

DOI 10.24412/2949-4052-2023-3-11-19

УДК 553.9:338.45

О КЛАССИФИКАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯХ РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ ТРИЗ (НА ПРИМЕРЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАШКОРТОСТАНА)

© Лозин Евгений Валентинович, © Тарнаева Юлия Дмитриевна

ООО «РН-БашНИПИнефть»,
Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается проблема, связанная с закономерным возрастанием доли трудноизвлекаемых запасов нефти (ТРИЗ) в общем балансе их прироста по мере истощения активных запасов. Данная проблема не нова, но игнорирование общей негативной тенденции за счёт роста ТРИЗ вызывает необходимость разработки соответствующей политики оптимизации экономики нефтедобывающего производства, рентабельность которого испытывает тенденцию к снижению. В мировой практике для описанной ситуации применяются два основных направления: 1) приобретение новых активов в других регионах, в том числе и зарубежных и 2) разработка рациональной фискальной политики, позволяющей законодательно улучшать экономику или поддерживать её на достигнутом уровне. В классификации ТРИЗ для нефтяных месторождений Башкортостана выделяются два класса: терригенные и карбонатные коллектора, различающиеся структурой и материалом порового пространства, ФЕС и положением в геологическом разрезе. В классе терригенных коллекторов в основу выделения ТРИЗ принимается положение внешних кольцевых областей ВНЗ, контролируемых изопакитами ниже 3,0 м; зоны глинистых тонких коллекторов, примыкающих к алевролитовым телам, а также залежи, насыщенные нефтями повышенной и высокой вязкости. К ТРИЗ относятся более 95% карбонатных коллекторов, за исключением высокопористых (более 20%) и проницаемых (более 150 мкм²) коллекторов независимо от вязкости нефти. Авторами выполнено исследование структуры прироста запасов нефти за период 2009-2022 гг., которое подтверждает, что состояние остаточных запасов нефти на практически стабильном уровне обеспечивается преимущественным вводом ТРИЗ в активную разработку. Намечился тренд существенного возрастания доли карбонатов в общем приросте запасов углеводородов – до 78%. Показано, что основными методами активизации разработки ТРИЗ являются уплотняющее бурение (преимущественно ГС) и ГРП новейших модификаций.

Ключевые слова: классификация, запасы нефти, трудноизвлекаемые запасы, баланс запасов, технологии, оптимизация.

CLASSIFICATION AND TECHNOLOGY FOR HTR RESERVE EXPLORATION AND DEVELOPMENT (BASHKORTOSTAN OIL FIELDS CASE STUDY)

© Lozin Evgeniy Valentinovich, © Tarnaeva Yulia Dmitrievna

RN-BashNIPIneft LLC
Ufa, Russian Federation

Summary. The problem reviewed in this paper is related to the predictable increase in the share of hard-to-recover (HTR) reserves in the overall balance of their increase as active reserves become depleted. This problem is not new; but ignoring the general negative trend due to the increase in HTR

drives the need in a policy to be developed for optimization of the oil production economics, which profitability tends to decrease. In the global practice, two main approaches are used to address the above-described situation: 1) acquisition of new assets in other regions including foreign ones, and 2) development of a rational fiscal policy that allows to legislatively improve the economy or maintain it at the achieved level. There are two classes in the HTR classification for oil fields in Bashkortostan: terrigenous and carbonate reservoirs of different structures and pore space materials, porosity and permeability properties, and positions in the geological section. In the class of terrigenous reservoirs, the HTR identification is based on the position of the outer annular regions in the oil-water zone, which are controlled by isopach lines below 3.0 meters; zones of thin clay reservoirs adjacent to siltstone bodies, as well as deposits saturated with higher and high viscosity oils. HTR include more than 95 % of carbonate reservoirs except for highly porous (more than 20%) and permeable (more than $150 \mu\text{m}^2$) reservoirs, regardless of oil viscosity. The authors completed a survey in the structure of oil reserve increase for 2009–2022, which confirms that the status of residual oil reserves is maintained at a virtually stable level predominantly due to the introduction of HTR into the active development portfolio. There has been a trend towards a significant increase in the share of carbonates in the total increase in hydrocarbon reserves: up to 78 percent and more. We have shown that the main methods of HTR development intensification are infill drilling (primarily horizontal wells) and hydraulic fracturing of the latest modifications.

Key words: classification, research of oil, hardly oil research, research's balance, technology. optimization.

Введение. О классификации ТРИЗ. В терригенных коллекторах основными вместилищами открытых запасов нефти (нефтегазоносными комплексами) являются терригенная толща девона и терригенная толща нижнего карбона (ТТНК), содержащие 88% суммарных первоначальных НИЗ региона.

На рисунке 1 представлена авторская (одного из авторов статьи) классификация трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) нефти для условий нефтяных месторождений верхнего палеозоя Башкортостана, предложенная ещё в [1]. В её основе выделение внутри двух основных классов (терригенных и карбонатных) нескольких подклассов, связанных с основными нефтегазоносными комплексами.

Основная часть. В пределах указанных терригенных толщ к ТРИЗ относятся:

- запасы нефти в кольцевых зонах крупных нефтяных месторождений, заключенных между первоначальным внешним контуром нефтеносности и изопахитой 2,0 м [1]. В этих зонах коллектора, как правило, представлены глинистыми песчаниками с ухудшенными ФЕС: пористость 16-18 %, проницаемость ниже $50-100 \text{ мкм}^2$. Первоначальные нефтенасыщенные толщины (до 2,0 м) по отношению к общим эффективным толщинам занимают не более 20%. Нефть из указанных областей не вырабатывается, что подтверждается многочисленными ГИС в процессе разработки, фиксирующими ВНК на первоначальном уровне [2-4 и др.]:

Классы коллекторов

	Терригенные		Карбонатные					
	Девон	Нижний карбон	Верхний девон	Турней	Средний карбон	Верхний карбон	Нижняя пермь	
т, д.ед.	0.16-0.18	0.14-0.18	0.04-0.12	0.05-0.14	0.12-0.13	0.03-0.11	0.05-0.19	т, д.ед.
К, мкм2	0.05-0.100	0.05-0.200	0.01-0.300	0.002-0.125	0.04-0.05 и ниже	0.001-0.06	0.001-0.236	К, мкм2
Нн, м	1-3.0	1-3.0	4.5-6.0	1-9.0	2-3.0	1-2.5	40-110.0 (1-1.8)	Нн, м
Нэф, м	5-10.0	5-10.0	8-19.0	7-20.0	8-9.0	3-5.0	80-210.0 (3-4.0)	Нэф, м
Кнн, д.ед.	0.7-0.75	0.65-0.75	0.76-0.9	0.7-0.8	0.65-0.8	0.7-0.8	0.76-0.92 (0.55-0.65)	Кнн, д.ед.
μн, мПа*с	10-30	20-50 и более	4-36.0 (до 58.0)	6-98.6	7-80.0 и более	14.4-22.1	1.3-26.2	μн, мПа*с

Рисунок 1 - Классификация ТриЗ по геолого-физическим критериям нефтяных месторождений Башкортостана [1]

- запасы нефти в предположительно кварцитовых разностях песчаников терригенной толщи девона (ТТД) в нефтяных месторождениях севера и северо-запада Башкортостана; здесь в Югомашевско-Кузбаевской зоне числится от 7,0 до 11,0 млн т запасов нефти. Проблема заключается в том, что до сих пор нет ответа на вопрос о классификационных признаках песчаников, динамика добычи нефти из которых существенно отличается от традиционных песчаных отложений ТТД;

- запасы нефти в пластах, насыщенных нефтями повышенной и высокой вязкости (более 30 мПа·с). К этому подклассу относятся объекты ТТНК севера РБ.

В пределах карбонатных толщ к ТрИЗ принадлежат по существу свыше 95% запасов этих коллекторов. Но среди карбонатов имеются и коллектора, обладающие ФЕС и нефтенасыщенными толщинами, которые позволяют классифицировать их выше ТрИЗ, т.е. как содержащие активные запасы. Количественные критерии карбонатных коллекторов по ФЕС и соотношению нефтенасыщенных и общих эффективных толщин приведены на рисунке 1. Карбонаты, выделяемые в качестве активных запасов (не ТрИЗ), присутствуют в фамене, турнее и башкирском ярусе. В Предуральском прогибе среди рифовых месторождений можно вычлнить из ТрИЗ часть запасов нефти на Ишимбайском, Введенновском, Грачевском и Старо-Казанковском месторождениях. С учетом перечисленных исключений все остальные месторождения (залежи) в карбонатных коллекторах содержат ТрИЗ.

По современным научным данным ТрИЗ характеризуются низкими коэффициентами нефтеотдачи (около 0,3 д.е.). Отмечается явная дифференциация КИН внутри отдельных групп ТрИЗ, обусловленная изменчивостью основных геолого-физических характеристик: пористости, проницаемости, нефтенасыщенности, вязкости пластовой нефти и др.

На эффективность нефтевытеснения влияют также стратиграфическая принадлежность по разрезу и приуроченность к тектоническому региону. В качестве примера детализации региональной классификации ТрИЗ в таблице 2 приводится её фрагмент, соответствующий карбонатам среднего карбона, поскольку в этом осадочном комплексе ТрИЗ имеют наибольшее содержание среди семи нефтегазоносных комплексов палеозоя Башкортостана [1].

Таблица 2 – Фрагмент классификации ТриЗ башкирских нефтяных месторождений для карбонатов среднего карбона [1]

Тектонический регион	ПОКАЗАТЕЛИ						КИН	
	Литология	Нефтенасыщенная толщина, м	Пористость, д.е.	Проницаемость, мкм ²	Нефтенасыщенность, д.е.	Вязкость пластовой нефти, мПа·с	Проектный	Ожидаемый
Южно-Татарский свод	Известняки и доломиты	3,0	0,16-0,17	0,01-0,05	0,7-0,8	19-25,0	0,3	0,25-0,3
Башкирский свод	Известняки	3-5,0	0,11-0,16	0,017-0,05	0,7-0,75	До 48,0	0,26-0,43	0,2-0,3
Бирская седловина	Известняки	3-4,0	0,12-0,16	0,042-0,052	0,67-0,8	30,2	0,24-0,31	0,2-0,3
Верхне-Камская впадина	Известняки	4-5,0	0,10-0,16	0,02-0,120	0,7-0,85	> 50,0	0,3	0,3
Благовещенская впадина	Известняки	До 3-4,0	0,1-0,12	0,012-0,04	0,7-0,8	13- 18,0	0,3-0,34	0,3
Пред-уральский прогиб	Известняки и мергели	2,0-4,0	0,07-0,086	0,08-0,016	0,67-0,8	15,0-19,0	0,15-0,39	0,15-0,3

Преобладают нефтенасыщенные глинистые известняки, пористость которых варьирует в пределах 7-17%, а проницаемость – 0,05-0,120 мкм². Верхнее значение проницаемости соответствует объектам с высоковязкой нефтью (более 50 мПа·с). Нефтенасыщенность пониженная – от 0,67 до 0,85 д.е. Вязкость пластовых нефтей повышенная, в ряде объектов – высокая (48,0 мПа·с и более).

В ПО «Башнефть» и институте БашНИПИнефть выполнялись исследования и готовились предложения по научному обоснованию и практическому применению критериев ТриЗ. Для башкирского нефтедобывающего региона, ставшего старым регионом со всеми сопутствующими признаками (выработанность сырьевой базы и др.), рассматриваемая проблема характеризуется нарастающей актуальностью. До сих пор невосполняемость сырьевой базы УВ большей частью покрывалась за счёт приобретения новых лицензионных участков со значительными по запасам месторождениями и пересчёта запасов по новым опробованиям в скважинах на старых месторождениях. Возрастает число малорентабельных месторождений, что требует разработки мер для изменения законодательства по недрам. В 2003-2005 гг. специалисты передовых нефтяных компаний и проектных институтов, в т.ч. БашНИПИнефть, создали рабочую группу для подготовки предложений по

введению дифференциального налога на добычу нефти, учитывающего истощенность недр, горно-геологических и географических и других факторов, влияющих на экономику добычи нефти. Данная проблема никуда не уходит, откладывание её решения лишь обостряет экономическую ситуацию.

Активизация выработки ТрИЗ в последние годы представляет один из эффективных путей пополнения запасов нефти Волго-Урала, в том числе Башкортостана, за счет перевода запасов категории В₂ в промышленные категории. Признанными методами стимуляции карбонатных коллекторов являются уплотняющее бурение и применение гидроразрыва пласта в его современных модификациях. Сегодня достигнуто эффективное применение уплотняющего бурения на месторождениях Западной Сибири. Происходит технологическое совершенствование ГРП – с учётом накопленного опыта оптимизируются дизайны ГРП, опробуются и внедряются различные технологии (в т.ч. пропантно-кислотный ГРП, пенный ГРП, ГРП на эмульгированной или загеленной кислоте, многостадийный и т.д.).

С 2013 года наблюдается рост применения ГРП на карбонатных коллекторах, область их реализации ежегодно расширяется с выходом на объекты, ранее считавшиеся неперспективными.

Непрерывная работа над активизацией выработки ТрИЗ сказывается на структуре сырьевой базы углеводородов Башкортостана. Актуальность проблемы заключается в том, что в течение последних 60 с лишним лет прирост запасов нефти промышленных категорий за счет поисково-разведочного бурения не восполняет текущую добычу нефти. Между тем, в течение современного периода (в текущем веке) остаточные запасы нефти удерживаются на практически стабильном уровне – 220 – 250 млн т. Обеспечивается указанное положение за счет открытий и перевода запасов из категории С₂ (В₂) в промышленные категории. Как показывают данные табл. 3, в этом процессе в значительной степени участвуют запасы ТрИЗ [5], в т.ч. запасы карбонатов фамена и среднего карбона.

Таблица 3 – Структура прироста запасов нефти промышленных категорий Компании «Башнефть» в 2009-2022 гг.

Прирост запасов нефти промышленных категорий, %						
Всего	В том числе					
	За счёт ГРП			За счёт пересчёта, приобретений и нового опробования		
	Всего	Активных	ТриЗ	Всего	Активных	ТриЗ
	17,2	3,8	13,4	83,8	18,8	65,0

Итого доля ТриЗ составила 78,4 (в процентах) от общего прироста запасов промышленных категорий.

Поиски и разведка месторождений с ТриЗ

Методика поисков и разведки залежей с ТриЗ отличается от методики ГРП для крупных и средних по запасам месторождений. Прежде всего, это связано с размерами залежей, которые, как правило, находятся в интервале 1-3 (1-5) км². В «Башнефти» развивается принцип открытия мелких залежей одной поисковой скважиной, а задачи доразведки перекадываются на оценочные и, в основном, на эксплуатационные скважины. Последние закладываются по данным детализационных сейсмопрофилей с применением модифицированного прогноза распространения нефтенасыщенного коллектора [6]. Данный методический принцип гораздо актуальнее изложенных в [4, 7, 8] подходов.

Выводы:

1. Классификация ТриЗ нефтяных месторождений должна различаться по нефтедобывающим регионам России в количественных критериях. Для Башкортостана ТриЗ изучены в терригенных и карбонатных коллекторах, различающихся структурой и материалом порового пространства, ФЕС и положением в геологическом разрезе.

2. К ТриЗ в терригенных коллекторах палеозоя Башкортостана традиционно относятся внешние области кольцевых ВНЗ, контролируемые изопахитами ниже 3,0 м; зоны глинистых тонких коллекторов, примыкающих к алевролитовым телам, а также залежи, насыщенные нефтями повышенной и высокой вязкости. В отличие от терригенных отложений к ТриЗ относится более 95% карбонатных коллекторов. К числу активных запасов в карбонатах можно отнести высокопористые (с пористостью выше 20%) и проницаемые (более 0,100 мкм²) разности независимо от вязкости нефти.

3. Основными методами активизации выработки ТриЗ в терригенных и карбонатных коллекторах остаются технологии уплотняющего бурения и ГРП.

4. В отношении активизации выработки ТриЗ карбонатных коллекторов максимальную эффективность демонстрируют технологии КГРП, которые постоянно совершенствуются по мере накопления опыта и исследовательских изысканий в области геомеханики, рецептур жидкостей разрыва и многостадийности операций. Набор и дизайны технологий пополняется в

зависимости от типа ФЕС, степени глинизации карбонатов, соотношения нефтенасыщенных и водонасыщенных толщин, положения в разрезе и стадии разработки.

5. Методика поисков и разведки залежей с ТрИЗ развивается по принципу открытия одной поисковой скважиной с последующей доразведкой эксплуатационными скважинами, закладываемыми по данным сейсмического прогноза распространения нефтенасыщенных коллекторов.

6. Ввод ТрИЗ в активную разработку способствует пополнению сырьевой базы углеводородов, обеспечивая состояние остаточных запасов нефти на стабильном уровне. Наметилась тенденция роста доли ТрИЗ карбонатов в общем объеме дополнительной добычи нефти и прироста запасов УВ.

7. В Башкортостане поиск, разведка и разработка залежей высоковязких нефтей и битумов требует своего научного и практического изучения, поскольку доля этих запасов пока не получила квалифицированной оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лозин Е.В. Воспоминания о Н.Н. Лисовском в связи с оптимизацией выработки трудноизвлекаемых запасов нефти // Недропользование. XXI век. 2019. №5 (81). С. 57-69.
2. Лозин Е.В. Геология и нефтеносность Башкортостана. Уфа: БашНИПИнефть, 2015. 704 с.
3. Лозин Е.В., Ахмеров Р.З. Уроки разработки Шкаповского нефтяного месторождения. Уфа: БашНИПИнефть, 2017. 371 с.
4. Халимов Э.М. Геотехнологии разведки и разработки нефтяных месторождений. Избранные труды. М.: ИГиРГИ, С. 111-153; 306-316.
5. Лозин Е.В. Детализация геологии карбонатов фаменского яруса в платформенном Башкортостане в связи с доразведкой их нефтеносности // Экспозиция Нефть Газ. 2022. №3 (88). С.11-15.
6. Лозин Е.В. Методический подход к поиску и разведке труднооткрываемых запасов углеводородов // Нефтяное хозяйство. №3. 2023. С. 14-17.
7. Кожевникова Е.Е., Башкова С.Е., Яковлев Ю.А. Казанско-кажимский авлакоген и прилегающие районы в эфельско-раннефранское время: условия формирования, нефтегазоносность // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2023. №1. С. 73-88.
8. Харитонов А.Л. Результаты применения вероятностного анализа геолого-геофизических данных на территории русской платформы для оценки перспектив нефтегазоносных областей. // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2023. №3. С. 29-41. DOI 10.24412/1728-5283-2023-3-29-41.

REFERENCES

1. Lozin E.V. Memories of N.N. Lisovsky in connection with the optimization of the production of hard-to-recover oil reserves // Subsoil use XXI century. 2019. No. 5 (81). Pp. 57-69.
2. Lozin E.V. Geology and oil content of Bashkortostan. Ufa: publishing house BashNIPIneft, 2015. 704 p.
3. Lozin E.V., Akhmerov R.Z. Lessons from the development of the Shkapovskoye oil field. Ufa: BashNIPIneft, 2017. 371 p.
4. Khalimov E.M. Geotechnologies for exploration and development of oil fields. Selected works. M.: IGI RGI, Pp. 111-153; 306-316.
5. Lozin E.V. Detailing the geology of Famennian stage carbonates in platform Bashkortostan in connection with additional exploration of their oil content // Exposition Oil Gas. 2022. No.3(88). Pp.11-15.
6. Lozin E.V. Methodological approach to the search and exploration of hard-to-discover hydrocarbon reserves // Oil industry. No. 3. 2023. Pp. 14-17.
7. Kozhevnikova E.E., Bashkova S.E., Yakovlev Yu.A. Kazan-Kazhim aulacogen and adjacent areas in the Eifelian-Early Frasnian time: formation conditions, oil and gas content // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2023. No. 1. pp. 73-88.
8. Kharitonov A.L. Results of using probabilistic analysis of geological and geophysical data on the territory of the Russian platform to assess the prospects of oil and gas bearing areas. // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2023. №3. pp. 29-41. DOI 10.24412/1728-5283-2023-3-29-41.

Сведения об авторах:

Лозин Евгений Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, эксперт бюро старших экспертов ООО «РН-БашНИПИнефть», ООО «РН-БашНИПИнефть», Уфа, Российская Федерация. E-mail: LozinEV@bnipi.rosneft.ru. ORCID ID: 0009-0007-4004-4592.

Тарнаева Юлия Дмитриевна, начальник отдела оперативного изменения запасов Волго-Уральской НПП ООО «РН-БашНИПИнефть», ООО «РН-БашНИПИнефть», Уфа, Российская Федерация. E-mail: TarnaevaUD@bnipi.rosneft.ru, ORCID ID: 0009-0005-5838-5614.

Author's personal details:

Lozin Evgeniy Valentinovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, expert of the Bureau of Senior Experts of RN-BashNIPIneft LLC, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation. E-mail: LozinEV@bnipi.rosneft.ru. ORCID ID: 0009-0007-4004-4592.

Tarnaeva Yulia Dmitrievna, Head of the department for operational changes in reserves of the Volga-Ural Oil and Gas Production Enterprise RN-BashNIPIneft LLC, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation. E-mail: TarnaevaUD@bnipi.rosneft.ru, ORCID ID: 0009-0005-5838-5614.

© Лозин Е.В., Тарнаева Ю.Д.