li>• Увеличение подвижности нефти</li> <li>• Вытеснение нефти</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение нефтеотдачи за счет газа</li> <li>• Повышение давления на забое</li> </ul>
Кислоты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение пористости, проницаемости</li> <li>• CO<sub>2</sub> , полученный в ходе хим. реакции между кислотой и карбонатом, уменьшает вязкость нефти</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение нефтеотдачи</li> </ul>
Растворители (спирты, кетоны и др)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение вязкости нефти</li> <li>• Очищение от АСПО</li> <li>• Снижение межфазного натяжения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Создание эмульсии</li> </ul>
БиоПАВы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение межфазного натяжения</li> <li>• Изменение характера смачиваемости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Образование ПАВов</li> <li>• Улучшение характера заводнения</li> </ul>
Биополимеры	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Закупорка высокопроницаемых пропластков и промытых зон</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Избирательная закупорка пласта</li> </ul>

## Виды микробиологического воздействия

Технологии, использующие продукты жизнедеятельности микроорганизмов, полученные на поверхности земли

- Методы близки к химическим
- Создание на поверхности биоПАВов, биополимеров, эмульгаторов

Развитие микробиологических процессов в пласте

Введенный с поверхности  
Биоценоз

- С поверхности вводятся культуры микроорганизмов с питательными веществами

Пластовый  
биоценоз

- Активизируется естественная микрофлора путем подачи в пласт питательных веществ с поверхности

В современных биотехнологиях используются:

1. бактерии, утилизирующие углеводороды
2. неорганические питательные вещества (азот, калий, фосфор, микроэлементы)
3. биокатализатор – жидкий ферментный препарат

## Рекомендации по подготовке к проведению микробиологических МУН

1. Выбор опытного участка или скважины для необходимой обработки (экономически выгоднее высокий % обводненности, высокая парафинизация, поздняя стадия разработки, высоковязкая нефть);
2. Предоставление Институту микробиологии полной характеристики месторождения и опытного участка для составления тех. Регламента;
3. Лабораторный анализ закачиваемой воды и добываемой жидкости с целью определения наилучшего состава питательных веществ и микроорганизмов, лабораторные опыты (проводится Институтом микробиологии);
4. На выбранном опытном участке необходимо остановить закачку полимеров, сделать предварительную промывку перед закачкой микробиологического состава.

### Состав реагента

Диаммоний фосфат, перекись водорода (источник кислорода), нитраты (аммиачная или др селитра), микробный препарат. Рекомендуется закачка углеводородоокисляющих бактерий, которые повышают эффективность МУН (культивируются в лаборатории).

## Критерии выбора участка

Критерии	Допустимый интервал	Оптимальное значение
Тип коллектора	Теригенные отложения, песчаники	
Глубина залегания, м	До 4000	-
Мощность нефтенасыщенного горизонта, м	не менее 1	3-10
Пористость, %	12-25	17-25
Абсолютная проницаемость, мдарси	больше 40	больше 150
Пластовое давление, Мпа	до 40,0	-
Температура пласта, С <sup>0</sup>	20-80	30-50
Общая минерализация пластовых вод, г/л	до 300	до 100
Общая соленость закачиваемых в пласт вод, г	г/л до 60	до 30
Содержание сульфатов в пластовых и закачиваемых водах	до 100	до 5
Содержание воды, %	40-99	60-80
Вязкость, мПас	10-500	30-150
Дебит скважин по жидкости, м <sup>3</sup> / сутки	более 5	-
Содержание сероводорода в пластовых водах	до 30	0 30

## Преимущества метода

1. Дешево, доступно, не зависит от цены на нефть;
2. Нетрудоемкий метод, не требует кап. затрат;
3. Легко вписывается в существующую технологию заводнения;
4. Экологически чистая технология (безопаснее хим. методов);
5. 81% биотехнологий показал положительный результат и не показал падение по добыче в результате применения вообще;
6. Эффект микробиологической активности внутри пласта усиливается в результате их роста, в то время как эффект от других МУН затухает со временем и расстоянием;
7. Комплексное воздействие на пласт;
8. Повышение качества добываемой нефти;
9. Увеличение КИН на 57%

## Недостатки

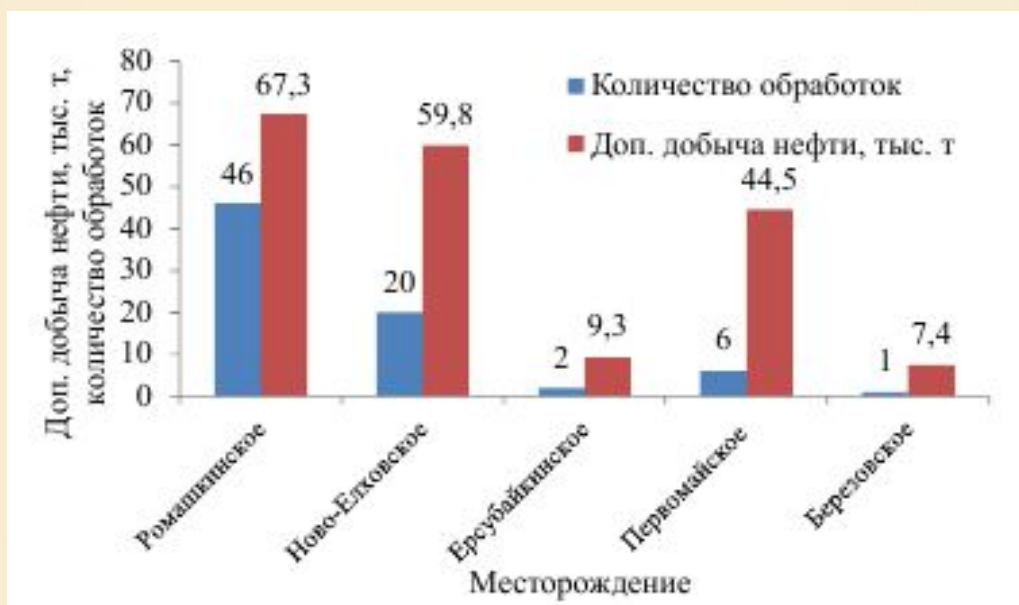
1. Отсутствие математических моделей;
2. Не в совершенстве изученная технология;
3. Немногочисленность специалистов в этой области;
4. Возможность закупорки бактериями пласта.

Условия пласта (высокая температура и давление) Западной Сибири ограничивают возможный слишком большой рост бактерий. Современные методы развития микробной популяции направлены на выработку нефтевытесняющих метаболитов, а не на рост биомассы клеток;

5. Невозможно спрогнозировать результат



По состоянию на 01.04.2015 г. технология микробиологического воздействия реализована на нагнетательных скважинах в шести НГДУ: «Елховнефть», «Прикамнефть», «Лениногорскнефть», «Джалильнефть», «Ямашнефть» и «Азнакаевскнефть». Объекты воздействия находятся в пределах площадей и залежей Ромашкинского, Ново-Елховского, Первомайского, Ерсубайкинского и Березовского месторождений, разрабатывающих терригенные отложения девона и карбона.



Опыт применения технологии микробиологического воздействия позволяет говорить о её преимуществах, таких как: низкие затраты на проведение обработки, экологическая безопасность, высокая технологическая эффективность. В пластовых условиях продукты биосинтеза бактерий позволяют увеличить подвижность нефти за счет снижения ее вязкости и снижения межфазного натяжения на границе раздела сред, что улучшает отделение нефти от породы пласта. Также органические кислоты и углекислота, выделяемые микроорганизмами, способствуют изменению фильтрационно-ёмкостных свойств нефтеносного коллектора.

Расчёт экономического эффекта технологии МБВ

Показатели	Значения
	(Расч.)
Дополнительная добыча нефти, т	1080
Цена реализации (без НДС), ЭП, ком. расх.), руб./т	12690
Налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ), руб./т	7147,3
Затраты на внедрение технологии, тыс. руб.	300,0
Прибыль от реализации, тыс. руб.	5152,6
Налог на прибыль, тыс. руб.	1236,6
Чистая прибыль (факт. эффект), тыс. руб.	3916,0
Рентабельность (чист. прибыль/произв. затраты), %	46
Индекс доходности затрат, д. ед.	1,4

Нагнетательная скв. 2138 НГДУ «Елховнефть»

# Борьба с СВБ

## Проблемы:

- Коррозия трубопроводов и нагнетательных скважин, за счет выделяемого СВБ коррозионно-активного сероводорода
- Снижение приемистости нагнетательных скважин за счет роста биомассы в ПЗП нагнетательных скважин

## Способы борьбы:

- 1) Соли азотной кислоты (нитраты) + раствор  $H_2O_2$  подавляют образование сероводорода. А также при необходимости закачки дополнительных микробов, рекомендуется закачивать толерантные к сероводороду штаммы *Thiobacillus denitrificans*.
- 2) Активирование газообразных и углеводородутилизирующих бактерий (например, с помощью мелассы) ограничивает развитие СВБ, метаболитические продукты которых могут служить субстратом для полисахариобразующих, ферментативных и газообразующих бактерий.
- 3) Бактерициды, как показали опыты, также имеют комплексный характер воздействия, и помимо удаления бактерий со скважинного оборудования, предотвращения его коррозии, увеличивают нефтеотдачу пласта за счет мертвой биомассы, закачиваемой вместе с водой, которая действует как биополимеры.

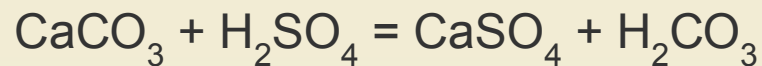
## Пример:

Технология бактерицидного воздействия препаратом ЛПЭ-11 с добавкой реагента Полиглицерина заключается в периодическом воздействии ударными дозировками таколиглицерина заключается в периодическом воздействии ударными дозировками, так чтобы на 6-8 месяцев подавить жизнедеятельность СВБ и гетеротрофных организмов. Этот препарат был успешно применен в условиях Западной Сибири на месторождении Юганскнефтегаза Южно-Балыкское. В условиях гидрофильной породы эта смесь способна с одной стороны, гидрофобизировать поверхность породы, повышая фазовую проницаемость по нефти, с другой стороны, стабилизировать в водной среде взвешенные дисперсные частицы глины, мертвой биомассы микроорганизмов и др механических примесей определенных размеров

## Закачка серной кислоты

Химическое взаимодействие серной кислоты с ароматическими углеводородами нефти приводит к образованию сульфокислот в количестве 5 — 7% от массы нефти, которые являются анионами ПАВ и способствуют улучшению извлечения нефти из пор пласта. Как показали лабораторные эксперименты, при вытеснении нефти из пористых сред оторочкой серной кислоты коэффициент вытеснения возрастает на 13 — 15% по сравнению с обычным заводнением. Столь высокая эффективность обусловлена не только образованием из нефти ПАВ, но и тем, что при химическом взаимодействии сульфат-ионов с солями кальция, составляющими минералогическую основу породы, образуется малорастворимый в воде сульфат кальция — гипс. Кристаллы гипса частично закупоривают поры пласта, промытые водой, направляя последующие порции воды в поры, заполненные нефтью. Это приводит к повышению охвата пласта вытеснением. Были выявлены и другие эффекты, способствующие улучшению вытеснения нефти при сернокислотном воздействии, а именно, разбавление в пласте концентрированной кислоты погребенной или ранее закачанной водой сопровождается выделением тепла. Расчеты показывают, что при разбавлении 1 т кислоты до 0, 5% -ной концентрации выделяется 620 тыс. кДж тепла. Взаимодействие серной кислоты с терригенными породами призабойной зоны пласта приводит к увеличению их проницаемости, что наряду с выпадением гипса в глубине пласта обуславливает перераспределение градиентов давления в сторону их увеличения на фронте вытеснения.

Концентрированная (98 %) серная кислота не разрушает металла. Коррозия начинается только при ее разбавлении водой.



Расчеты показывают, что при закачке серной кислоты образуется оторочка размером до 3% от объема пор пласта 4%-ного раствора углекислоты (карбонизированной воды), которая обуславливает возрастание коэффициента извлечения нефти за счет одновременного возрастания коэффициентов вытеснения и охвата.

На 1 т кислоты дополнительно добывается 30 - 50 т нефти, а приемистость водонагнетательных скважин возрастает на 60-70%. Применяют либо техническую серную кислоту концентрацией до 96%, либо так называемую алкилированную серную кислоту (АСК) концентрацией 80-85% (сернокислотный отход производства высокооктанового бензина).

Технология метода заключается в закачке в пласт небольшой (порядка 0,15% порового объема пласта) оторочки серной кислоты, продвигаемой по пласту водой. Для этого у нагнетательной скважины размещают емкости (500-2000 м<sup>3</sup>) с АСК, которую насосами закачивают в пласт. После этого скважина подключается к общей системе заводнения для закачки воды

## Критерии эффективного применения методов

Важным условием эффективного применения методов увеличения нефтеотдачи пластов является правильный выбор объекта для метода или, наоборот, метода – для объекта.

Критерии применимости методов определяют диапазон благоприятных свойств флюидов и пласта, при которых возможно эффективное применение метода или получение наилучших технико-экономических показателей разработки. Эти критерии определены на основе анализа технико-экономических показателей применения метода, обобщения опыта его применения в различных геолого-физических условиях, а также использования широких теоретических и лабораторных исследований.

Обычно выделяются три категории критериев применимости методов:

**Геолого-физические** (свойства пластовых жидкостей, глубина залегания и толщины нефтенасыщенного пласта), параметры и особенности нефтесодержащего коллектора (насыщенность порового пространства пластовыми жидкостями, условия залегания) и другие;

**Технологические** (размер оторочки, концентрация агентов в растворе, размещение скважин, давление нагнетания и т. д.);

**Материально-технические** (обеспеченность оборудованием, химическими реагентами, их свойства и др.);

Критерии первой категории являются определяющими, наиболее значимыми и независимыми. Технологические критерии зависят от геолого-физических и выбираются в соответствии с ними. Материально-технические условия большей частью также являются независимыми, остаются неизменными и определяют возможность выполнения технологических критериев.

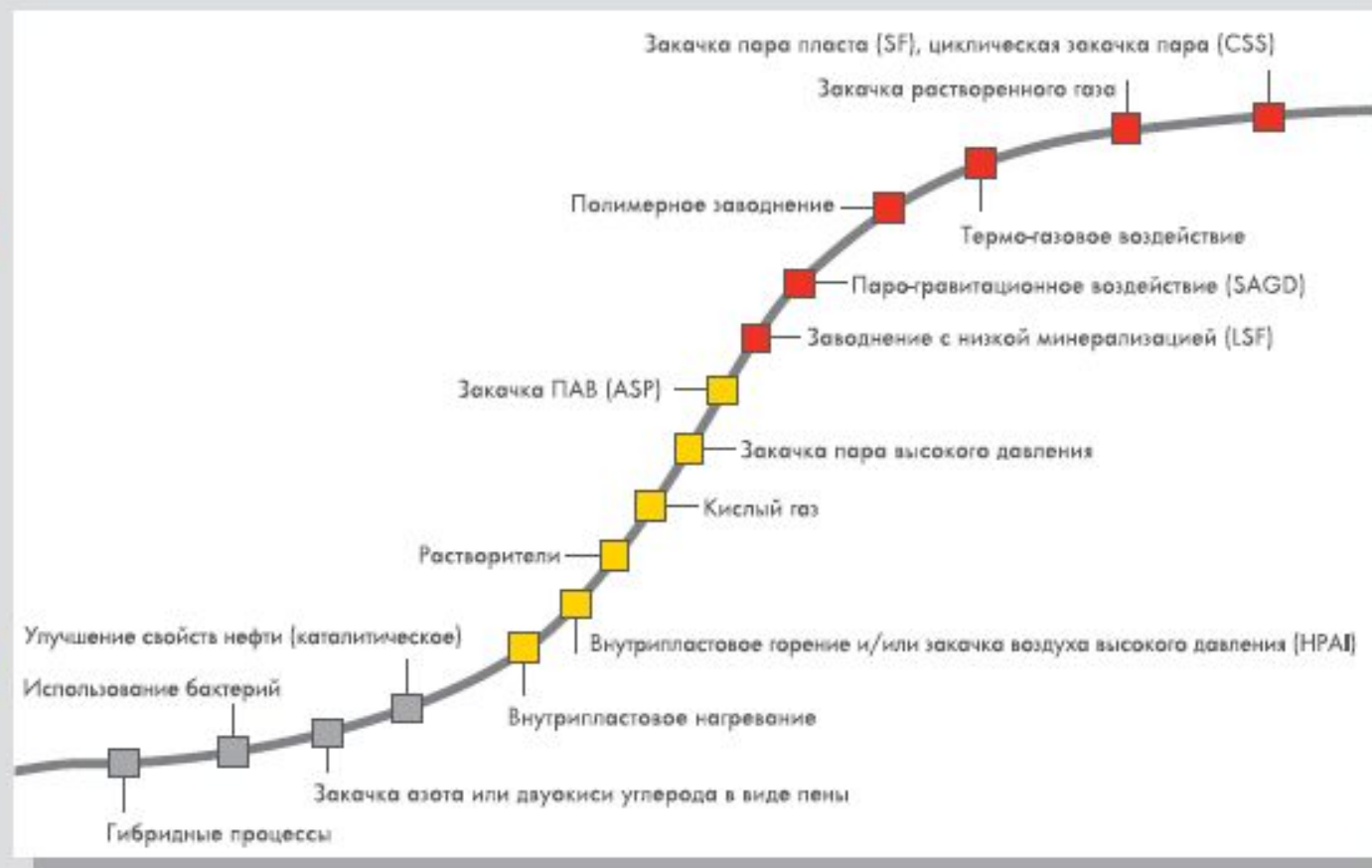
Методы	Пластовая нефть		Вода		Коллектор			Условия залегания		
	Вязкость, мПа*с	состав	Насыщенность, %	Минерализация, г/м <sup>3</sup>	неоднородность	проницаемость	Тип и хим.-физ св-ва.	Давление пл. МПа	Температура, С <sup>0</sup>	Толщинам
Заводнение с ПАВ*	До 50	Наличие асфальтенов и смол	До 30	До 0,2	Неоднородный, отсутствие трещин	10 и более	Глинистость не более 5-10%	-	Менее 90	До 15
Полимерное заводнение*	От 10 до 100	-	До 30	Ограниченное содержание ионов Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Неоднородный, отсутствие трещин	Более 100	Глинистость не более 5-10%	-	Менее 90	-
Мицеллярное заводнение*	До 10	-	До 70	Ограниченное содержание ионов Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Однородный	Более 100	Ограниченное содержание карбонатов	-	Менее 65-90	-
Щелочное заводнение	До 100	Наличие органических кислот	До 60	Содержание ионов Ca <sup>2+</sup> до 0,000025	Неоднородный, отсутствие трещин	Более 100	Глинистость не более 5-10%	-	-	-
Сернокислотное заводнение* Применение CO <sub>2</sub> *	1-30	Наличие ароматических соединений	До 30	-	Умеренно-однородный	Менее 500	Терригенный с содержанием карбонатов 1-2%	-	-	-
Применение CO <sub>2</sub> *: оторочки	До 50	Ограниченное содержание асфальтенов и смол	До 60	Ограниченное содержание ионов Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Неоднородный	5 и более	-	Выше давления насыщения	-	До 15 при пологом залегании, при крутом не огр.

Методы	Пластовая нефть		Вода		Коллектор			Условия залегания		
	Вязкость, мПа*с	состав	Насыщенность, %	Минерализация, г/м <sup>3</sup>	неоднородность	проницаемость	Тип и хим.-физ св-ва.	Давление пл. МПа	Температура, С <sup>0</sup>	Толщинам
Применение CO <sub>2</sub> : в сочетании с заводнением	До 50	Ограниченно е содержание асфальтенов и смол	До 60	-	Неоднородный, отсутствие трещин	Более 50	-	Выше давления насыщения	-	-
Применение у.в. газа.* Газ высокого давления.	До 10	-	До 60	-	Однородный	5 и более	-	Выше давления насыщения	-	До 15 при пологом залеган., при крутом не огр.
Водогазовая смесь	До 50	-	До 60	-	Неоднородный, отсутствие трещин	Более 50	-	То же	-	-
Внутрипластовое горение*	До 100	Ограниченно е содержание серы	До 50	-	Отсутствие трещин	Более 100	-	-	-	Более 3
Закачка в пласт пара	Более 50	Наличие лёгких компонентов	-	-	Умеренно-однородный	Более 100	-	-	-	Более 6



▲ Степень развития технологий

■ Источение  
■ Демонстрация/Оптимизация  
■ НИОКР



▶ Время с начала применения технологий