

**Ф.З. Хафизов**

д-р геол.-мин. наук
НАЦ РН им. В.И. Шпилемана
главный научный консультант
ЗСФ ФБУ ГКЗ
директор
Khafizov@crru.ru

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ

В статье рассматриваются проблемы ухудшения структуры запасов нефти вновь открываемых залежей и разрабатываемых месторождений из-за выборочного отбора нефти. Главным критерием для выделения трудноизвлекаемых запасов применительно к месторождениям ХМАО – Югры признается проницаемость нефтесодержащих пород. Предложен минимальный перечень объектов с трудноизвлекаемыми запасами

In the article the problems of deterioration of the structure of oil newly opened deposits and developed deposits due to selective extraction of oil. The main criterion for selection of hard-to-recover reserves in relation to the fields of KHMАО – Yugra recognizes the permeability of oily rocks. A minimum list of objects with hard to recover reserves

Ключевые слова: сырьевая база нефтедобычи, нефтесодержащие породы, трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ), проницаемость коллекторов, темп отбора, обводненность, динамика структуры запасов нефти, выборочный отбор
Keywords: raw materials base of oil production, oil-containing rocks, hard-to-recover reserves (TRIZ), permeability, recovery rate, watercut, dynamics of the structure of oil reserves, random sampling

Освоение ТриЗ – проблема не сегодняшнего дня: нефтедобытчики, как практические люди, всегда в первую очередь добывали нефть из наиболее продуктивных и легкоосваиваемых запасов. Естественно, низкопродуктивные запасы при этом существенно отставали в освоении, постепенно изменяя структуру запасов в сторону уменьшения доли высокопродуктивных, наиболее экономически выгодных запасов и возрастания доли ТриЗ. Этот процесс имел место и в советской истории страны, однако в то время резкого ухудшения структуры запасов не происходило в связи с тем, что за счет большого объема ГРП приращивались новые запасы в объемах, многократно превышающих ежегодную добычу. В постсоветский период процесс разубоживания запасов приобрел огромные масштабы. Так, в 1993–2005 гг. в РФ было добыто 4,6 млрд т нефти, а приращено 3,4 млрд т, т.е. более чем на 1 млрд т меньше. За этот же период в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре добыча нефти составила 2,6 млрд т при существенно меньшем объеме прироста новых запасов (имело место масштабное списание запасов по старым месторождениям и значительная часть прироста шла на компенсацию этого списания). Вполне естественно, добыча производилась из лучших на то время запасов, что привело к ускоренному их разубоживанию. За те же 13 лет доперестроечного периода (1973–1985) по территории ХМАО было приращено 9,2 млрд т, добыто 3,2 млрд т, т.е. почти втрое меньше.

Процесс ухудшения структуры запасов нефти складывается из двух частей: выборочного отбора нефти из ранее открытых залежей и существенно худших геолого-экономических показателей вновь открываемых залежей по сравнению с ранее выявленными.

На *рис. 1* приведена динамика структуры запасов ХМАО – Югры, приуроченных к коллекторам с разной проницаемостью по годам выявления залежей. Для упрощения и улучшения наглядности картины изменения структуры запасов, залежи разделены всего на две группы: с запасами в коллекторах с проницаемостью более $100 \cdot 10^{-3}$ мкм² и, соответственно, менее $100 \cdot 10^{-3}$ мкм². На *рис. 1* убедительно продемонстрирована четко выраженная закономерность: доля запасов в высокопроницаемых коллекторах, неуклонно, за редким исключением, снижается с 79,3% по залежам, выявленным в 1961–1965 гг. до 5,7% по залежам 2000–2005 гг. Соответственно, доля запасов в низкопроницаемых коллекторах возрастает с 20,7% по залежам 1961–1965 гг. до 94,3% по залежам, выявленным в 2000–2005 гг.

Такая ситуация вполне логична и объяснима. Дело в том, что в начале геологоразведочных работ в Западной Сибири основное внимание уделялось изучению и подготовке к освоению крупных, высокопродуктивных залежей, а разведка и доразведка мелких и низкопродуктивных объектов откладывались на более поздний период. Ярким примером, иллюстрирующим эту ситуацию, является история изучения залежей в викуловской свите Красноленинского района. Впервые на Государственном балансе сведения о запасах нефти в викуловской свите Красноленинского месторождения появились в 1972 г. После нескольких лет поисково-разведочных работ выяснилось, что нефтесодержащие породы этого комплекса характеризуются низкими фильтрационно-емкостными параметрами и низкой нефтенасыщенностью и, соответственно, невысокими геолого-экономическими показателями освоения. В связи с этим в 1977–1984 гг. по этому объекту поисково-разведочные работы были практически свернуты и возобновлены только в 1985 г., с появлением серьезных проблем по выполнению Государственного плана Главтюменьгеологии по приросту запасов нефти. За последующие 5 лет поисково-разведочных работ запасы нефти, приуроченные к залежам в викуловской свите, возросли в 4 раза и достигли 400 млн т извлекаемых. Нужно также отметить, что в конце 1970-х и в 1980-е гг. в Главтюменьгеологии было принято правило – залежи с запасами менее 1 млн т не разведывать вообще. Такие залежи изучались значительно позднее, ухудшая общие показатели залежей, выявленных в 1990-е и последующие годы.

Анализ структуры запасов нефти ХМАО – Югры свидетельствует о том, что ухудшение качества запасов имеет место не только по вновь открываемым залежам, но и по ранее выявленным залежам во времени.

На *рис. 2* приведены сведения об изменении структуры извлекаемых запасов нефти залежей, выявленных в 1961–1965 гг. На диаграмме видно, что в структуре запасов как на дату открытия, так и за весь период разведки и разработки преобладали залежи, приуроченные к коллекторам с проницаемостью $100\text{--}500 \cdot 10^{-3}$ мкм²: на дату открытия залежей их доля составляла 80–85%, в дальнейшем в процессе разработки она неуклонно снижалась за счет более интенсивного отбора по сравнению с запасами других классов по проницаемости и в начале 2000-х гг. составила 48–56%. Доля запасов низкопроницаемых коллекторов, наоборот, за этот же период (1961–2005 гг.) существенно возросла в связи низкими темпами отбора запасов этого

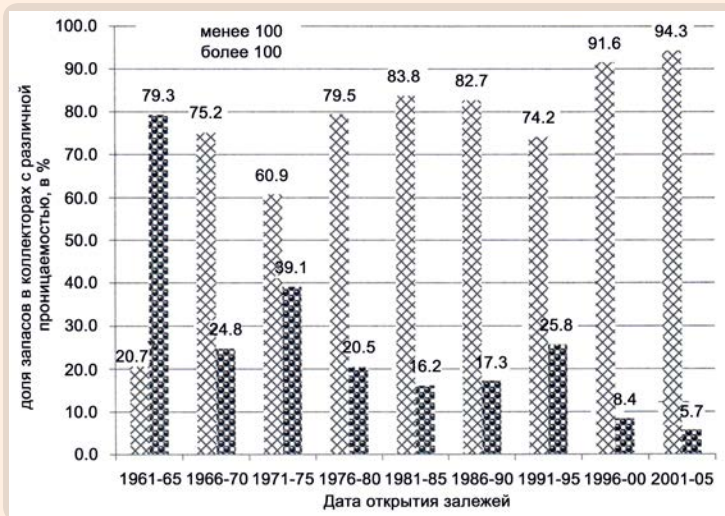


Рис. 1
Динамика доли запасов, приуроченных к коллекторам с различной проницаемостью по залежам с разной датой открытия.

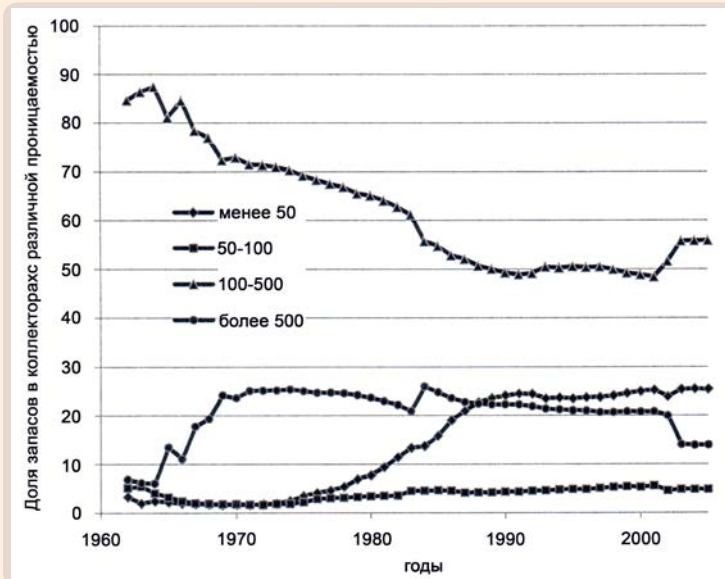


Рис. 2
Динамика структуры запасов по проницаемости по залежам, выявленным в 1961–1965 гг.

класса: с 2–3% в конце 1960-х – начале 1970-х гг. до 20–25% в девяностые и нулевые годы.

Таким образом, разубоживание запасов как за счет ухудшения их качества в новых залежах по мере повышения изученности нефтегазовых территорий, так и за счет выборочной отработки лучших запасов «старых» залежей можно считать установленным фактом. В дальнейшем эта тенденция, безусловно, будет продолжаться, что со всей остротой ставит вопрос о необходимости разработки методов освоения запасов с худшими геолого-экономическими показателями. При этом весьма важно прогнозировать те проблемы, с которыми будут сталкиваться нефтедобывающие компании.

Прогноз таких показателей, как темп отбора запасов, содержащихся в ухудшенных коллекторах, скорость обводнения продукции низкодебитных скважин, безусловно, будет необходим для обоснованных расчетов основных геолого-экономических показателей разработки ТриЗ.

Впервые понятие «трудноизвлекаемые запасы» в специальной литературе в СССР появилось в конце 1970-х – начале 1980-х гг. Однако вопрос освоения таких запасов в те годы стоял не так остро, как сейчас, в связи с тем, что прирост новых запасов, в том числе достаточно высокого качества, кратно превышал добычу. Соответственно, разубоживание запасов происходило не так стремительно, как за последние 20 лет, когда подавляющая часть добычи нефти осуществлялась за счет выборочной отработки запасов, подготовленных в советский период. Восполнение сырьевой базы было неполным, причем прирост, в основном, состоял из пересчета запасов ранее открытых залежей, или за счет новых залежей с существенно худшими по качеству запасами (рис. 1). Дальнейшее игнорирование проблемы, в связи с существенным ухудшением технико-экономических показателей нефтедобычи, стало невозможным.

В настоящее время среди геологов и нефтяников наиболее распространены и приняты критерии отнесения запасов нефти к ТриЗ, разработанные Н.Н. Лисовским и Э.М. Халимовым [2]. Авторы предложили два варианта, различающиеся по количеству критериев для отнесения запасов нефти к ТриЗ. Вариант 1 предусматривает учет 17 показателей, характеризующих свойства нефтей, нефтесодержащих пород, геологические, технологические и экономические условия освоения залежей. Все эти показатели, безусловно, важны и необходимы при оценке геолого-экономических условий освоения залежей нефти, но такое большое количество признаков делает их практическое применение при отнесении запасов к категории ТриЗ нереальным. Поэтому авторы предложили вариант 2, который предусматривает учет всего 4 показателей: свойства нефтей (вязкость в пластовых условиях), характеристики нефтесодержащих пород (пористость и проницаемость коллекторов), технологических параметров (истощенность запасов) и географических условий освоения (порайонный коэффициент).

Все параметры, предусмотренные вариантом 1, как уже отмечалось, безусловно, очень важны и определяют условия разработки залежей и, в конечном счете – экономические показатели добычи. Однако каждый из этих

критериев при раздельном, самостоятельном их применении для классификации запасов недостаточно информативен и в зависимости от сочетания с другими критериями может дать совершенно неприемлемые результаты. К примеру, к ТриЗ рекомендуется относить запасы, приуроченные к коллекторам с проницаемостью ниже $0,03 \text{ мкм}^2$. Но известно, что практически все запасы Приобского месторождения содержатся в коллекторах проницаемостью $0,002-0,032 \text{ мкм}^2$, но в связи с большой толщиной продуктивных пластов, огромными запасами и высокой эффективностью методов увеличения продуктивности скважин, в том числе гидроразрыва, вряд ли можно относить к трудноизвлекаемым запасы одного из крупнейших месторождений Среднего Приобья. Добыча нефти по этому месторождению за 2012 г. составила около 38 млн т при хороших экономических показателях. Аналогично, по критериям Н.Н. Лисовского и Э.М. Халимова к ТриЗ относятся запасы подгазовых зон нефтегазовых залежей. Но на Самотлорском месторождении значительная часть запасов залежей в пластах АВ1-5 находится в подгазовой зоне, однако суммарная добыча из этих залежей с высокой экономической эффективностью уже превышает 1 млрд т.

В специальной литературе упоминается о комбинационном анализе запасов, предложенном научным советом РАН по проблемам разработки месторождений нефти и газа, позволяющем выделять ТриЗ не по отдельным критериям, а по их сочетанию. Одним из путей применения этого метода, на первый взгляд, могло бы стать предложение М.Н. Григорьева [1] использовать для выделения ТриЗ такой параметр как гидропроводность. Действительно, этот параметр рассчитывается с использованием величин проницаемости коллекторов, их толщины и вязкости нефтей в пластовых условиях, т.е. трех основных показателей, предложенных Н.Н. Лисовским и Э.М. Халимовым в качестве параметров, определяющих степень сложности освоения запасов. К сожалению, расчеты, выполненные автором настоящей статьи по залежам нефти ХМАО – Югры, не позволили доказать значимую зависимость между этим параметром и фактическими показателями разработки залежей, такими, как темп отбора запасов, обводненность продукции во времени и т.д.

Из 4 показателей, выбранных Н.Н. Лисовским и Э.М. Халимовым в качестве параметров для выделения ТриЗ (вариант 2) наиболее актуальным для запасов ХМАО – Югры является проницаемость коллекторов. Именно в низкопроницаемых коллекторах сосредоточена зна-

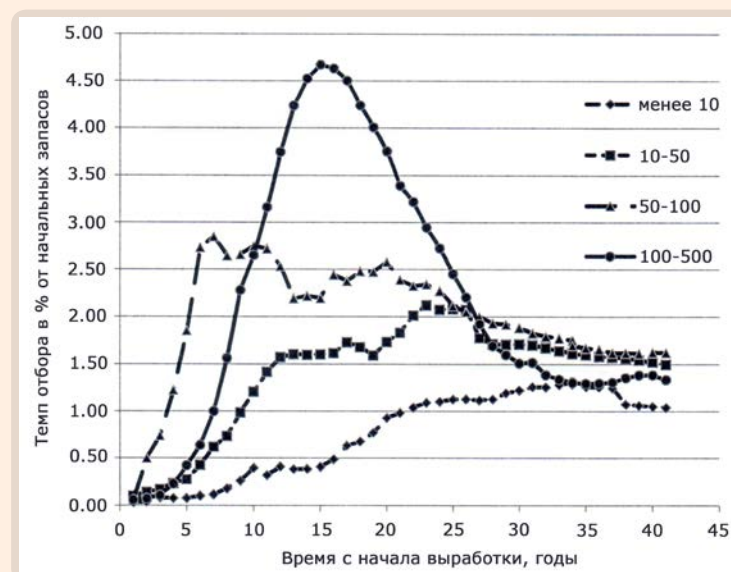
чительная часть запасов нефти округа: в коллекторах с проницаемостью менее $10 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ содержится 15,8% начальных геологических запасов нефти, текущих (за вычетом накопленной добычи) и того больше – 19,7%. Доля коллекторов с проницаемостью менее $30 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, принятой в качестве граничной величины проницаемости в работе [2], в структуре запасов нефти ХМАО составляет 28,4%, т.е. почти треть запасов округа по этому показателю может быть отнесена к ТриЗ.

Именно в низкопроницаемых коллекторах сосредоточена значительная часть запасов нефти округа

Что касается других показателей ТриЗ (вязкость нефтей, наличие контактных зон, газовый фактор, аномальные температуры и давления и др.), значимость их при выделении ТриЗ нефти по ХМАО существенно ниже. Например, доля высоковязких нефтей в структуре начальных геологических запасов ХМАО составляет всего 1,3%, а по извлекаемым – и вовсе менее 1%.

Поэтому в настоящей статье применительно к условиям ХМАО в качестве основного критерия для отнесения запасов к категории ТриЗ предлагается принять именно проницаемость коллекторов. На рис. 3 представлены сведения о темпе годового отбора запасов по группам залежей, приуроченных к коллекторам с различной проницаемостью в процентах от начальных запасов промышленных категорий. Прослеживается отчетливая зависимость

Рис. 3
Темп отбора запасов нефти по залежам, приуроченным к коллекторам с различной проницаемостью в зависимости от времени разработки



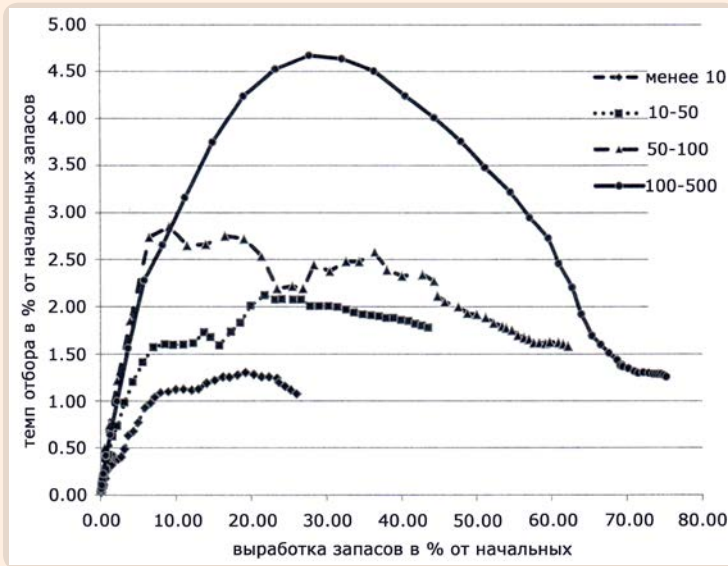


Рис. 4
Темп отбора запасов нефти по залежам, приуроченным к коллекторам с различной проницаемостью, в зависимости от степени выработки запасов

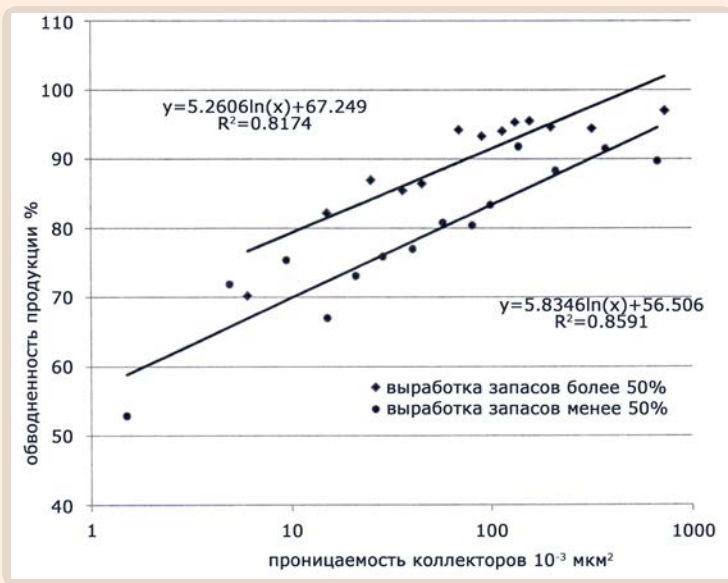


Рис. 5
Зависимость между проницаемостью коллекторов и обводненностью продукции

между характеристикой коллекторов и уровнем годового отбора запасов: по залежам, приуроченным к низкопроницаемым коллекторам ($K_{пр} < 10 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$), уровень максимального годового отбора запасов едва достигает 1,3–1,4% от начальных запасов, тогда как для коллекторов с проницаемостью $(10-50) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ этот показатель составляет 2,1–2,2%, соответственно, для проницаемости $(50-100) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ – 2,8–2,9%, а для залежей с высокопроницаемыми коллекторами $(100-500) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ – 4,7%. Причем, для слабопроницаемых коллекторов время достижения максимального уровня годового отбора существенно растянуто: в среднем только через 30–35

лет разработки по таким залежам достигается максимальный годовой темп отбора запасов. Аналогичный показатель для высокопроницаемых коллекторов составляет 15 лет.

Соответственно, и выработка запасов по залежам с ухудшенными коллекторами требует более длительного времени. Это хорошо видно на рис. 4, где аналогичные сведения о темпе отбора запасов приведены в формате «выработка – темп отбора». На одну и ту же дату запасы залежей с проницаемостью коллекторов менее $10 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ выработаны на 25%, по залежам с $K_{пр} = (10-50) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ – 43%, соответственно, с проницаемостью нефтесодержащих пород $(50-100) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ – 61%, а по высокопродуктивным залежам с $K_{пр} = (100-500) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ – 75%.

Каждая точка на представленном сопоставлении (рис. 5) характеризует средние значения параметров по 30–40 залежам, сгруппированным по величине проницаемости. В целом при составлении зависимостей, приведенных на рис. 5, участвовали данные по более чем 900 залежам ХМАО – Югры, по которым в базе данных имелись сведения как по проницаемости коллекторов, так и по обводненности продукции. Для исключения влияния на результаты анализа такого показателя как выработка запасов, весь массив данных разделен на две части: залежи, выработанные менее чем на 50% и более 50%. Как видно на рисунке, принципиальной разницы по зависимостям не наблюдается, по более выработанным залежам при сохранении общей тенденции, при прочих равных условиях, обводненность примерно на 10% выше.

Полученные данные по характеру закономерности обводнения продукции требуют дополнительных, более обстоятельных исследований. Предварительно такой характер зависимости обводнения от свойств коллекторов можно объяснить тем, что низкая проницаемость обычно свойственна для тонкослоистых пород, тогда как высокой проницаемостью обладают мощные монолитные толщи коллекторов. В тонкослоистых коллекторах наблюдается существенно более высокая анизотропия – разница между вертикальной и горизонтальной проницаемостью выше, следовательно, вертикальный прорыв вод из нижних водоносных частей залежей в таких породах затруднен.

Из двух показателей разработки один для ТриЗ – темп отбора – отрицателен, т.е. по таким запасам нельзя обеспечить быстрое увеличение добычи, и годовая добыча в объеме 1–2% от начальных запасов, видимо, оптимальна. Второй показатель – темп обводнения продукции – положителен, что позволяет разрабатывать такие запасы при более высоких депрессиях.

Состоянием сырьевой базы нефтедобычи и ухудшением структуры запасов обеспокоено руководство страны, чем объясняется принятие в последние годы законов, распоряжений Правительства РФ и других нормативных актов по стимулированию работ по освоению ТРИЗ [5, 6]. К сожалению, эти документы ориентированы на учет, если не всех, то, по крайней мере, большинства факторов, определяющих ТРИЗ, что, по мнению автора, недостижимо. Требования к недропользователям при разработке ТРИЗ должны быть просты и легко проверяемы. Представляется целесообразным на основе принятых документов федерального уровня разработать и принять для каждого региона свой перечень льготизируемых объектов. В частности, для ХМАО – Югры ими могут быть:

- залежи тюменской свиты за исключением пласта Т Шаимского района, приуроченные к низкопроницаемым коллекторам (НДПИ = 0);
- залежи, приуроченные к сложным, слабоизученным отложениям абалакской и баженовской свит (НДПИ = 0);
- залежи, приуроченные к отложениям ачимовской пачки, характеризующимся резкой латеральной и вертикальной неоднородностью (НДПИ = 0,5);
- залежи тяжелой высоковязкой нефти в отложениях покурской свиты (НДПИ = 0).

Естественно, при таком «грубом» выделении ТРИЗ возможны отдельные отклонения как в ту, так и другую сторону при предоставлении льгот. Однако при усложнении условий раздела практическое применение льгот становится невозможным, т.к. раздельный учет добычи по различным объектам потребует дополнительных материальных, трудовых затрат и времени на организацию учета и контроля, остается мно-

го возможностей для фальсификации отчетности. При реализации льгот по предложенному перечню объектов единственным показателем для контроля остается интервал перфорации. При этом предполагается, что совместная разработка одним фильтром объектов со льготой и без нее не допускается.

Безусловно, и в предложенном варианте нельзя исключить фальсификацию отчетности. Однако фактические интервалы перфорации поддаются объективной проверке.

Представляется целесообразным на основе принятых документов федерального уровня разработать и принять для каждого региона свой перечень льготизируемых объектов

Предложенный перечень объектов для предоставления льгот нефтяным компаниям ХМАО является предварительным и при детальной проработке вопроса может быть уточнен.

Основной причиной отнесения запасов к категории ТРИЗ по Западной Сибири (юрский и меловой нефтегазоносные комплексы являются низкие фильтрационно-емкостные параметры продуктивных отложений. Отсюда следует вывод: основные усилия по вовлечению ТРИЗ по Западной Сибири в эксплуатацию должны быть направлены на разработку и внедрение, наравне с уже имеющимися, новых технологий по повышению продуктивности ухудшенных коллекторов. Огромное количество таких запасов, безусловно, является основанием для широкомасштабных научных исследований и разработки технологий для обеспечения экономически рентабельной эксплуатации таких залежей. ❊

Литература

1. Григорьев М.Н. Региональная специфика трудноизвлекаемых запасов нефти России // Нефтегазовая вертикаль. 2011. № 5. С. 14–17.
2. Лисовский Н.Н., Халимов Э.М. О классификации трудноизвлекаемых запасов // Вестник ЦКР Роснедра. 2005. № 1. С. 17–19.
3. Полукеев С.М., Шпильман А.В., Кузьмин Ю.А., Коркунов В.В., Новиков М.В., Кузьменков С.Г. Стабилизация добычи нефти в Югре за счет трудноизвлекаемых запасов – миф или реальность // Недропользование XXI век. 2013. № 5. С. 12–19.
4. Прищепла О.М., Халимов Э.М. Трудноизвлекаемая нефть, потенциал, состояние и возможности освоения // Нефтегазовая вертикаль. 2011. № 5. С. 24–29.
5. Распоряжение Правительства РФ от 03.05.2012 № 700-р. «О классификации проектов разработки участков недр, содержащих запасы трудноизвлекаемой нефти, определенных на основе показателей проницаемости коллекторов и вязкости нефти».
6. Федеральный закон от 23.07.2013 № 213-ФЗ «О внесении изменений в главы 25 и 26 части второй Налогового кодекса Российской Федерации и статью 3.1 Закона РФ «О таможенном тарифе».