

НЕФТЕГАЗОВАЯ НАУКА И ПРАКТИКА XXI ВЕКА: НОВЫЕ ИДЕИ И ПАРАДИГМЫ

Н.П. Запивалов

Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск

ВВЕДЕНИЕ. НОВЫЕ ПОДХОДЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ

В нефтегеологической науке XXI в. преобладают идеи современной нелинейной динамики с ее концепциями хаоса и самоорганизации. Установлено, что углеводороды имеются во всех слоях земной коры, а также предполагаются в космосе. Имеется много различных достаточно авторитетных точек зрения на генезис углеводородов [Молчанов, Гонцов, 1992; Баренбаум, 2014].

Многолетний опыт работы в нефтегазовой геологии привел автора к выводу об ограниченной применимости классической органической гипотезы, хотя именно он впервые в Западной Сибири в 1958 г. на основе изучения опорных скважин в марьяновской (впоследствии переименованной в баженовскую) свите (верхняя юра) выделил нефтематеринскую толщу (геохимическая пачка А). Этому была посвящена кандидатская диссертация. Но сейчас у автора другая парадигма, не предполагающая приверженности к какой-либо одной концепции генезиса нефти.

Создать общую теорию нефтидогенеза, пригодную для любых геологических условий, видимо, невозможно. Выделение региональных нефтематеринских толщ в качестве единого и обязательного источника нефтегазообразования является некорректным. А. Леворсен еще в прошлом веке пришел к выводу, что нефтематеринские толщи никакого отношения к практике поисково-разведочных работ не имеют. Он утверждал: «Проблема происхождения нефти и газа теряет в какой-то мере свое значение в качестве обязательной предпосылки для постановки поисковых работ. Причиной является то, что нефть и нефтеподобные УВ обнаружены почти во всех неколлекторских породах. Количество остаточной нефти (микронепти), находящейся в рассеянном состоянии в этих породах, превышает все разведанные запасы нефти и газа на земном шаре. Следовательно, нет необходимости искать особые материнские породы» [Леворсен, 1970, с. 488].

Надо признать и то, что различные виды палеореконструкций по существу являются виртуальными и вряд ли могут считаться уверенными ориентирами для выбора благоприятных нефтегазовых объектов, поскольку любая флюидопородная система подвергается вторичным, наложенным процессам. Особенно важно учитывать метасоматоз. Поэтому мы имеем дело с молодыми залежами и современными фильтрационно-емкостными параметрами пласта; их преобразование может быть очень быстротечным. Принципы возрастной аналогии и методика расчетов категорийных запасов по эталонам не отвечают требованиям достоверности решения нефтегеологических задач. Н.А. Еременко и Дж. Чилингар [Еременко, Чилингар, 1996] утверждали, что в очень короткое геологическое время коллектор может стать крышкой, а крышка – коллектором. Скопления нефти и газа обнаружены во всех типах пород и во всех стратиграфических горизонтах на суше и в акваториях. По существу, наша планета является единым нефтяным полигоном.

Мифы о «пике нефти» [Hubbert, 1956] опровергнуты новыми доказательствами и фактами [Klare, 2014; Yergin, 2011]. Месторождения углеводородов могут быть открыты в самых неожиданных местах и условиях. Темпы и объемы добычи нефти и газа, а также цены зависят от различных природных, техногенных и рыночных флуктуаций, включая многие геополитические факторы. Но век углеводородной цивилизации никогда не закончится. Это подтверждается наличием и открытием новых разнообразных источников углеводородов (традиционных и нетрадиционных), а также созданием инновационных методов и техноло-

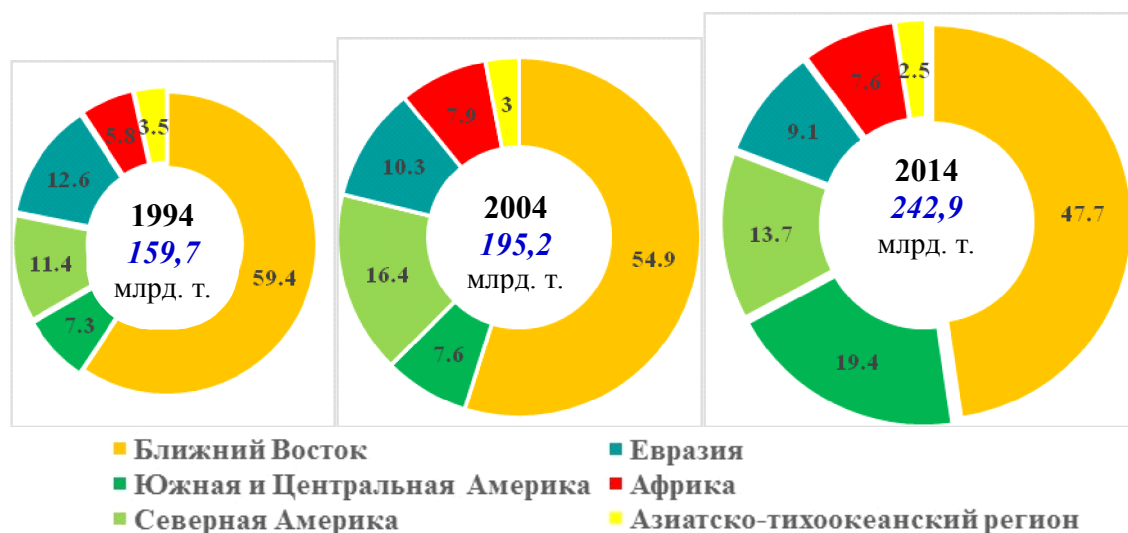


Рис. 1. Распределение доказанных запасов нефти в мире в 1994, 2004 и 2014 гг.
(в %, по данным BP Statistical Review of World Energy, 2015).

гий их добычи и утилизации. Это убедительно демонстрируют следующие графические материалы: динамика доказанных запасов нефти за последние 20 лет (рис. 1), динамика добычи нефти в течение всего обозримого периода человеческой деятельности (рис. 2), а также динамика потребления нефти в мире (рис. 3). 70 стран в мире имеют разведанные

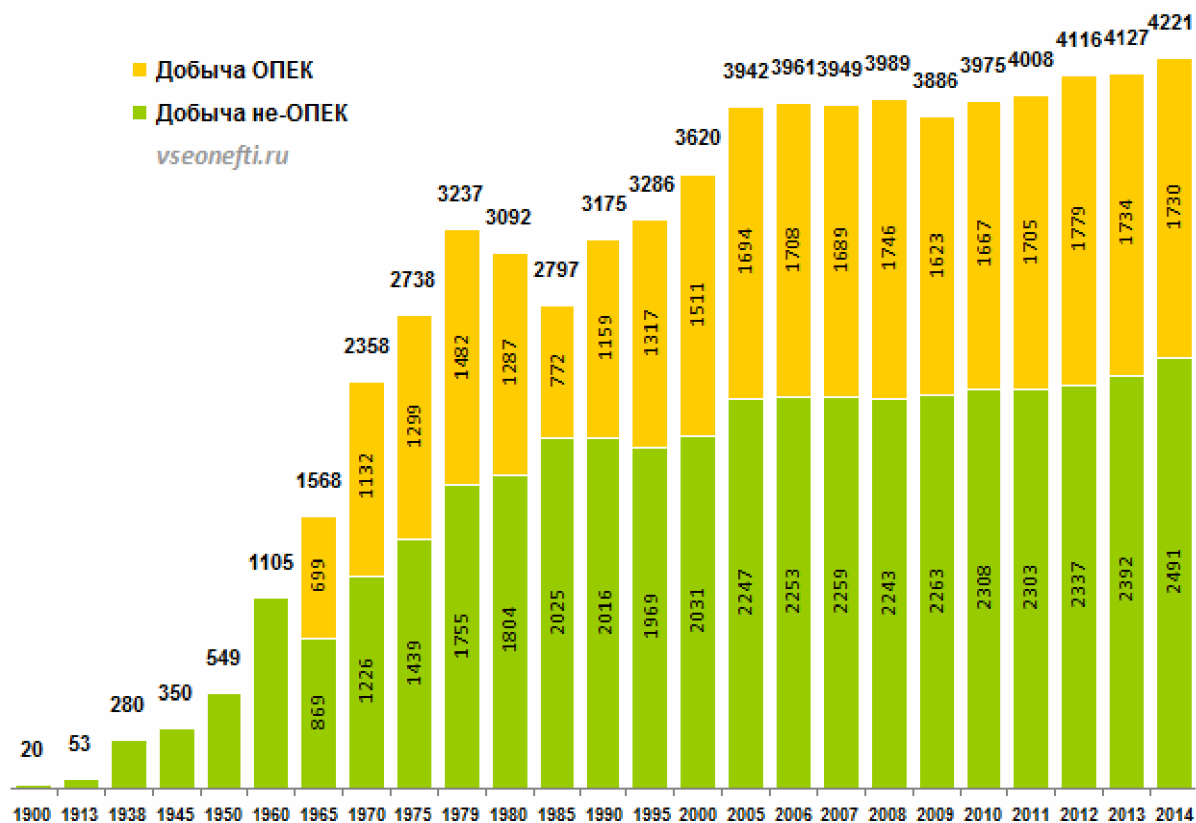
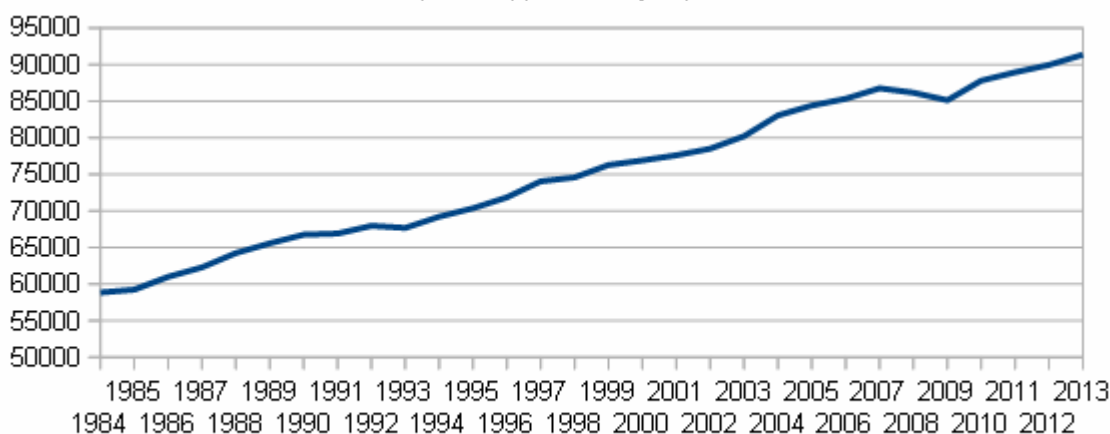


Рис. 2. Динамика добычи нефти в мире.
(в млн т, по данным BP Statistical Review of World Energy, 2015).



ИСТОЧНИК: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY

Рис. 3. Динамика потребления нефти в мире.

(в тыс. баррелей в сутки, по данным BP Statistical Review of World Energy, 2015).

запасы нефти, более 65 стран осуществляют добычу нефти, и практически все государства мира в той или иной степени используют углеводородное сырье для различных целей. Ясно, что углеводородных ресурсов в земных недрах много, но требуется разумное (научное) использование этих крайне важных для человечества богатств. Русский поэт XIX века А.К. Толстой писал: «Земля наша богата, порядка только нет».

Надо признать, что в России тоже постоянно увеличивается добыча нефти, за исключением периода перестройки и смены общественно-политической формации (1989-2001 гг.) (рис. 4).

ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОБЩЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Нефтегазонасыщенный пласт представляет собой целостную взаимосвязанную систему: породы (минералы) + флюиды (нефть, газ, вода). Залежь нефти – это «живая» флюидопородная система, поэтому ее жизнь подчиняется законам спонтанной саморегуляции. Следует сосредоточить научную мысль и практические усилия на изучении и управлении

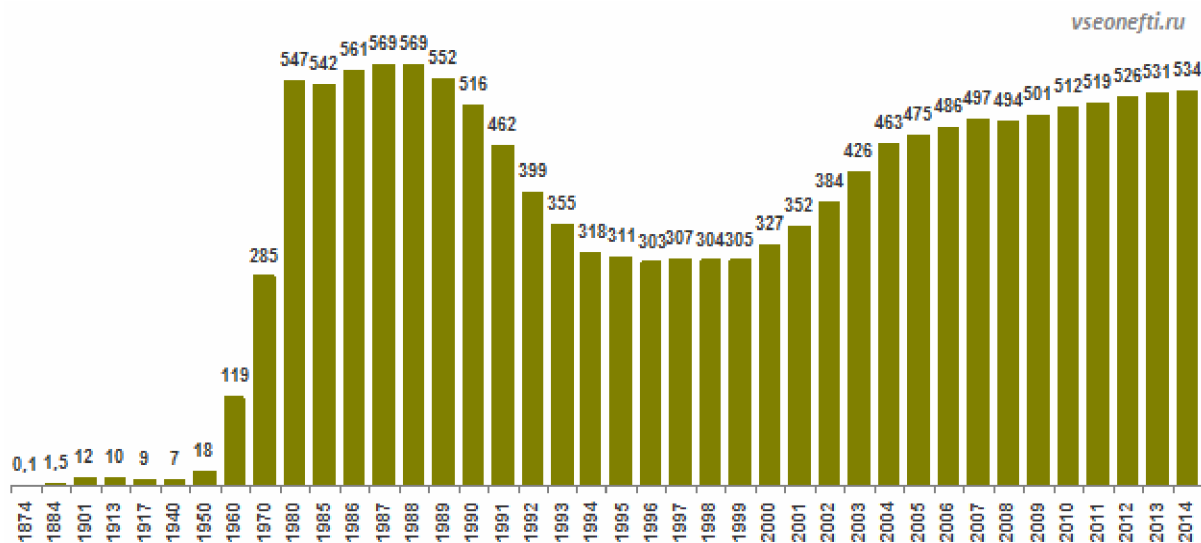


Рис. 4. Динамика добычи нефти в России.

(в млн т, по данным сайта «Все о нефти» <http://vseonefti.ru/>).

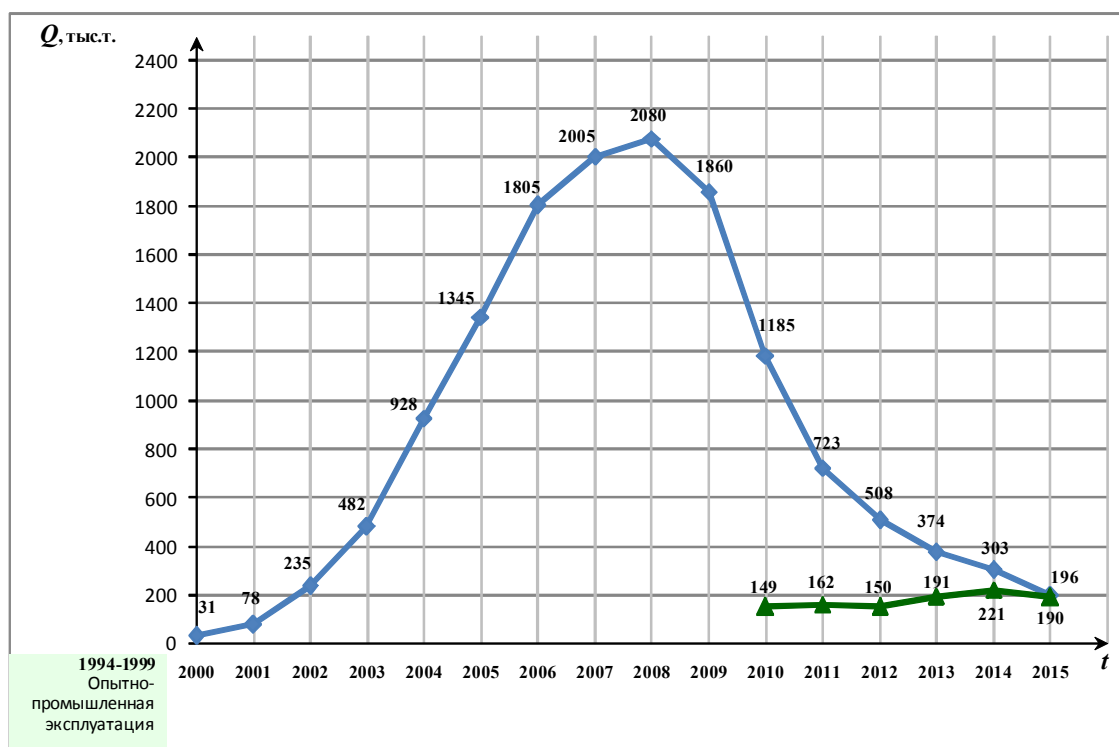


Рис. 5. Динамика добычи нефти на Верх-Тарском месторождении по годам.

Суммарная добыча на 1.01.2015 составила 14 млн 46 тыс. т. Геологические запасы 52 млн т. Зеленым показана начавшаяся позднее добыча нефти на Малоичском месторождении из палеозоя. В 2015 г. добыча снизилась по сравнению с 2014 г. на 26 %.

«жизнью» месторождений. Необходимо учитывать, что эта «жизнь» зависит от многих градиентных факторов в быстротечном режиме. Залежь нефти может сформироваться, расформироваться и вновь образоваться. Поэтому многие скопления нефти и газа являются молодыми. Промысловые исследования и наблюдения во многих регионах позволили установить, что критическим порогом устойчивого состояния флюидонасыщенной системы в процессе разработки месторождения является величина депрессии на пласт 5–8 МПа [Запивалов, Попов, 2003; Запивалов, 2012]. Это значение является практически универсальным и применимо для всех типов коллекторов. Флюидодинамические системы (залежи, месторождения) являются по многим параметрам очаговыми, вероятнее всего, фрактальными объектами с неравномерной продуктивностью [Запивалов и др., 2009].

Примером нарушения естественных природных процессов является Верх-Тарское месторождение, которое было уничтожено за 10 лет ускоренной выработки активных запасов за счет завышенных темпов добычи и неумеренного применения ГРП и заводнения [Запивалов, 2009] (рис. 5). Автор в течение многих лет предлагает создать на основе этого уникального района, где есть нефть в песчаниках мезозоя (Верх-Тарское), карбонатных породах палеозоя (Малоичское) и даже в гранитах Межовского массива, научно-технологический и образовательный федеральный полигон для натуральных исследований, апробации новых и тиражирования инновационных технологий по всему спектру нефтегазового производства, но активной поддержки пока не получил. Именно Верх-Тарское месторождение нуждается в щадящей технологической реабилитации, поскольку природная реабилитация может оказаться очень длительной. Есть методы и предложения, но недропользователь не готов.

Будем ждать восполнения запасов и новой жизни этого многострадального месторождения. Автор как первооткрыватель очень надеется.

Уравнение состояния флюидонасыщенной системы. В первом приближении динамика состояний углеводородных месторождений может описываться эволюционным уравнением вида

$$dp/dt = Z(p, a, t)$$

где $p = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ – выбранный набор динамических величин, характеризующих состояние системы; $a = (a_1, a_2, \dots, a_l)$ – набор параметров системы; t – временная переменная; Z – оператор, скорее всего, нелинейный, действующий на p и универсальный для всех (или для достаточно представительного класса) месторождений, который должен быть определен на основании эмпирических закономерностей развития углеводородных скоплений.

Такой вид имеют уравнения динамики механических систем, жидкостей и газов, классических физических полей, атомных систем, галактик и пр. Во всех перечисленных областях уравнения такого вида являются основой успешного исследования самых сложных процессов и явлений.

Наиболее эффективным представляется построение натуральных флюидодинамических моделей на основе фактических данных, отраженных в уравнениях переноса и баланса углеводородных масс и сопутствующих компонентов. Это особенно важно для подтверждения закона о критическом пороге состояния нефтегазонасыщенных систем, эмпирически равному 5–8 МПа депрессии на пласт, и оценки очаговой подпитки месторождений.

О НЕРЕШЕННЫХ ЗАДАЧАХ

Все еще остается нераскрытой «тайна» большой нефти в глубинном комплексе Западной Сибири (палеозой и докембрий), в том числе в погребенных гранитах [Айзберг и др., 2003]. Много творческих усилий и практических дел автор посвятил именно этой проблеме. Этот марафон длится уже более 50 лет. Препятствием является геологическая неопределенность классического термина «фундамент». А.А. Трофимук называл палеозой «золотой подложкой Западной Сибири».

Задача скорейшего масштабного промышленного освоения сугубо прогнозных нефтегазовых ресурсов российских арктических акваторий имеет непреодолимые трудности в обозримой перспективе XXI в. Геологи могут решить некоторые геополитические задачи, но не более того. Между тем, огромная заполярная сухопутная территория Западной Сибири – это совсем другая, почти решенная задача.

О баженигах и сланцевой нефти Западной Сибири можно складывать легенды и даже достигать некоторых успехов, но главного нефтяного дыхания, видимо, не получить. По данным исследований [Рихванов и др., 2015], отложения баженовской свиты по своей геохимической специализации относятся к формации металлоносных черных сланцев; баженовская свита, по сравнению со средними данными для черных сланцев мира, более чем в 3 раза обогащена U, Zn, Sr, Ba и в 1,5 раза – As, Co и Tb. Содержание урана в породах колеблется от 2 до 171 г/т, при среднем его содержании в 40,9 г/т. Ориентировочно можно оценивать ресурсы этого металла в исследуемом районе на уровне 3 млрд т.

Встает, возможно, не праздный вопрос: может быть, из Западно-Сибирских баженигов добывать уран и другие металлы, хотя бы в отдельных перспективных районах (может быть, вместе с нефтью)?

ОБСУЖДЕНИЕ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ВЫВОДЫ

В настоящее время в мире повсеместно осуществляется форсированная коммерческая добыча легкоизвлекаемой нефти всеми доступными сверхинтенсивными методами. Остаточная нефть (запасы) к настоящему моменту составляет 55–70 %. Чтобы добывать эту остаточную (трудноизвлекаемую) нефть из продуктивных пластов, нужны принципиально

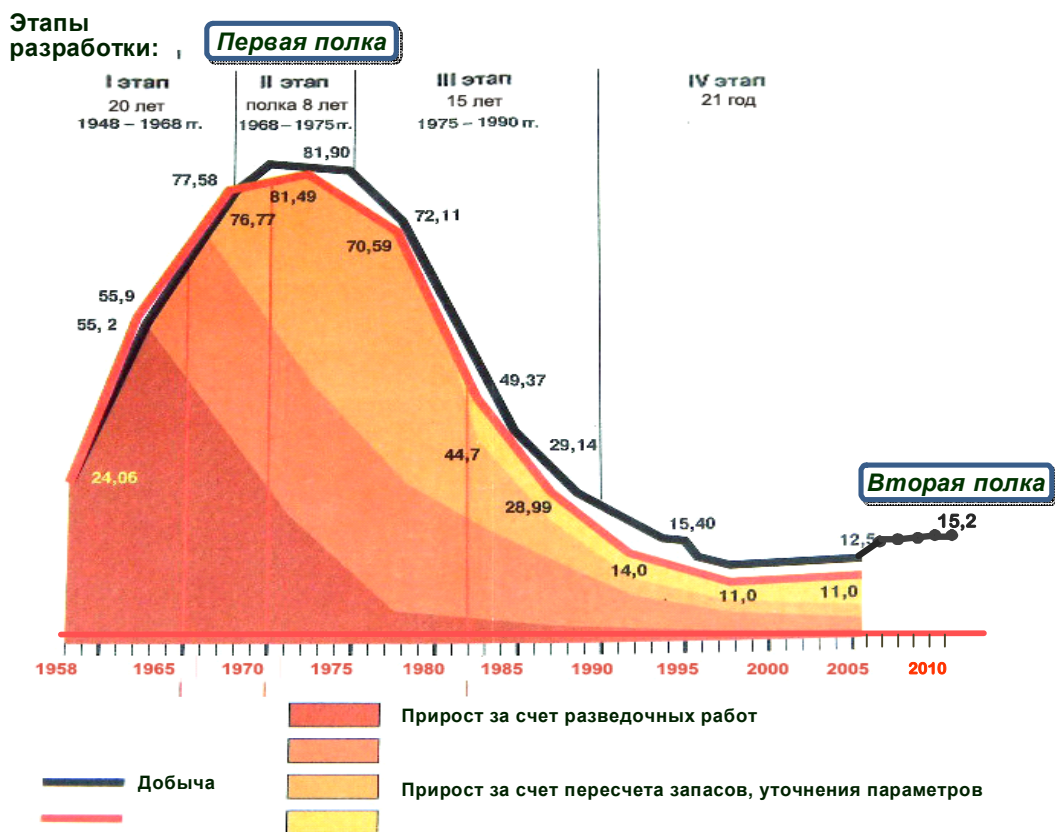


Рис. 6. График «жизни» Ромашкинского месторождения.

Добыча и прирост запасов нефти - в млн т.

новые идеи и технологии. Большой интерес и очевидные перспективы представляют прорывные нанотехнологии в нефтегазовой геологии [Запивалов, 2012; Хавкин, 2015].

В научных исследованиях, в прогнозах, поисках, разведке и разработке месторождений следует ориентироваться на установление зон (очагов) с активным градиентным флюидным режимом в каждый отдельный момент времени. Методов и технологий таких инновационных процедур сейчас достаточно, включая высотные и космические съемки. Рекомендуются, например, методика ДФМ [Писецкий, 2011] и технология спектрального анализа микросейсм (SAM) [Ведерников, 2012]. Эти технологии позволяют четко выявлять высокопродуктивные очаги в процессе разведки и разработки месторождений.

В процессе освоения нефтегазовых месторождений, особенно в период их активной (форсированной) разработки, необходимо применять реабилитационные циклы, способствующие быстрому восстановлению энергии пласта и фильтрационных свойств, а также **образованию новых объемов углеводородных масс**. В итоге это обеспечит длительную жизнедеятельность объекта, высокую конечную нефтеотдачу, соблюдение экологических стандартов, а также существенную экономию труда и капитала.

Активные процессы современной очаговой подпитки углеводородных скоплений и соответствующее увеличение запасов, безусловно, представляют научный и практический интерес, определяя направление нанотехнологической нефтегазовой революции. Наглядным и убедительным примером очаговой подпитки углеводородных скоплений может служить Ромашкинское месторождение (Татарстан) (рис. 6).

По оценке академика АН РТ Муслимова Р.Х., на Ромашкинском месторождении ежегодно происходит восполнение около 3 млн. тонн нефти. По его мнению, завершающая стадия разработки месторождений может длиться сотни лет [Иктисанов, 2015; Муслимов,

2007]. Подпитка отдельных зон и очагов на многих разрабатываемых месторождениях и образование новых объемов углеводородов является доказанным фактом.

Многие скважины месторождения по разным причинам подлежат ликвидации. Необходимо временная консервация этих скважин для осуществления реабилитационных циклов [Запивалов, 2015; Беднаржевский и др., 2015] с возможной подпиткой, после чего станет возможна их повторная эксплуатация. Эта идея подтверждена фактами, приведенными в недавней статье И.А. Дьячука [Дьячук, 2015]. Однако переформирование залежей по принципу капиллярно-гравитационной сегрегации представляет упрощенный вариант. Природные процессы намного сложнее.

Особый интерес представляют доломиты в карбонатных толщах, образованные за счет позднего метасоматоза. Наноразмерные метасоматические процессы увеличивают не только пористость, но и проницаемость, способствуют образованию хороших и часто высокодебитных карбонатных коллекторов. Можно инициировать ускоренный техногенный процесс метасоматической доломитизации и создавать или обновлять высокопродуктивные очаги на месторождении [Запивалов, 2009, 2014; Поспелов, 1973]. В принципе, внедрение в науку и практику нанотехнологических подходов крайне необходимо [Запивалов, 2010].

Необходимо в различных нефтегазовых районах организовать научно-технологические полигоны, аналогичные полигону GBRN (Global Basin Research Network) у побережья Луизианы, где расположено гигантское месторождение Мексиканского залива «Юджин Айленд». Если это слишком затратно или трудно по каким-либо другим причинам, то нужно иметь хотя бы по одной научно-исследовательской скважине на каждом работающем месторождении. Нужны постоянные наблюдения в непрерывном режиме за изменениями в самом флюидонасыщенном пласте.

Омар Хайям утверждал: «Чтобы избежать одной ошибки, надо сделать тысячу наблюдений и тысячу измерений».

Можно напомнить, что в Кольской сверхглубокой скважине (12 262 метра) многие априорные геологические и геофизические модели оказались неподтвержденными.

Разнообразные виртуальные модели (геохимические, сейсмические, математические и др.) не могут достоверно отражать динамику жизни месторождения. Известный специалист по математической статистике профессор Джордж И.П. Бокс писал: «В сущности, все модели неправильны, но некоторые из них бывают полезными» («All models are wrong but some are useful») [Box, Draper, 1987]. Это же четко показал Сяо-Хаи Ву (старший консультант по вопросам моделирования и применения компьютерных технологий в науках о Земле Научно-исследовательской компании в области разведки и добычи Exxon Mobil) в своей работе «Как прогнозировать производительность пласта в условиях геологической неопределенности в нескольких масштабах?». Он утверждает: «Снизить источник неопределенности можно, сократив числовые ошибки и ошибки моделирования на основе выборочных данных» [Xiao-Hui Wu, 2015].

Геофлюидодинамический мониторинг земных глубин резко отстает от космического мониторинга. Это отставание может оказаться фатальным для цивилизации! Нефтяная судьба России может иметь многообещающее продолжение, которое зависит от многих факторов, включая степень вовлеченности фундаментальной науки.

Рекомендации для практической реализации в ближайшей перспективе XXI века. В настоящее время следует сосредоточиться на рациональной разработке действующих месторождений с целью шадящей выработки остаточной (трудноизвлекаемой) нефти (Improved Oil Recovery), а также на обнаружении новых, в том числе вторичных, углеводородных скоплений по всему стратиграфическому разрезу (включая глубинные горизонты и различные породно-флюидные ассоциации) в районах с развитой многоплановой инфраструктурой. Если этого не сделать, то огромные массы утвержденных остаточных запасов нефти останутся в недрах Западной Сибири до следующих «новых» открытий уже ранее открытой нефти.

Для решения всех этих и многих других проблем нужен весь могущественный потенциал российской науки. Недропользование должно быть научным.

Литература

Айзберг Р.Е., Гарецкий Р.Г., Запивалов Н.П. и др. Проблемы нефтегазоносности верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири. – Минск: БЕЛГЕО, 2003. – 360 с.

Баренбаум А.А. Научная революция в проблеме происхождения нефти и газа. Новая нефтегазовая парадигма // Георесурсы, 2014, № 4(59), с. 3–9.

Беднаржевский С.С., Запивалов Н.П., Смирнов Г.И. Реабилитационные циклы нелинейной динамики нефтегазовых месторождений как основа повышения их продуктивности // Наука и бизнес: пути развития, 2015, № 4 (46), с. 27–31.

Ведерников Г.В. Прогноз залежей углеводородов по характеристикам микросейсм. – Новосибирск: Изд-во «Свинын и сыновья», 2012. – 202 с.

Дьячук И.А. К вопросу переформирования нефтяных месторождений и пластов // Георесурсы, 2015, № 1 (60), с. 39–45.

Еременко Н.А., Чилингар Г.В. Геология нефти и газа на рубеже веков. – М.: Наука, 1996. – 176 с.

Запивалов Н.П. Метасоматическая доломитизация и нефтегазоносность карбонатных пород (наноэффекты образования вторичных высокопродуктивных коллекторов) // Наука и технологии в России, 2009, т. 88, № 2, с. 31–39.

Запивалов Н.П. Новосибирская нефть-2010 как зеркало российской «нефтянки» // Эко: всероссийский экономический журнал, 2010, № 9, с. 31–49.

Запивалов Н.П. Динамика жизни нефтяного месторождения // Известия Томского политехнического университета, 2012, т. 321, № 1, с. 206–211.

Запивалов Н.П. Инновационные технологии в разведке и разработке нефтегазовых месторождений на основе новой геологической парадигмы // Георесурсы, 2014, № 1 (56), с. 23–28.

Запивалов Н.П. Пять неотложных мер нефтедобычи Западной Сибири // Эко: всероссийский экономический журнал, 2015, № 5, с. 111–117.

Запивалов Н.П., Попов И.П. Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. – Новосибирск: Гео, 2003. – 198 с.

Запивалов Н.П., Смирнов Г.И., Харитонов В.И. Фракталы и наноструктуры в нефтегазовой геологии и геофизике. – Новосибирск: ГЕО, 2009. – 131 с.

Иктисанов В.А. Основные загадки нефти // 25 лет РАЕН: Сборник статей. Секция нефти и газа. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – С. 186–191.

Леворсен А. Геология нефти и газа. – М., Мир, 1970. Серия «Науки о земле», т. 22. — 638 с.

Молчанов В.И., Гонцов А.А. Моделирование нефтегазообразования. – Новосибирск: ОИ ГГМ, 1992. – 246 с.

Муслимов Р.Х. Новый взгляд на перспективы развития супергигантского Ромашкинского месторождения // Геология нефти и газа, 2007, № 1, с. 3–12.

Писецкий В.Б. Прогноз флюидодинамических параметров бассейна по сейсмическим данным. – Екатеринбург: УГГГА, 2011. – 10 с.

Поспелов Г.Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. – Новосибирск: Наука СО, 1973. – 356 с.

Рихванов Л.П., Усольцев Д.Г., Ильенок С.С., Ежова А.В. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований // Известия Томского политехнического университета, 2015, т. 326, № 1, с. 50–63.

Хавкин А.Я. Актуальные стратегические задачи нефтедобычи // 25 лет РАЕН: Сборник статей. Секция нефти и газа. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – С. 11-21.

Box G.E.P., Draper N.R. Empirical model building and response surfaces.–New York: John Wiley & Sons, 1987. – 424 p.

Hubbert K.M. Nuclear energy and the fossil fuels // Drilling and Production Practice: Proceedings of American Petroleum Institute Spring Meeting. – Houston, Texas, 1956. – p. 7-25.

Klare M. Peak oil is dead // Oil and Maritime, 2014, June, p. 36–38.

Xiao-Hui Wu. How to predict reservoir performance with subsurface uncertainty at multiple scales? - Society of Petroleum Engineers: Distinguished Lecturer Program, 2015. – Lecture.

Yergin D. There will be oil // The Wall Street Journal, 2011, September 17.