



## НЕФТЕГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ – НОВЫЕ АСПЕКТЫ XXI ВЕКА

Н. П. Запивалов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

Споры о происхождении нефти в научном мире не утихают по сей день. В прошлом столетии большинство ученых придерживались органической (осадочно-миграционной) теории, но в ней существуют определенные противоречия и имеются разные точки зрения. В настоящее время противоречий и вопросов не стало меньше. Автор предлагает свою парадигму образования и динамики жизни нефтяной залежи и вводит понятие нефтегазового месторождения как целостной живой флюидопородной системы, свойства и параметры которой способны быстро изменяться в непрерывном режиме под действием природных и техногенных факторов в соответствии с законами спонтанной саморегуляции. Отдельно уделяется внимание проблеме рисков и неопределенностей в нефтегазовом деле, а также бережной добыче на уже разрабатываемых нефтяных и газовых месторождениях и поиску возможностей их реабилитации и восполнения.

**Ключевые слова:** образование нефти, живая флюидопородная система, риски и неопределенности.

## OIL GEOLOGICAL THINKING – NEW ASPECTS OF THE 21<sup>ST</sup> CENTURY

N. P. Zapivalov

A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia

There is still controversy surrounding the origin of oil in the scientific world. In the last century, most scientists adhered to the organic (sedimentary and migrational) theory of the oil origin, but there are and there were certain contradictions and different points of view in this behalf. In the coming 21<sup>st</sup> century, contradictions and questions have not diminished. The author offers his own paradigm of formation and dynamics of the life of an oil pool and introduces the concept of an oil-and-gas field as an integral living fluid-rock system, the properties and parameters of which can change rapidly in a continuous mode under the influence of natural and man-made impacts in accordance with the laws of spontaneous self-regulation. Special attention is paid to the problem of risks and uncertainties in the petroleum engineering, the author also calls for careful extraction of oil-and-gas fields already under development and search for opportunities for their rehabilitation and replenishment.

**Keywords:** oil formation, living fluid-rock system, risks and uncertainties.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-12s-65-69

XXI век принес человечеству много неожиданных событий в различных сферах жизни, в том числе и в нефтегазовой. Нефть и газ – это энергия, топливо и сырье для многих потребностей людей. Развитие нефтегазового дела – первоочередная задача человечества. В мире открыто около 70 тысяч месторождений нефти, из них 1500 крупных; 70 стран имеют разведанные запасы нефти, более 65 осуществляют добычу на своей территории. Открываются новые источники углеводородов (традиционных и нетрадиционных), создаются инновационные методы и технологии их добычи и утилизации.

В прошлом столетии большинство ученых придерживались органической (осадочно-миграционной) теории происхождения нефти, но в ней существовали определенные противоречия, которых стало больше с наступлением XXI в. В настоящее время в мире насчитывается около десятка различных авторитетных концепций (теорий) нефтеобразования, включая биосферную, абиогенную, магматическую и др.

Автор в начале своей геологической деятельности был активным сторонником органической теории и в 1962 г. защитил кандидатскую диссертацию

«Геолого-геохимическая характеристика мезозойских отложений и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья», в которой впервые описано комплексное геохимическое исследование мезозоя Западной Сибири (официальным оппонентом был Н. Б. Вассоевич). В работе в качестве нефтематеринской толщи была выделена геохимическая пачка А (в разрезе куломзинской свиты, которая впоследствии стала называться баженовской).

Многолетний опыт работы в нефтегазовой геологии привел автора к выводу об ограниченной применимости классической теории, так как скопления углеводородов обнаруживаются повсеместно. А. Леворсен в своей книге, написанной в конце прошлого века, утверждал: «Проблема происхождения нефти и газа теряет в какой-то мере свое значение в качестве обязательной предпосылки для постановки поисковых работ. <...> Нет необходимости искать особые материнские породы» [8, с. 488].

Сейчас автор придерживается позиции, не предполагающей приверженности какой-либо одной концепции генезиса нефти. Создать общую теорию нафтидогенеза, пригодную для любых геологических условий, видимо, сложно, практически

невозможно. Катагенетическая стадийность тоже не является универсальной. Академик А. А. Трофимук писал: «Нижняя граница зоны нефтеобразования должна быть понижена до глубины 8000–10000 м. Бурением глубоких скважин доказано, что на этих глубинах нефтеобразование происходит не только в условиях мезокатагенеза, но и в условиях апокатагенеза. Расширение границ зон нефтеобразования сопровождается существенным ростом прогнозной оценки ресурсов углеводородного сырья» [9, с. 333].

### Неопределенности, риски и катастрофы в современном нефтегазовом деле (разведка и добыча)

Существующий сейчас масштаб рисков, неопределенностей, ошибок и катастроф, связанных с поиском, разведкой и добычей углеводородов, делает необходимым переосмысление основополагающих принципов нефтегазового дела.

Особое значение имеют геолого-геофизические факторы и соответствующий научный прогноз. В качестве примера прогнозно-геологических просчетов можно упомянуть попытки открытия «гигантского» месторождения Муклук на шельфе Аляски недалеко от месторождения Прадхо-Бей. Разведочная скважина стоимостью 1 млрд долларов была пробурена в 1983 г., но на глубине 2438 м в предполагаемом продуктивном пласте оказалась только соленая вода. Показательным примером другого рода факторов (технологических ошибок) может служить крупнейшая авария, произошедшая 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе на нефтяной платформе Deep-water Horizon на месторождении Макондо (компания British Petroleum), ставшая экологической катастрофой: нефтью было залито 75 тыс. км<sup>2</sup>.

Многие геофизические методы, безусловно, требуют совершенствования. Один из ведущих геофизиков ИНГГ СО РАН В. С. Могилатов заметил: «Любая геофизическая интерпретация не на 100 % достоверна. Она всегда делается с какой-либо ошибкой».

Кроме того, огромное значение приобретает геополитический фактор – отсутствие согласованности между основными нефтедобывающими странами и жесткая борьба за рынки, что приводит к глобальному кризису.

Предлагается следующая символическая формула для описания этих рисков:

$$P = H + Ч + Г_1 + Г_2 + Г_3 + Т_1 + Т_2 + Э + К + Ф + П,$$

где  $H$  – фундаментальная наука;  $Ч$  – человеческий фактор: профессионализм кадров всех уровней, включая менеджмент;  $Г_1, Г_2, Г_3$ , – геологическая, геофизическая и географическая информация в полном объеме, с обобщающими моделями;  $Т_1, Т_2$  – техника и технология с учетом инновационных методик и систем эффективного управления производственными процессами;  $Э, К$  – экологические факторы, природ-

ные катастрофы;  $Ф$  – финансовые возможности;  $П$  – политические факторы.

В зависимости от меняющихся обстоятельств некоторые из этих факторов могут оказаться определяющими. Каждый из них требует обновленной парадигмы.

Автор считает, что главным объектом нефтегазовых исследований является флюидопородная система – залежь нефти (эмерджентное скопление углеводородов) [1, 7].

Определяющий фактор в нефтяной геологии – динамика состояния флюидопородной системы, зависящая от большого числа неопределенностей. Особенно заметно это проявилось в Индии [6]. Сундир Раха, будучи президентом крупнейшей нефтяной компании Индии (ONGC), в 2004 г. на геофизической конференции в Мумбаи обращал на это особое внимание: «Образование, миграция и накопление углеводородов могут протекать по бесчисленному множеству вариантов, что приводит к неопределенностям и неизбежному риску в поисково-разведочных работах. Важная роль науки о Земле состоит в том, чтобы снизить эти неопределенности и преобразовать их в плодотворные возможности» (рис. 1).



Рис. 1. С. Раха и Н. П. Запывалов на конференции

Преобладающие в настоящее время численные математические и лабораторные методы моделирования не дают возможности уверенного прогноза. В связи с этим можно вспомнить, что многие априорные геолого-геофизические модели оказались несостоятельными при бурении Кольской сверхглубокой скважины. Известный специалист по математической статистике и моделированию профессор Джордж Бокс писал: «В сущности, все модели неправильны, но некоторые из них бывают полезными» («All models are wrong but some are useful»). На это же четко показал в своих лекциях 2015 г. Сяо-Хуи Ву (старший консультант ExxonMobil): «Снизить источник неопределенности можно, сократив чис-

ловые ошибки и ошибки моделирования на основе выборочных данных».

Некоторые известные ученые и специалисты обладали особой интуицией, основанной на большом профессиональном опыте с опорой на стратегию «широкого поиска». В их числе можно назвать А. А. Трофимука, Н. А. Калинина, Н. Н. Ростовцева.

### Авторские концепции

После 70 лет учебной, практической и научной работы в нефтяной геологии разрабатывая основы геофлюидодинамики нефтегазонасыщенных систем, автор пришел к выводам о необходимости разработки новой парадигмы.

Подробный обзор современных теорий и концепций дан в книге «Флюидодинамические модели залежей нефти и газа» [7]. Ее авторы отдают предпочтение локальным флюидодинамическим системам, таким как залежи нефти и газа. Иначе говоря, природно-техногенным объектам в период их изучения и освоения. Подобные объекты, в отличие от нефтегазоносных бассейнов и крупных геосистем, могут быть подвергнуты точным измерениям, систематическим наблюдениям и управлению отдельными процессами.

Углеводороды встречаются повсеместно и будут всегда. Нефтегазообразование и распределение имеют очаговый характер [2].

Авторская парадигма<sup>1</sup> состоит в том, что *залежь нефти – это живая флюидопородная система, состояние и параметры которой способны быстро изменяться в непрерывном режиме под действием природных и техногенных факторов в соответствии с законами спонтанной саморегуляции. Залежь нефти может сформироваться, расформироваться и вновь образоваться.*

Запасы нефти и газа могут быстро восполняться либо за счет вновь образующихся углеводородных масс внутри системы, либо за счет дополнительного притока из других частей земной коры. Поэтому, как подтверждают данные в разных регионах мира, многие нефтегазовые скопления являются молодыми [1, 2, 5, 11].

Для уточнения процессов флюидопородных систем автор обратился к члену-корреспонденту РАН, заведующему лабораторией сейсмической томографии И. Ю. Кулакову с несколькими вопросами. Каковы изменения вулканического вещества на поверхности и в глубине вулканов? Как быстры и глубоки эти изменения? Его ответ: «Мы исследуем изменения внутри вулканов Спурра и Невадо дель Руис по ходу эруптивной активности. В случае

Спурра можно видеть, что в течение года аномалия с повышенным отношением  $V_p/V_s$  смещается вверх более чем на километр. Под Невадо дель Руис аномалия, которая существовала там в начале периода дегазации, постепенно сходит на нет. Мы предполагаем, что такие достаточно быстрые изменения связаны с миграцией флюидов и их преобразованием в газ. Более быстрые изменения нашими методами мы засечь не можем, хотя, возможно, они имеют место. На поверхности можно наблюдать деформации поверхности при помощи спутниковых технологий. Очевидно, чем глубже, тем изменения более плавные» [10].

Таким образом, подтверждается мое предположение, что флюидопородные системы в самых разнообразных условиях могут работать по сходному принципу.

1. Нефтегазонасыщенный пласт (залежь) состоит из двух взаимосвязанных подсистем: породы (минералы) и флюиды (нефть, газ, вода) – и представляет собой целостную систему, имеющую свойства фрактальных структур. Фрактальные свойства были изучены на примере Верх-Тарского месторождения (Новосибирская область) с использованием специальных характеристик временных рядов – размерности Хаусдорфа и показателя Херста. В процессе разработки месторождений неоднократно и существенно менялись состав и свойства всех компонентов системы, флюидных и минеральных, в том числе за счет метасоматоза.

2. Флюидодинамические системы весьма мобильны и реакционноспособны. В зависимости от провоцирующих внешних воздействий они или стабильны (равновесное состояние), или возмущены (неравновесное состояние). Возмущенная система обладает всеми признаками неупорядоченности (хаоса) [7].

3. Активные техногенные воздействия являются, по существу, сильным возмущением квазиравновесной системы и существенно искажают ее природные параметры. Если возмущение щадящее, то самоорганизующаяся система выравливает это неравновесие. Длительное или интенсивное возмущение, значительно превышающее пороговое, уничтожает систему. Как следствие, падает пластовое давление, резко уменьшается дебит, обводняется пласт и изменяется его минералогический состав.

4. Установлено, что критический порог возмущения флюидонасыщенной системы определяется значением депрессии на пласт:  $P_{пл} - P_{заб} \leq 5-8$  МПа.

5. Формула энергетического состояния залежи:  $dT/dP = 1/Sv$ , где  $Sv$  – объемная плотность энтропии (энтальпия).

6. При участии С. С. Беднаржевского (математик, д. т. н., лауреат Госпремии РФ в области науки и техники) была определена формула добычного потенциала углеводородных систем. С этим ученым я продолжительное время сотрудничал по нефтегазовой тематике с целью определения жизни

<sup>1</sup>Парадигма (от греч. παράδειγμα) – совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, принимаемая и разделяемая научным сообществом и объединяющая большинство его членов. Обеспечивает преемственность развития науки и научного творчества (Советский энциклопедический словарь, 1980).

месторождения, совместно получен патент (Способ повышения нефтеотдачи пластов: патент РФ на изобретение № 2425967 / Н. П. Запивалов, Г. И. Смирнов, С. С. Беднаржевский, Н. Г. Шевченко; заявл. № 2009, приоритет от 30.09.2009).

Зависимость объема добытой нефти на месторождении  $f(t)$  от времени добычи  $t$  может быть представлена в виде

$$f(t) = r t (1 - t/K),$$

где  $r$  – коэффициент продуктивности месторождения;  $K$  – время жизнедеятельности месторождения (рис. 2).

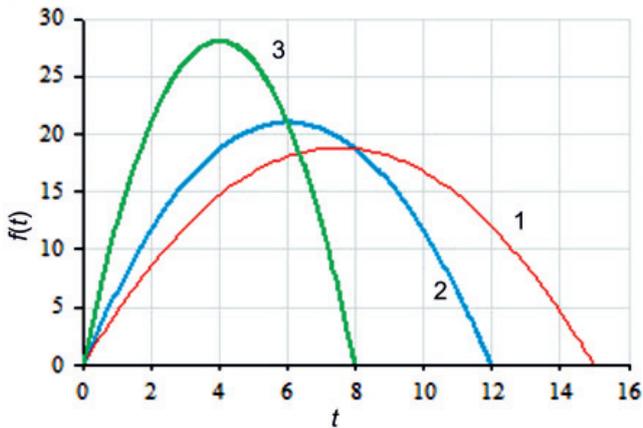


Рис. 2. Графики функции  $f(t)$  для различных значений параметров  $r$  и  $K$

Графики объема добытой нефти для месторождения: 1 – при  $r = 5$ ,  $K = 15$  лет, 2 – при  $r = 7$ ,  $K = 12$  лет, 3 –  $r = 14$ ,  $K = 8$  лет

7. Для восстановления энергетического потенциала системы следует использовать реабилитационные циклы.

8. Сверхинтенсивная (насильственная) выработка легкодоступных запасов нефти (EOR, Enhanced Oil Recovery) при длительном применении приводит к быстрому истощению и разрушению месторождений.

Многие из этих концепций отражены в многочисленных публикациях автора в России и за рубежом [1, 11, 12].

### Выводы и предложения

Необходимо сосредоточить усилия для добычи остаточной (трудноизвлекаемой) нефти на разрабатываемых или законсервированных месторождениях, в том числе в Западной Сибири, включая вновь образованные объемы углеводородных масс. Количество такой нефти сейчас может достигать более 50 % от ранее разведанных запасов. Для ее извлечения предлагается принципиально новый подход – щадящие методы, ориентированные на сохранение месторождения как целостной системы с целью более длительной его разработки (IOR, Improved Oil Recovery) в противоположность сверхинтенсивной коммерческой добыче насильственными методами, разрушающими месторождение

как систему (EOR, Enhanced Oil Recovery). На эту тему мной была опубликована статья [12], которая стала очень популярной в рейтинговом международном научном сообществе ResearchGate (9690 прочтений).

Преобладающие в настоящее время численные математические и лабораторные методы моделирования не дают возможности уверенного прогноза, поэтому для получения достоверной информации необходимо натурное моделирование.

Чтобы иметь представление о пластовых флюидах, о процессах, которые происходят в пласте во время эксплуатации залежи, и об источниках пластовой энергии, необходимо подробно изучать залежь нефти в непрерывном режиме с помощью специальных датчиков, расположенных непосредственно внутри продуктивных пластов (очагов). Это позволит в дальнейшем правильно управлять технологическим процессом добычи нефти для повышения эффективности.

Для этого чрезвычайно важно иметь постоянно действующие исследовательские полигоны на разрабатываемых месторождениях, а также осуществлять регулярный мониторинг на всех ранее пробуренных скважинах.

Автор настойчиво предлагает создать на базе Верх-Тарского и Малоичского месторождений Новосибирской области **комплексный научно-исследовательский образовательный нефтяной полигон**, чему посвятил ряд статей [1 и др.].

Особое внимание следует уделить проблеме восполняемости запасов углеводородов на разрабатываемых и законсервированных месторождениях.

Необходимо применять реабилитационные циклы для восстановления энергетического потенциала системы [4]. Должны быть предусмотрены методы и технологии активной реабилитации (как в медицине), чтобы достичь эффективного и быстрого результата.

Углеводородные ресурсы требуется беречь и пополнять, так как они необходимы человечеству на далекую перспективу.

Современная рыночно-лицензионная система недропользования в России некорректна. Необходимость восполнения запасов и научного исследования недр настоятельно диктует другие формы организации недропользования.

Необходимо воссоздать Министерство геологии РФ в полном профессиональном, обновленном согласно нашему времени и запросам, формате.

В науках о Земле многочисленные геологические и геофизические исследовательские направления развиваются относительно успешно, но нет объединенной научно-практической программы, главной целью которой было бы изучение динамики развития Земли, определяющей глобальные и локальные процессы и катастрофические явления. Особенно необходимы обновления в нефтегазовой



геологии и геофизике, где много противоречивых идей и концепций и явно ощущается необходимость нового мышления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Запивалов Н. П.** Динамика жизни нефтяного месторождения // Изв. ТПУ. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 206–211.
2. **Запивалов Н. П.** Новые научные и практические аспекты нефтегазовой геологии. – Palmarium Academic Publishing, 2013. – 102 с.
3. **Запивалов Н. П.** О нефтегазоносности палеозоя Западной Сибири // Концептуальные модели и возможные пути поиска залежей углеводородов в доюрском комплексе Томской области: сб. науч. тр. открытой науч. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/51575>.
4. **Запивалов Н. П.** Реабилитационные циклы – основа активного долголетия и высокой конечной нефтеотдачи нефтенасыщенных систем // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Новые идеи в геологии нефти и газа». – М.: МГУ, 2015. – С. 85–87.
5. **Запивалов Н. П.** Современные геологические концепции и технологии прогноза, разведки и освоения нефтегазовых месторождений // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 11. – С. 20–23.
6. **Запивалов Н. П., Павлов Ф. В.** Индия – путь к большой нефти, 1955–2005. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2005. – 208 с.
7. **Запивалов Н. П., Попов И. П.** Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2003. – 198 с.
8. **Леворсен А.** Геология нефти и газа. Сер. «Науки о земле». Т. 22. – М.: Мир, 1970. – 638 с.
9. **Трофимук А. А.** Сорок лет борения за развитие нефтегазодобывающей промышленности Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 369 с.
10. **Causes** of volcanic unrest at Mt. Spurr in 2004–2005 inferred from repeated tomography / I. Koulakov, S. Smirnov, V. Gladkov, et al. // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – URL: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/publ-causes-of-volcanic-unrest-at-mt-spurr-in-2018>.
11. **Zapivalov N. P.** Upstream Midstream risks and uncertainties. New ways of thinking // DEW: Drilling and Exploration World. – 2019. – Vol. 28 (January), Issue 3. – P. 37–46.
12. **Zapivalov N. P.** Improved Oil Recovery vs. Enhanced Oil Recovery // Enhanced Oil Recovery: Methods, Economic Benefits and Impacts on the Environment. – New-York, 2015. – P. 81–94.

© Н. П. Запивалов, 2022