



**А.В. Фомкин**  
канд. техн. наук  
ОАО «ВНИИнефть  
им. акад. А.П. Крылова»  
генеральный директор  
office@vniineft.ru



**С.А. Жданов**  
д-р техн. наук  
ОАО «ВНИИнефть  
им. акад. А.П. Крылова»  
советник генерального директора  
office@vniineft.ru

# Анализ условий для внедрения методов увеличения нефтеотдачи в России и за рубежом

1. Россия, 127422, Москва, Дмитровский пр-д, 10.

*На основе отечественного и зарубежного опыта анализируются факторы, которые определяют необходимость и могут способствовать активному внедрению новых технологий повышения эффективности разработки нефтяных месторождений и методов увеличения нефтеотдачи*

**Ключевые слова:** трудноизвлекаемые запасы; методы повышения нефтеотдачи; эффективность воздействия; прирост извлекаемых запасов нефти

**В** России, как, впрочем, и в других нефтедобывающих странах, практически непрерывно в последние 40–50 лет ведутся дискуссии о необходимости более активного применения новых технологий нефтеизвлечения, обеспечивающих больший коэффициент нефтеотдачи и позволяющих более эффективно использовать открываемые запасы нефти.

Можно заметить, что эти дискуссии в разные периоды времени принимали разные формы обсуждения и, самое главное, имели различные последствия – от малозначительных до конкретных значимых практических решений.

Какие факторы влияли на это, и есть ли какие-то временные и технологические закономерности в развитии технологий повышения эффективности нефтеизвлечения? Авторы решили рассмотреть некоторые из этих

факторов, в том числе те, на которые обычно мало обращается внимания.

Последние годы (20–25 лет) характеризуются существенным изменением структуры запасов разрабатываемых и вновь вводимых в разработку месторождений. Все большее влияние на возможности развития объемов добычи нефти в стране оказывает возрастающая доля так называемых трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Принципиально меняется и структура этих запасов.

Если в середине 1970-х гг. к категории ТРИЗ (время появления этого термина для характеристики изменения структуры запасов нефти страны) относились низкопроницаемые пласты (менее 30 мкм<sup>2</sup>), высоковязкие нефти (более 30 МПа·с) и подгазовые зоны пластов, то сейчас перечень ТРИЗ значительно расширяется, принципиально изменились геолого-физические критерии относительно

Трудноизвлекаемые запасы нефти	
<i>По природным факторам (общепринятое)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высоковязкие;</li> <li>– подгазовые;</li> <li>– низкопроницаемые.</li> </ul>
<i>По природным, техногенным, техническим, экономическим факторам</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высоковязкие нефти;</li> <li>– подгазовые зоны;</li> <li>– низкопроницаемые пласты;</li> <li>– ультранизкопроницаемые;</li> <li>– в нетрадиционных резервуарах (бажен, абалак, тюменская свита и др.);</li> <li>– осложненные трещиновато-пористые карбонатные пласты;</li> <li>– остаточные в заводненных пластах;</li> <li>– морские осложненные месторождения;</li> <li>– сланцевая нефть;</li> <li>– битумы;</li> <li>– другие (глубины, толщины, насыщенность, свойства нефти и др.).</li> </ul>

**Таблица 1.**  
Классификация трудноизвлекаемых запасов нефти

этих запасов. Так, проницаемость пластов 30 мкм<sup>2</sup> сейчас, мягко говоря, никого не беспокоит, да и проницаемость 5 мкм<sup>2</sup> представляется обычной (*табл. 1*).

Сейчас речь идет уже об эффективной разработке пластов с проницаемостью 1 мкм<sup>2</sup> и менее, при этом дополнительно осложненных высокой неоднородностью (доманиковская, хадумская свиты и др.). Разработку также осложняет не только повышенная вязкость нефти, но и наличие принципиально новых форм углеводородов (например, кероген в баженовской свите).

В последние годы к ТрИЗ закономерно стали относить и осложненные карбонатные трещиновато-пористые пласты (например с гидрофобизированной пористой средой). Запасы нефти в подобных условиях постоянно увеличиваются, что делает все более актуальной проблему создания более эффективных технологий их разработки.

Напомним, что в карбонатных пластах находится, по разным оценкам, 40–60% запасов УВ в мире, разработка которых обеспечивает до 40% добычи. Вместе с тем, достигаемая нефтеотдача в карбонатных пластах не превышает обычно 18–35%, что значительно ниже, чем в терригенных.

В свою очередь, можно заметить, что изменение структуры разрабатываемых запасов в определенной степени взаимосвязано с развитием технологий воздействия на пласты, технологий нефтеизвлечения, т.к. освоение ТрИЗ потребовало использования новых технологических решений.

Опосредованно это достаточно очевидно показывают зависимости изменения во вре-

мени доли ТрИЗ и величины средней проектной нефтеотдачи, которая, в свою очередь, является функцией эффективности используемых в проектных документах технологий (*рис. 1*).

При этом взаимная конфигурация этих зависимостей свидетельствует, на наш взгляд, об опережающей роли динамики количества ТрИЗ и существенном отставании темпов соответствующего совершенствования технологий.

Гораздо реже возникала ситуация, при которой новые неожиданные технологические решения позволяли недропользователям обратить внимание на возможность эффективного ввода в разработку новых, ранее считавшихся нерентабельными запасов нефти.

Действительно, вот уже несколько десятилетий в нефтяной промышленности, по существу, наиболее активно используется достаточно ограниченный перечень базовых технологий воздействия на пласты, которые, правда, постоянно в той или иной степени совершенствуются. Особенно значимые результаты получаются в последнее время благодаря удачным их сочетаниям.

Бурение скважин:

- горизонтальные скважины;
- боковые стволы;
- многозабойные скважины.

Процесс заводнения пластов:

- различные системы размещения скважин;
- циклическое заводнение;
- барьерное заводнение.

Третичные методы увеличения нефтеотдачи:

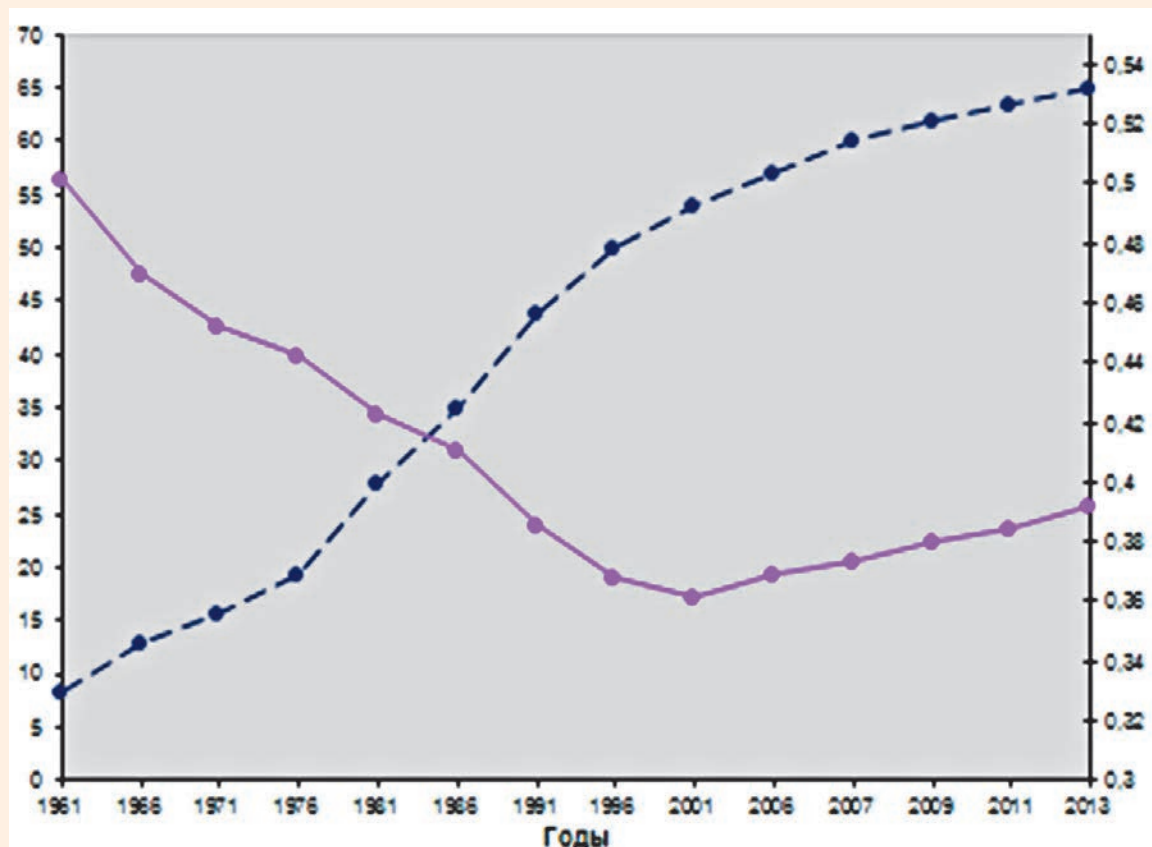


Рис. 1. Динамика доли ТРИЗ и средней проектной нефтеотдачи на месторождениях страны (синий график, шкала слева – доля начальных ТРИЗ, %; красный график, шкала справа – коэффициент нефтеотдачи)

- тепловые;
  - газовые;
  - химические;
  - микробиологические.
- Обработки призабойных зон скважин:
- водоизоляция в добывающих скважинах;
  - регулирование потоков в нагнетательных скважинах;
  - повышение продуктивности и приемистости скважин;
  - ГРП.

Конечно, каждая из этих базовых технологий постоянно совершенствуется, их эффективность повышается, в том числе на основе общего научно-технического прогресса. Особенно следует отметить использование геолого-гидродинамического моделирования процессов разработки, возможность получения более объемной и точной информации о пластах (сейсмика, ГИС, ГДИ, методы исследования кернов и др.), новые технологические решения в бурении скважин и их эксплуатации и т.д. Все это и определяло возможности эффективного ввода в эксплуатацию ТРИЗ.

В качестве примера отметим значительное совершенствование в последние годы ГРП, что было связано с быстро растущей долей запасов в низкопроницаемых и ультранизкопроницаемых пластах. За несколько лет обычный процесс неуправляемого разрыва призабойной зоны пласта превратился в новые технологические решения для различных геологических условий: локальный гидроразрыв, ГРП с использованием специальных реагентов для обработки пористой среды, массивный ГРП, соляно-кислотный ГРП, пенный ГРП, термогазокислотный, азотно-пенный, многозональный и т.д. Всего сейчас известно до 50 технологий ГРП, зарегистрировано около 4000 патентов на различные изобретения в области проведения ГРП.

По имеющимся в печати данным (к сожалению, весьма неполным), сейчас в России ежегодно проводится 9000 ГРП на эксплуатационных и нагнетательных скважинах, что в основном связано с активным вводом в эксплуатацию скважин, разрабатывающих низкопроницаемые пласты.

Интересной представляется технология ОАО «ВНИИнефть», предусматривающая

проведения ГРП в низкопроницаемых пластах во всех добывающих и нагнетательных скважинах, при этом рядность скважин выдерживается по линии наименьшего сопротивления породы для разрыва в целях образования «псевдогалерей» со стороны нагнетательного и добывающего рядов скважин и образования соответственно более равномерного фронта вытеснения. Переход к реализации ГРП в системе скважин на основе новых технологий позволяет по-новому рассматривать данный метод воздействия. По существу, в этом случае можно говорить о методе разработки низкопроницаемых пластов [1, 2].

Пожалуй, наиболее революционно в последние годы выглядит и технология сочетания ГРП и горизонтальных скважин – многозональный ГРП. Объемы применения этой технологии при разработке низкопроницаемых пластов постоянно возрастают. Вместе с тем необходимо отметить, что наибольшую эффективность ГРП обеспечивает в низкопроницаемых пластах. Более того, в обычных геолого-физических условиях использование этого метода воздействия может привести к опережающему обводнению пластов и отрицательным результатам.

Тенденции в развитии и применении новых технологий нефтеизвлечения могут зависеть не только от изменения структуры запасов, но и, на наш взгляд, от степени обеспеченности нефтедобывающих отраслей потенциальными ресурсами для увеличения или даже поддержания добычи нефти и соответствующих решений государственных органов.

Так, по наиболее представительным данным, количество остаточных доказанных запасов в мире оценивали на середину 1970-х гг. в 80 млрд т, в 1985 г. – более 100 млрд т, в 2005 г. – 170 млрд т, в 2014 г. – 230 млрд т.

Таким образом, с середины 1970-х гг. оценки количества остаточных доказанных запасов в мире постоянно увеличивались.

Наиболее тревожным с точки зрения потенциала разрабатываемых запасов нефти в мире был, вероятно, период 1970-х – начала 1980-х гг. И именно в это время в мире началось активное обсуждение возможности дополнительного прироста запасов за счет масштабного применения третичных методов увеличения нефтеотдачи – методов, направленных на дополнительное увеличение нефтеотдачи и объемов добычи не только на новых, но и на разрабатываемых или даже разработанных месторождениях.

Не секрет, что появившиеся тогда многочисленные зарубежные публикации по про-

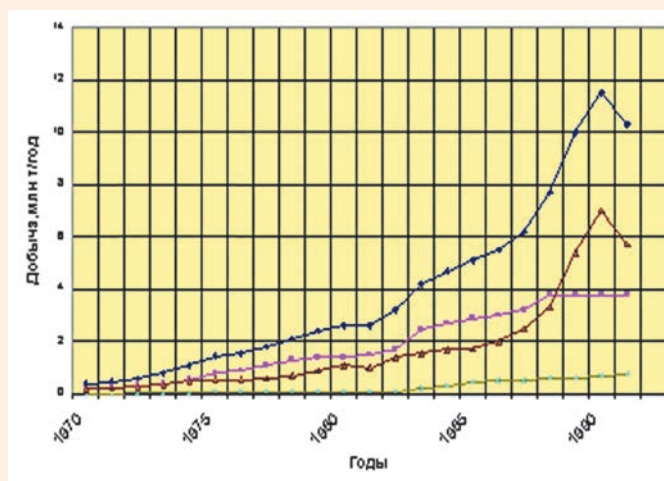


Рис. 2.

Добыча нефти за счет применения методов увеличения нефтеотдачи в СССР (сверху вниз – всего; тепловые; химические; газовые)

блемам увеличения нефтеотдачи пластов также способствовали ускоренному развитию этих работ в нашей стране. Тем более, что именно в это время начались достаточно активные дискуссии о возможностях и проблемах развития нефтедобычи в Западной Сибири, и в частности на Самотлорском месторождении, при этом далеко не все прогнозы были оптимистичными.

К этому периоду относится и некоторая переоценка возможных достигаемых коэффициентов нефтеотдачи за счет обычного заводнения, особенно в осложненных геологических условиях.

Важный этап развития проблемы применения методов увеличения нефтеотдачи пластов в нашей стране во многом определен принятием в 1976 г. правительством бывшего СССР специальным постановлением «О мерах по наиболее полному извлечению нефти из недр». Постановление определяло объем дополнительной добычи нефти за счет применения третичных (тепловых, газовых и химических) методов увеличения нефтеотдачи, а также объем выпуска в стране необходимых для этого материально-технических средств (специальной техники и химреагентов). Было также предусмотрено экономическое стимулирование осуществления опытно-промышленных работ нефтедобывающими предприятиями.

Большое значение имела активная координация научно-исследовательских работ среди отраслевых и академических институтов страны на основе отраслевых и научно-технических программ. В этих программах предусматривалось участие десятков произ-

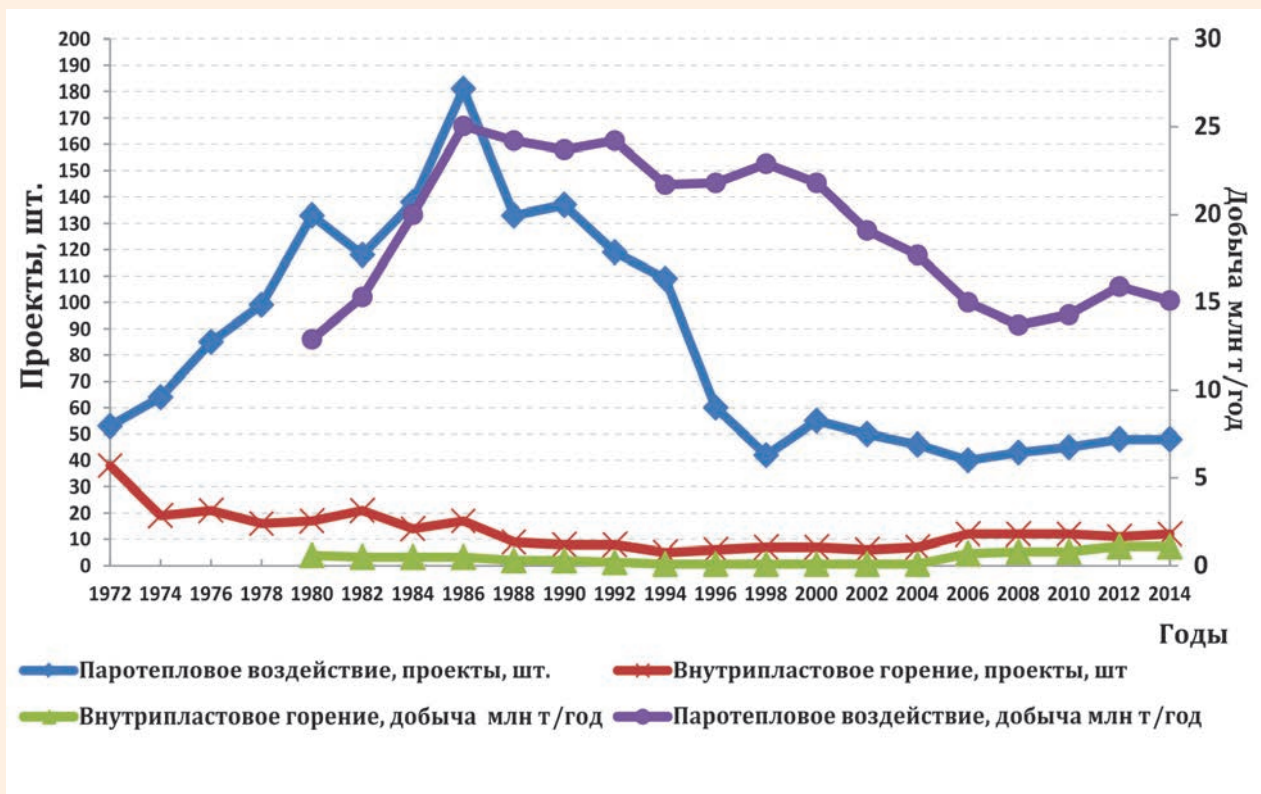


Рис. 3.

Применение методов паротеплового воздействия и внутрипластового горения на месторождениях США

водственных и научно-исследовательских организаций, для решения фундаментальных проблем нефтеизвлечения были привлечены институты АН СССР.

Наша страна была не единственной в мире, где проблема увеличения нефтеотдачи пластов была поставлена на государственном уровне. В связи с этим напомним, например, доклад Управления технологических оценок Конгресса США «Перспективы увеличения добычи нефти и извлекаемых запасов за счет применения методов повышения нефтеотдачи в США», подготовленный в начале 1978 г. под председательством Э. Кеннеди.

Одновременно Департаментом энергетики США была предложена соответствующая федеральная программа. Подобные программы позднее были созданы в Канаде и Норвегии.

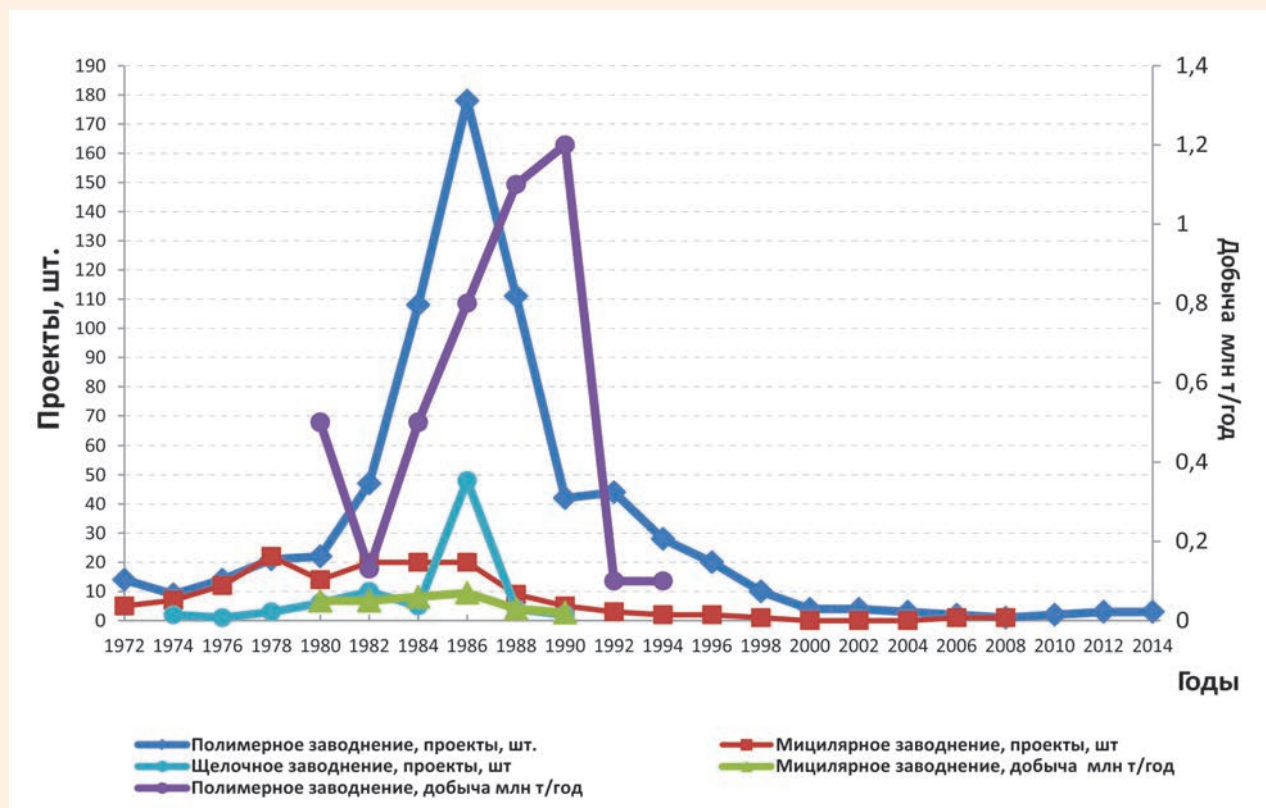
Хотя не все намеченные государственными программами показатели по применению методов увеличения нефтеотдачи в России в этот период были выполнены, нельзя отрицать очевидного прогресса как в научном обеспечении данной проблемы, так и в объемах промышленного применения новых технологий. Так, за 10 последующих лет дополнительная добыча за счет третичных методов возросла в 3 раза и достигла в 1985 г. 5 млн т, а в 1991 г. – 11 млн т (рис. 2).

В начале 1990-х гг. нефтяная промышленность в России начала переходить на новую систему хозяйствования с новыми приоритетами и стимулами. Реализация программ была остановлена, и в течение последующих 1–2 лет работы на месторождениях по применению таких методов были практически прекращены. Сейчас добыча за счет применения третичных методов в стране не превышает 1,5 млн т/год.

Динамика развития работ по применению третичных методов увеличения нефтеотдачи в СССР в 1980-е и 1990-е гг. определялась во многом директивными указаниями правительства.

Интересным также представляется рассмотреть изменение во времени объемов применения этих методов в США, где принятие программы их применения даже в 1970–1980 гг. в меньшей степени регулировалось правительством, а в последнее время во многом определяется стратегией самих нефтедобывающих компаний.

На рис. 3–5 приведена динамика количества проектов применения методов увеличения нефтеотдачи и объемов дополнительной добычи нефти на месторождениях США по данным журнала *Oil and Gas Journal* за 1971–2014 гг.



**Рис. 4.**  
Применение технологий физико-химических методов на месторождениях США

Можно видеть (*рис. 3*) достаточно активное развитие метода паротеплового воздействия на пласты с высоковязкими нефтями в 1970-е и 1980-е гг., затем число проектов уменьшалось при постоянном уровне общей дополнительной добычи. На наш взгляд, это было связано с переходом на промышленное применение метода на крупных объемах. В последние годы показатели применения этого метода практически стабилизировались с объемом годовой добычи нефти около 15 млн т.

Интерес к применению физико-химических методов увеличения нефтеотдачи в США за анализируемый период значительно менялся (*рис. 4*). Так, с конца 1970-х гг. число проектов по полимерному заводнению резко увеличивалось до 180 проектов с дополнительной добычей до 1,3 млн т/год, однако с середины 1980-х гг. интерес к этому методу стал падать. Причиной этого, вероятно, стали новые результаты исследования величины адсорбции полимеров в пористой среде и более низкие оценки эффективности метода. Тем не менее, сейчас метод активно применяется на месторождениях Китая, Казахстана и в некоторых других странах. В последние годы широко обсуждается и испыты-

вается комплексный метод нефтевытеснения (ПАВ + щелочь + полимер), используются новые реагенты для загущения воды.

Методы закачки в пласты углеводородного газа и  $\text{CO}_2$  в анализируемый период имели, как правило, тренд к увеличению числа проектов и объемов добычи нефти (*рис. 5*). Особенно это касается метода закачки в пласт  $\text{CO}_2$ . Однако необходимо отметить, что динамика развития метода во многом связана с ужесточением законов США по контролю за выбросами  $\text{CO}_2$  в атмосферу промышленными предприятиями. Таким образом, решение экологических проблем оказалось косвенно связано с развитием одного из наиболее эффективных методов увеличения нефтеотдачи.

Подобная картина касательно другого метода увеличения нефтеотдачи сейчас наблюдается в России. В начале 1990-х гг. осуществлялось до 10 опытных и промышленных работ по закачке углеводородного газа в пласты для увеличения нефтеотдачи, большинство из которых затем были прекращены по указанной выше причине. Однако начатое несколько лет назад ужесточение контроля и увеличение денежных штрафов за сжигание попутного газа привело к тому, что нефтяные компании стали снова проявлять интерес к проектам

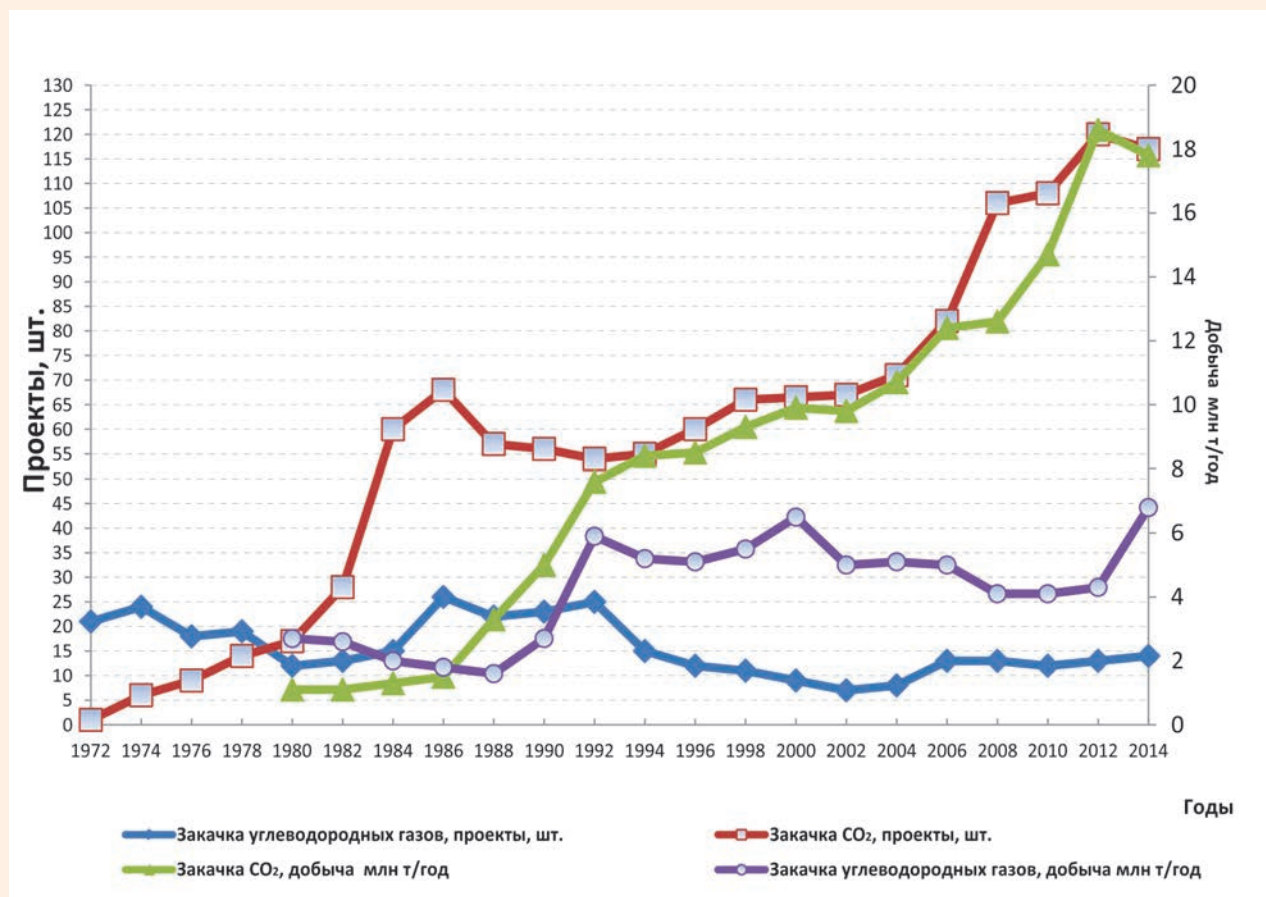


Рис. 5.  
Закачка углеводородных газов и CO<sub>2</sub> на месторождениях США

по закачке нефтяного газа в пласты. За последние 5 лет начата реализация 5 проектов применения этого метода, и 6 новых опытных работ предусмотрены в проектных документах, рассмотренных в 2014–2015 гг.

На масштабы применения третичных МУН в США оказывают влияние и мировые цены на нефть (рис. 6), хотя зависимость здесь более сложная, чем, например, с объемами бурения новых скважин.

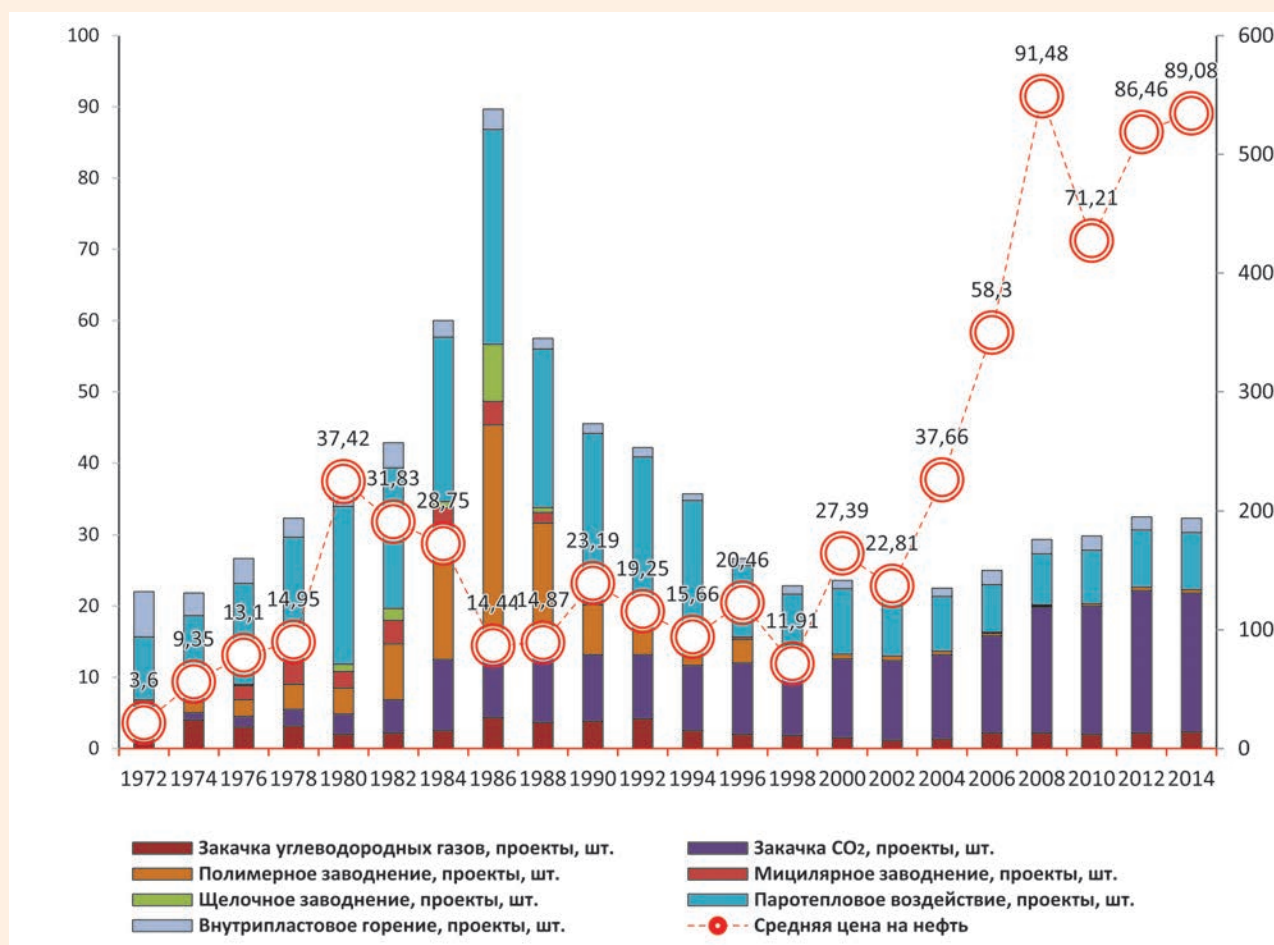
На результаты прогнозирования объемов применения новых технологий нефтеизвлечения определенное влияние может оказать фактор обеспеченности запасами непосредственно нефтяных компаний.

В связи с этим отметим, что основные нефтедобывающие компании России сравнительно лучше многих зарубежных обеспечены разрабатываемыми и перспективными запасами нефти [3]. То есть имеется возможность развития нефтедобычи на основе ввода новых запасов нефти и расширения объемов бурения на разрабатываемых месторождениях. Тем более, что, по данным ЦКР, фактический

ввод новых скважин в последние годы существенно (почти в 2 раза) отстает от предусмотренного проектными документами [4]. При этом нужно отметить, что необоснованно разреженные сетки скважин могут в дальнейшем ограничивать возможности эффективного применения новых технологий нефтеизвлечения, например химических и газовых.

В этих условиях трудно предположить существенное увеличение в ближайшие годы объема применения более эффективных, но и более дорогих технологий на месторождениях страны, в том числе для дополнительного повышения нефтеотдачи (например третичных методов) по инициативе крупных нефтяных компаний без соответствующих государственных стимулирующих и законодательных решений.

Исключением по-прежнему могут являться месторождения Поволжья, где ощутимый прирост новых запасов проблематичен, а ввод новых месторождений и площадей в других регионах страны для нефтедобывающих предприятий ограничен. В первую очередь это касается месторождений, находящихся на 4 стадии разработки, где даже поддержание добычи требует использования новых технологий воздействия. Действенной



**Рис. 6.** Число проектов по третичным методам на месторождениях США и динамика цен на нефть

альтернативой в будущем в этом регионе также является освоение добычи сверхвязких нефтей и битумов на основе принципиально новых и более дорогих технологий и техники добычи.

Рассматривая более удаленную перспективу развития технологий нефтеизвлечения в стране, следует отметить неизбежность перехода к принципиально новым технологиям, основанным на третичных методах увеличения нефтеотдачи. К необходимым для этого условиям достаточно плотно подходят уже месторождения Западной Сибири и отчасти севера Европейской части страны. При этом нужно отметить, что чем раньше недоропользователи перейдут к этому этапу, тем эффективность такого перехода будет выше, а мероприятия – менее затратными. Известны зависимости эффективности применения этих методов от стадии разработки – эффективность существенно (на 20–30%) снижается на более поздней стадии разработки.

Как показывает отечественный опыт и опыт других нефтедобывающих стран (и как

это показано выше), важную роль в развитии объемов применения методов увеличения нефтеотдачи играет государственная политика по контролю за эффективностью использования запасов нефти и созданием организационно-экономических условий внедрения новых технологий нефтеизвлечения.

При этом необходимо отметить особую роль развития научного потенциала страны, связанного непосредственно с нефтедобывающей отраслью как на уровне нефтяных компаний, так и на уровне институтов АН России и университетов [5].

К сожалению, по инновационной активности российский нефтегазовый сектор в мировом объеме пока мало заметен. По данным журнала «Эксперт», число зарегистрированных патентов в зарубежных нефтяных компаниях в десятки раз больше, чем в отечественных компаниях (рис. 7).

Вместе с тем в последние годы выделилось несколько основных перспективных направлений создания принципиально новых технологий воздействия на пласты, которые



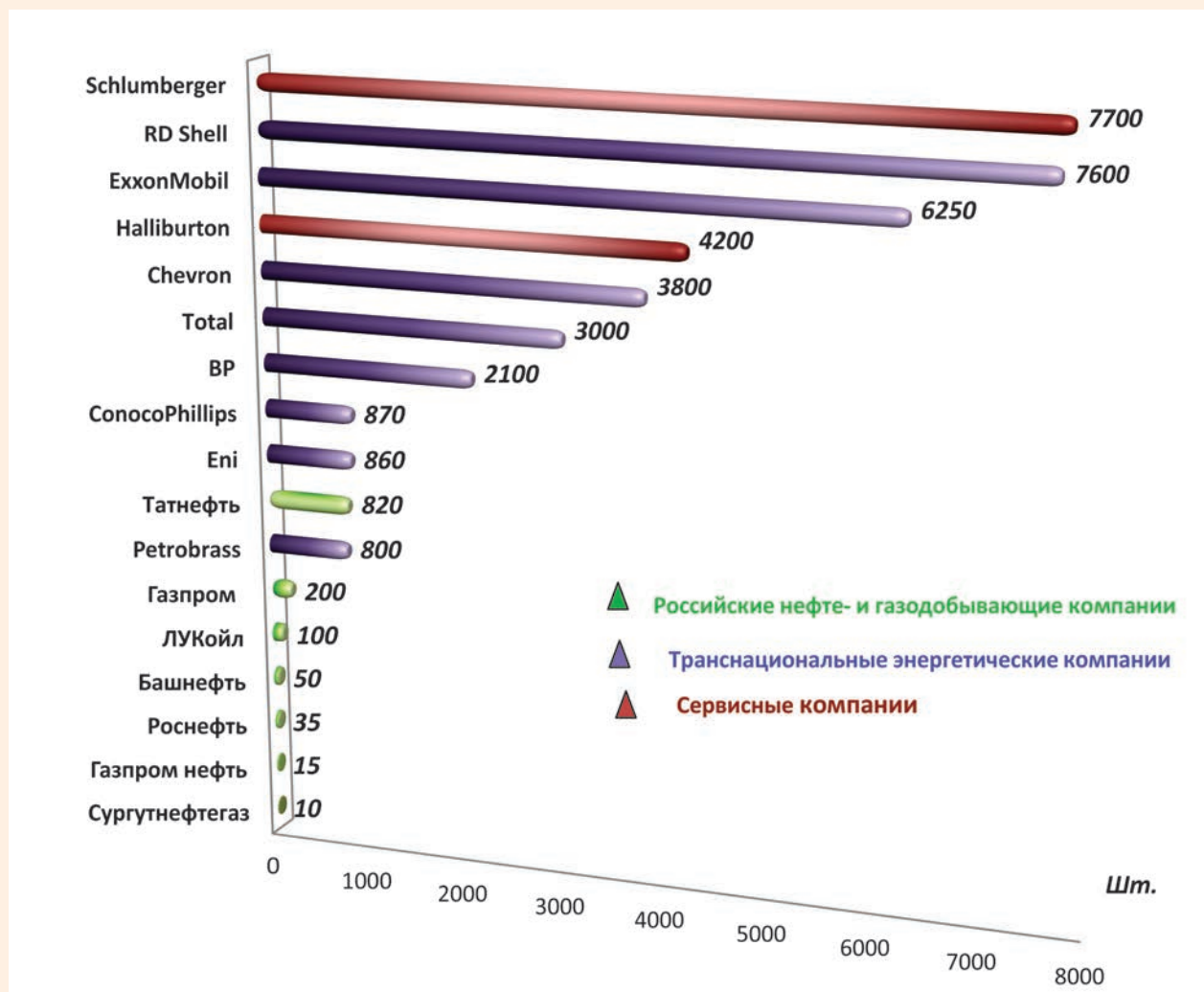


Рис. 7. Число зарегистрированных патентов (Эксперт, 2011, № 12)

смогут значительно повлиять на эффективность нефтевытеснения, среди них:

- оторочки ПАВ + щелочь + полимер;
- оторочки воды с регулируемой соленостью;
- внутрипластовое изменение свойств (качества) нефти;
- закачка мелкодисперсных водогазовых смесей;
- реагенты, повышающие охват заводнением в межскважинном пространстве (нанореагенты *brightwater*);
- тепловое воздействие со скважинами сложной конфигурации;
- комбинированные технологии третичных МУН;
- микробиологическое воздействие и др.

Эти технологии являются гораздо более сложными по сравнению с заводнением и требуют тщательного научного обоснования применительно к конкретным условиям и по-

следующего научного сопровождения при их применении с использованием новых и принципиально новых средств контроля и регулирования. В свою очередь, это возможно только в случае возрождения системы научного обеспечения рассматриваемой проблемы на базе комплекса отраслевых и учебных институтов с привлечением институтов АН России.


Необходимо отметить особую роль малых нефтедобывающих компаний в применении новых технологий повышения нефтеотдачи. В 1970–1980 гг. российские специалисты-нефтяники показывали на примере отечественной промышленности большую эффективность разработки нефтяных запасов в условиях государственной собственности на недра и наличия практически одного недропользователя в отличие от условий, например, в США.

Вероятно, это правильно, когда необходимы были высокие темпы освоения новых (иногда тоже сложных) запасов. Но так ли это с позиции эффективности разработки и повышения нефтеотдачи?

Можно заметить, что в мире наибольшую активность во внедрении новых технологий нефтеизвлечения проявляют небольшие нефтедобывающие компании, иногда на достаточно ограниченной части разрабатываемого месторождения. Между тем, обращает на себя внимание тот факт, что в США зарегистрировано около 10 000 нефтедобывающих компаний, крупные добывают около 40% всей нефти; в России – около 200 нефтяных добывающих компаний, 10 крупных добывают более 85% нефти.

Вполне возможно, и баланс (соотношение) числа крупных и малых нефтедобывающих компаний наряду с другими отмеченными выше факторами может повлиять на повышение эффективности нефтеизвлечения на месторождениях страны. Особенное значение этот фактор может иметь при разработке

трудноизвлекаемых запасов и доработке заводненных месторождений.

Конечно, перечень рассмотренных выше факторов, оказывающих прямое и косвенное влияние на развитие технологий нефтеизвлечения, неполон. Достаточно вспомнить такие факторы, как цена на нефть и возможные объемы ее потребления, общее развитие науки, техники и технологий и возможность создания принципиально новых направлений методов нефтеизвлечения, появление альтернатив нефтедобыче в виде нетрадиционных источников углеводородного сырья и др. В данном случае авторы стремились подчеркнуть необходимость комплексного рассмотрения возможного влияния различных факторов и проблем при выработке мер по активному влиянию на повышение эффективности технологий нефтеизвлечения и увеличению объемов их практического применения. 

#### Литература

1. Патент РФ № 1807209, 1991.
2. Денисов С.Б., Жданов С.А., Евдокимов И.В., Тимченко Е.Р., Токарева Е.С. Формирование трещин или разрывов. Патент РФ № 2432459, 2010.
3. Донской С. О состоянии и перспективах развития минерально-сырьевой базы РФ // Нефтегазовая вертикаль. 2014. № 16. С. 16–23.
4. Шпуров И.В. Новая классификация запасов углеводородов: средство регулирования инновационного процесса в ТЭК // Нефтегазовая вертикаль. 2014. № 16. С. 46–55.
5. Крянев Д.Ю., Жданов С.А. Научное обеспечение новых технологий разработки нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами // Бурение и нефть. 2012. № 8. С. 29–32.

UDC 662.276

A.V. Fomkin, PhD, CEO VNIINEFT<sup>1</sup>, office@vniineft.ru.  
S.A. Zhdanov, Doctor of engineering science, advisor CEO VNIINEFT<sup>1</sup>, office@vniineft.ru.

1. Joint stock company All-Russian scientific research oil & gas institute (VNIINEFT). 10, Dmitrovsky proezd, Moscow, 127422, Russia.

## Analysis of the conditions for the implementation of enhanced oil recovery methods in Russia and abroad

**Abstract.** On the basis of domestic and foreign experience analyzed the factors that determine the need for, and may contribute to the active introduction of new technologies to improve the efficiency of oil field development and EOR

**Keywords:** hard-to-recover reserves; methods of enhanced oil recovery; the effectiveness of the impact; increase in recoverable oil reserves

#### References

1. Patent RF no. 1807209, 1991.
2. Denisov S.B., Zhdanov S.A., Evdokimov I.V., Timchenko E.R., Tokareva E.S. *Formirovanie treshchin ili razryvov* [Formation of fractures]. Patent RF no. 2432459, 2010.
3. Donskoi S. O sostoianii i perspektivakh razvitiia mineral'no-syr'evoi bazy RF [On the state and prospects of development of mineral resource base of the Russian Federation]. *Neftegazovaia vertikal'*, 2014, no. 16, pp. 16–23.
4. Shpurov I.V. Novaia klassifikatsiia zapasov uglevodorodov: sredstvo regulirovaniia innovatsionnogo protsessa v TEK [The new classification of hydrocarbon reserves: a means of regulating the innovation process in the energy sector]. *Neftegazovaia vertikal'*, 2014, no. 16, pp. 46–55.
5. Krianev D.Iu., Zhdanov S.A. Nauchnoe obespechenie novykh tekhnologii razrabotki neftiannykh mestorozhdenii s trudnoizvlekaemyimi zapasami [Scientific support of new technologies for the development of oil fields with hard to recover reserves]. *Burenie i nef't*, 2012, no. 8, pp. 29–32.