

**Запивалов Н.П.**

Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск
ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

НОВОЕ УЧЕНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ НАУКЕ И ПРАКТИКЕ В XXI ВЕКЕ

В статье рассматривается новый подход к образованию нефти, автор предлагает свою парадигму образования и динамики жизни нефтяной залежи. Отдельно уделяется внимание проблеме рисков и неопределённостей в нефтегазовом деле.

Ключевые слова: образование нефти, живая флюидопородная система, риски и неопределённости, реабилитационные циклы

XXI век принёс человечеству много неожиданных событий в различных сферах жизни, в том числе и в нефтегазовых делах.

Нефть и газ – это энергия, топливо и сырьё для многих потребностей людей. Развитие нефтегазового дела является первоочередной задачей человечества. В мире открыто около 70 000 месторождений нефти, из них 1500 крупных. 70 стран в мире имеют разведанные запасы нефти, более 65 стран осуществляют добычу нефти на своей территории. Открываются новые источники углеводородов (традиционных и нетрадиционных), создаются инновационные методы и технологии их добычи и утилизации.

В прошлом столетии большинство учёных придерживались органической (осадочно-миграционной) теории происхождения нефти, но существовали определённые противоречия, с наступлением XXI века противоречий и вопросов стало больше. 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 происхождения нефти. И в 1962 году защитил кандидатскую диссертацию по этому поводу «Геолого-геохимическая характеристика

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

Многолетний опыт работы в нефтегазовой геологии привёл автора к выводу об **ограниченной применимости** классической теории, т. к. скопления углеводородов обнаруживаются **повсеместно**. В своей книге Леворсон А., написанной в конце прошлого века, утверждал: «Проблема происхождения нефти и газа теряет в какой-то мере своё значение в качестве обязательной предпосылки для постановки поисковых работ. <...> нет необходимости искать особые материнские породы» [1, 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 Андрей Алексеевич Трофимук утверждал: «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» [2, с. 333].

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

Накопившийся к настоящему моменту масштаб рисков, неопределённостей, 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 просчётов можно упомянуть попытки открытия «гигантского» месторождения Мулук 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 солёная вода. Показательным

примером другого рода факторов – технологических ошибок – может служить крупнейшая авария, произошедшая 20 апреля 2010 года в Мексиканском заливе на нефтяной платформе Deep-water Horizon на месторождении Макондо (компания British Petroleum). Это была крупная экологическая катастрофа. Нефтью было залито 75 тысяч км².

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».

В дополнение огромное значение приобретает геополитический фактор – отсутствие согласованности между основными нефтедобывающими странами и жёсткая борьба за рынки, приводит к глобальному планетарному кризису.

Предлагается следующая символическая формула для описания этих рисков:

$$P = H + Ч + Г_1 + Г_2 + Г_3 + T_1 + T_2 + Э + К + Ф + П$$

где Н – фундаментальная наука, Ч – человеческий фактор: профессионализм кадров всех уровней, включая менеджмент; Г₁, Г₂, Г₃ – геологическая, геофизическая и географическая информация в полном объёме, с обобщающими моделями; T₁, T₂ – техника и технология с учётом инновационных методик и систем эффективного управления производственными процессами; Э, К – экологические факторы, природные катастрофы; Ф – финансовые возможности; П – политические факторы. В зависимости от меняющихся обстоятельств, некоторые из этих факторов могут оказаться определяющими. Каждый из них требует обновлённой парадигмы.



На фото: Беседа профессионалов. Президент ONGC Субир Раха с Н.П. Запиваловым. Конференция Petrotech-2003. Индия, Дели, 2003 г.

Автор считает, что главным объектом нефтегазовых исследований является флюидопородная система – залежь нефти (эмерджентное скопление углеводородов) [3, 6].

Определяющим моментом в нефтяной геологии является динамика состояния флюидопородной системы, зависящая от большого числа неопределённостей. Особенно заметно это проявилось в Индии [4]. Субир Раха, будучи президентом крупнейшей нефтяной компании Индии (ONGC), обращал на это особое внимание: «Образование, миграция и накопление углеводородов могут протекать по бесчисленному множеству вариантов, что приводит к неопределённостям и неизбежному риску в поисково-разведочных работах. Важная роль науки о Земле состоит в том, чтобы снизить эти неопределённости и преобразовать их в плодотворные возможности» (Геофизическая конференция, Мумбаи, 2004).

Преобладающие в настоящее время численные математические и лабораторные методы моделирования не дают возможности уверенного прогноза. В этой связи можно вспомнить, что многие априорные геолого-геофизические модели оказались несостоятельными на Кольской сверхглубокой скважине. Известный специалист по математической статистике и моделированию профессор Джордж Бок писал: «В сущности, все модели неправильны, но некоторые из них бывают полезными» («All models are wrong but some are useful»). На это же чётко показал в своих лекциях 2015 г. Сяо-Хуи Ву (старший консультант ExxonMobil): «Снизить источник неопределённости можно, сократив числовые ошибки и ошибки моделирования на основе выборочных данных».

Некоторые известные учёные 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 нефтегазо-насыщенных систем, автор пришёл к выводам о необходимости разработки новой парадигмы.

Подробный обзор современных теорий и концепций дан в книге «Флюидодинамические модели залежей нефти и газа» [3]. В своей работе 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 нефтегазона-

сных 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 [7].

- Авторская **парадигма** состоит в том, что **залежь нефти является живой флюидопородной системой, 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 счёт вновь образующихся углеводородных масс внутри системы, либо за счёт дополнительного притока из других частей земной коры. Поэтому, как подтверждают данные в разных регионах мира, многие нефтегазовые скопления являются молодыми [5-7, 12].

Парадигма (от греч. paradeigma) – строго научная теория, воплощённая в системе понятий, выражающих существенные черты действительности.

Советский энциклопедический словарь, 1980, с. 977

Для уточнения процессов флюидопородных систем я обратился к член-корреспонденту РАН, заведующему лабораторией сейсмической томографии И.Ю. Кулакову. Вопросы: каковы изменения вулканического вещества на поверхности и в глубине вулканов? Как быстрые и глубокие эти изменения? Привожу ответ: «мы исследуем изменения внутри вулканов Спурр 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 моё предположение, что флюидопородные системы в самых разнообразных условиях могут работать по сходному принципу.

- 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 меняются состав и свойства всех компонентов системы, флюидных и минеральных, в том числе за счёт метасоматоза.

- Флюидодинамические системы весьма мобильны и реакционноспособны. В зависимости от провоцирующих внешних воздействий они или стабильны (равновесное состояние), или возмущены (неравновесное состояние). Возмущённая система обладает всеми признаками неупорядоченности (хаоса) [3].

Активные техногенные воздействия являются, по существу, сильным возмущением квазиравновесной системы и существенно искажают её природные параметры. Если это возмущение является щадящим, то самоорганизующаяся система выравняет 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.

- Установлено, что критический порог возмущения флюидонасыщенной системы определяется величиной депрессии на пласт:

$$\text{Рпл-Рзаб} \leq 5 \div 8 \text{ МПа}$$

- Формула энергетического состояния залежи:
 $dT/dP = 1/Sv$

где Sv – объёмная плотность энтропии.

- Для восстановления энергетического потенциала системы следует использовать реабилитационные циклы.

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

Многие из этих концепций нашли своё отражение в многочисленных публикациях автора в России и за рубежом.

Выводы, предложения

- Сейчас необходимо сосредоточить усилия для добычи остаточной (трудноизвлекаемой) нефти на разрабатываемых или законсервиро-

ванных месторождениях, в том числе и Западной Сибири, включая вновь образованные объёмы углеводородных масс. Количество такой нефти сейчас может достигать более 50% от ранее разведанных запасов. Для извлечения этой нефти 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 добычи насильственным методам, разрушающим месторождение как систему (EOR, Enhanced Oil Recovery). На эту тему мной была опубликована статья [11], которая стала очень популярной в рейтинговом международном научном сообществе ResearchGate (*см. Приложение*).

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

- Чтобы правильно управлять технологическим процессом добычи нефти, необходимо подробно изучать залежь нефти в непрерывном режиме с помощью специальных датчиков, расположенных непосредственно внутри продуктивных пластов (очагов).

- Чрезвычайно важно иметь постоянно действующие исследовательские полигоны на разрабатываемых месторождениях, а также осуществлять регулярный мониторинг на всех ранее пробурённых скважинах. Автор настойчиво предлагает создать на базе Верх-Тарского и Малоческого месторождений Новосибирской области Комплексный научно-исследовательский образовательный нефтяной Полигон.

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

- Необходимо применять реабилитационные циклы для восстановления энергетического потенциала системы [8]. Должны быть предусмотрены методы и технологии активной реабилитации (как в медицине). Чтобы достичь эффективного и быстрого результата.

- Надо беречь и пополнять углеводородные ресурсы, т.к. они необходимы человечеству на далёкую перспективу.

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

- Необходимо создать Министерство геологии РФ в полном профессиональном формате.

Несколько слов о перспективах Западной Сибири

В настоящее время судьба главного нефтегазового региона России многим видится в быстрейшем получении большого добычного потенциала за счёт баженовской свиты и палеозоя. Особенно большие ставки на «бажен», за счёт которого уже в ближайшее время предполагается иметь 20 миллиардов тонн добычных запасов нефти. Но надо иметь в виду, что эта свита имеет небольшие толщины и очень различные свойства, и параметры, определяющие очаговый характер возможной продуктивности. Во многих регионах мира от разработки подобных объектов отказываются по экологическим соображениям.

Что же касается проекта «Палеозой», то это другая эпопея. Под «палеозойским фундаментом» понимается огромный и разнообразный комплекс пород (протерозой и палеозой) на разных глубинах, что предопределяет возможность нефтеобразования и нефтенасыщения в разных породах и тектонических блоках. Геолого-геофизические материалы подтверждают это [5, 11]. Глубинная петротермальная энергия способствует желательным геофлюидодинамическим

процессам. Но проект «Палеозой» в Западной Сибири пока остаётся на этапе изучения и познания новых фактов и закономерностей [9]. В качестве перспективных объектов обозначаются гранитоидные тела и другие очаговые зоны с активной современной геофлюидодинамикой (градиентная энтропия). Надо бурить глубокие скважины (до 15 км), всесторонне и терпеливо испытывать интересные объекты. В случае получения слабых притоков или вязкой (битумной) нефти рекомендуется использовать вибрационные технологии (Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск). Они относятся к категории Improved Oil Recovery (IOR).

В науках о Земле многочисленные геологические и геофизические исследовательские направления развиваются относительно успешно, но нет объединённой 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. XXI

Литература

1. Леворсен А. Геология нефти и газа. М.: Мир, 1970. Серия «Науки о земле». Т. 22. 638 с.
2. А.А. Трофимук. Сорок лет борения за развитие нефтегазодобывающей промышленности Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1997. 369 с.
3. Н.П. Запывалов, И.П. Попов. Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. Новосибирск: Гео, 2003. 198 с.
4. Запывалов Н.П., Павлов Ф.В. Индия – путь к большой нефти, 1955–2005. Новосибирск: Гео, 2005. 208 с.
5. Запывалов Н.П. Современные геологические концепции и технологии прогноза, разведки и освоения нефтегазовых месторождений // Нефтяное хозяйство. М., 2005, № 11. С. 20–23.
6. Запывалов Н.П. Динамика жизни нефтяного месторождения // Известия Томского политехнического университета. Томск: 2012. Т. 321. № 1. С. 206–211.
7. Запывалов Н.П. Новые научные и практические аспекты нефтегазовой геологии // Palmarium Academic Publishing, 2013. 102 с.
8. Запывалов Н.П. Реабилитационные циклы – основа активного долголетия и высокой конечной нефтеотдачи нефтенасыщенных систем // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа». М.: МГУ, 2015. С. 85–87.
9. Запывалов Н.П. О нефтегазоносности палеозоя Западной Сибири // Концептуальные модели и возможные пути поиска залежей углеводородов в доюрском комплексе Томской области: сб. науч. тр. открытой научной конф. Томск. 6, 21 июня 2018 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2018.
10. I. Koulikov, S. Z. Smirnov, V. Gladkov, E. Kasatkina, M. West, S. El Khrepy & N. Al-Arif Causes of volcanic unrest at Mt. Spurr in 2004–2005 inferred from repeated tomography 2018.
11. 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.
12. 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.

UDC 553.982.2

N.P. Zapivalov, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

PETRO-GEOLOGICAL WAY OF THINKING: NEW 21ST-CENTURY ASPECTS

Abstract: The article discusses a new approach to the processes of oil formation. The author offers his own paradigm, or angle of vision into origin and life (space-time dynamics) of an oil and gas play. Special attention is paid to the analysis of risks and uncertainties in the petroleum business.

Keywords: genesis of oil, a living fluid-dynamic system, risks and uncertainties, rehabilitation cycles.

Приложение. 1.

Научно- профессиональный рейтинговый отчет

Статистика прочтений статей и докладов (с марта 2013 г. по 27 апреля 2022 г.)

ResearchGate. Всего за этот период на 27 апреля прочтений 14 206,

цитирований 35, индекс Research Interest 110.1

Распределение прочтений по статьям (топ - 20):

| | Название статьи (доклада) | Кол-во прочтений |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1 | Improved oil recovery vs. enhanced oil recovery (Jan 2015) | 9127 |
| 2 | New Era of Oil & Gas Industry (Dec 2014) | 1055 |
| 3 | Upstream & Midstream risks and uncertainties. New ways of thinking (Jun 2019) | 300 |
| 4 | Petroleum Geology of the 21 st Century: Theory and Practice (May 2013) | 288 |
| 5 | The 21 st Century Power: Tendencies and Prospects (June 2011) | 239 |
| 6 | Petroleum Geology: Science and Practice in the 21 st Century. New Ideas and Paradigms (Jul 2016) (Σ) | 226 |
| 7 | Индия – путь к большой нефти (Jan 2005) | 223 |
| 8 | West Siberian Oil: History and Prospects (Jul 2018) (Σ) | 231 |
| 9 | Флюидодинамические модели залежей нефти и газа (Dec 2003) book | 187 |
| 10 | К 70-летию Западносибирской нефти (Σ) (Sep 2017) | 164 |
| 11 | Торф и органоминеральное сырье (Aug 2011) | 124 |
| 12 | Нефтегазовая наука и практика XXI века: новые идеи и парадигмы (Σ) (Aug 2015, Jan 2016) | 103 |
| 13 | New ways of thinking in Petroleum Geology: Improved Oil Recovery vs. Enhanced Oil Recovery (Feb 2019) PowerPoint | 96 |
| 14 | Инновационные нанотехнологии для повышения эффективности управления нефтегазодобычей (Jul 2014) | 91 |
| 15 | Новые концепции в нефтегазовой науке и практике XXI века известного геолога Н.П. Запивалова (к 88-летию) Preprint (Jul 2019) | 86 |
| 16 | Energy Sources: Present and Future (Feb 2020) | 81 |
| 17 | Фундаментальные основы нефтегазовой геологии. Современные аспекты (Jul 2020) Neftegaz.RU, 2020, №7 | 76 |
| 18 | Oil and gas of Russia for India: Opportunities and a reality (June 2007) | 75 |
| 19 | Improved oil recovery: innovative technologies (Jul 2014) | 70 |
| 20 | Приоритетность трудноизвлекаемой нефти (Sep 2014) | 65 |
| 21 | Innovative technologies for oilfield exploration and development: worldwide examples (Jul 2014) | 57 |
| 23 | Petroleum Geology and Geophysics in the 21 st Century. Book (Jun 2014), Technology publications: Technical books publishers and contributors | 54 |
| ...79 | | |