

UDC 553.982.2 + 504.062.2

PETROLEUM GEOLOGY: SCIENCE AND PRACTICE IN THE 21st CENTURY. NEW IDEAS AND PARADIGMS

Nikolay P. Zapivalov, chief scientist at the Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the SB RAS, prof. at Novosibirsk State University, Koptyuga Av., 3, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

The current importance of the paper is determined by the vital necessity that research and practical efforts should be now focused on studying and controlling the oilfield «life», based on conceptually new ideas and methods in petroleum geology.

The aim of the article. To outline new trends and approaches in the development of petroleum geology. To substantiate the use of rehabilitation cycles in the process of developing an oilfield, and especially at its active (forced) stage. To define the perturbation threshold for state equilibrium of a fluid-saturated system. To propose a method for simulating dynamics of a hydrocarbon deposit.

Methods used in the study. The author uses a wide range of methodic approaches and techniques, including his own well studies (drill samples, geophysical well logging data, pressure recovery curve, etc.) as well as long-term observations and generalizations of primary sources and materials on a great number of petroleum provinces in the world and especially in West Siberia.

Results. The use of rehabilitation cycles in the process of developing an oilfield is substantiated. An empirical estimation is given of the value of critical perturbation for state equilibrium of a fluid-saturated system in the process of developing an oilfield, equal to formation depression of 5–8 MPa. A method for simulating oilfield dynamics is suggested and the use of an evolutionary equation $\frac{\partial p}{\partial t} = Z(p, \alpha, t)$ is justified. A method is proposed to create or renew highly-productive foci at an oilfield through technogenic initiation of an accelerated metasomatic dolomitisation in carbonate reservoirs. Innovative conceptions and approaches are suggested for the further development of petroleum science. The author's opinion is that at present efforts should be focused on the efficient well-targeted development of the active oilfields in order to provide for the production of the residual (hard-to-extract) oil in a soft, sparing and non-damaging way (Improved Oil Recovery) as well as on discovering new hydrocarbon accumulations, including secondary ones, throughout the whole stratigraphic section, with all depth horizons and various rock-fluid associations, in regions where a well-developed diversified infrastructure is already available. The use of rehabilitation cycles will make it possible to restore the energy potential of the stratum and filtration properties of the rock. In the long run, it will provide for an increased longevity of the object and higher final oil recovery. The urgent demand for constant real-time monitoring of the current changes inside the fluid-saturated stratum makes it extremely desirable to create research-and-development polygons in various petroleum regions.

Key words:

Origin of petroleum, «life» of an oilfield, rehabilitation cycles, residual oil, metasomatism.

УДК 553.982.2 + 504.062.2

НЕФТЕГАЗОВАЯ НАУКА И ПРАКТИКА XXI ВЕКА: НОВЫЕ ИДЕИ И ПАРАДИГМЫ

Запывалов Николай Петрович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, профессор

Новосибирского государственного университета, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3. E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

Актуальность работы определяется необходимостью сосредоточить научную мысль и практические усилия на изучении и управлении «жизнью» месторождений на основе принципиально новых концепций в нефтегазовой геологии, что особенно важно для высшего профессионального образования.

Цель работы: обозначить новые тенденции и подходы в развитии нефтегазовой геологии; обосновать применение реабилитационных циклов в процессе освоения нефтегазовых месторождений, особенно в период их активной (форсированной) разработки; установить порог устойчивости состояния флюидонасыщенных систем; предложить метод моделирования динамики нефтегазовых месторождений.

Методы исследования. Автор применяет широкий спектр методических приемов, включая собственные исследования на скважинах (керн, ГИС, КВД и т. д.) и многолетние наблюдения и обобщения первичных источников и материалов по многим нефтегазоносным провинциям мира, особенно Западной Сибири.

Результаты. Обосновано применение реабилитационных циклов в процессе освоения нефтегазовых месторождений. Дана эмпирическая оценка значения критического порога устойчивого состояния флюидонасыщенной системы в процессе разработки месторождения, равного величине депрессии на пласт 5–8 МПа. Предложен и обоснован метод моделирования динамики состояний углеводородных месторождений с помощью эволюционного уравнения вида $\frac{\partial p}{\partial t} = Z(p, a, t)$. Предложен метод техногенного инициирования ускоренного процесса метасоматической доломитизации в карбонатных коллекторах, направленный на создание или обновление высокопродуктивных очагов на месторождении.

Предлагаются инновационные концепции, идеи и подходы для дальнейшего развития научной мысли в нефтегазовой сфере. Автор считает, что 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. Применение реабилитационных циклов позволит обеспечить быстрое восстановление энергии пласта и фильтрационных свойств. В итоге это повысит длительность эксплуатации объекта и конечную нефтеотдачу. Необходимость постоянных наблюдений в непрерывном режиме за изменениями в самом флюидонасыщенном пласте определяет острую потребность в создании научно-технологических полигонов в различных нефтегазовых районах.

Ключевые слова:

Генезис нефти, «жизнь» месторождения, реабилитационные циклы, остаточная нефть, метасоматоз.

Making the next giant leap in Petroleum Geosciences!

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 [1–2].

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 какой-либо одной концепции генезиса нефти.

Создать общую теорию нафтидогенеза, 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 (микронефти), находящейся в рассеянном состоянии в этих породах, превышает все разведанные запасы нефти и газа на земном шаре. Следовательно, нет необходимости искать особые материнские породы» [3, с. 488].

Надо признать и то, что различные виды палеореконокструкций 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 [4] 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» [5] опровергнуты новыми доказательствами и фактами [6–7]. 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 технологий 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 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».

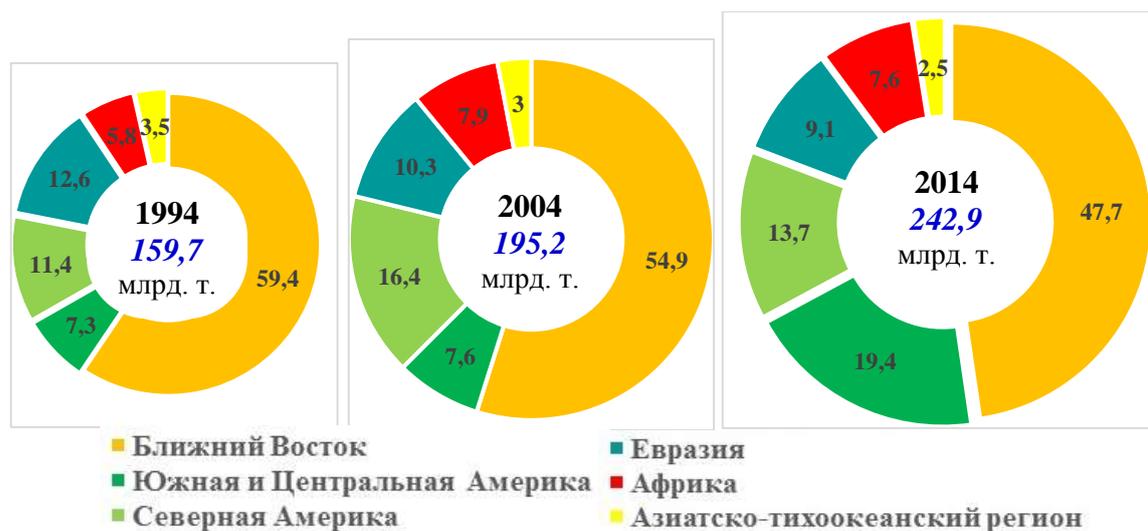


Рис. 1. Распределение доказанных запасов нефти в мире в 1994, 2004 и 2014 гг., % (по данным BP Statistical Review of World Energy 2015).

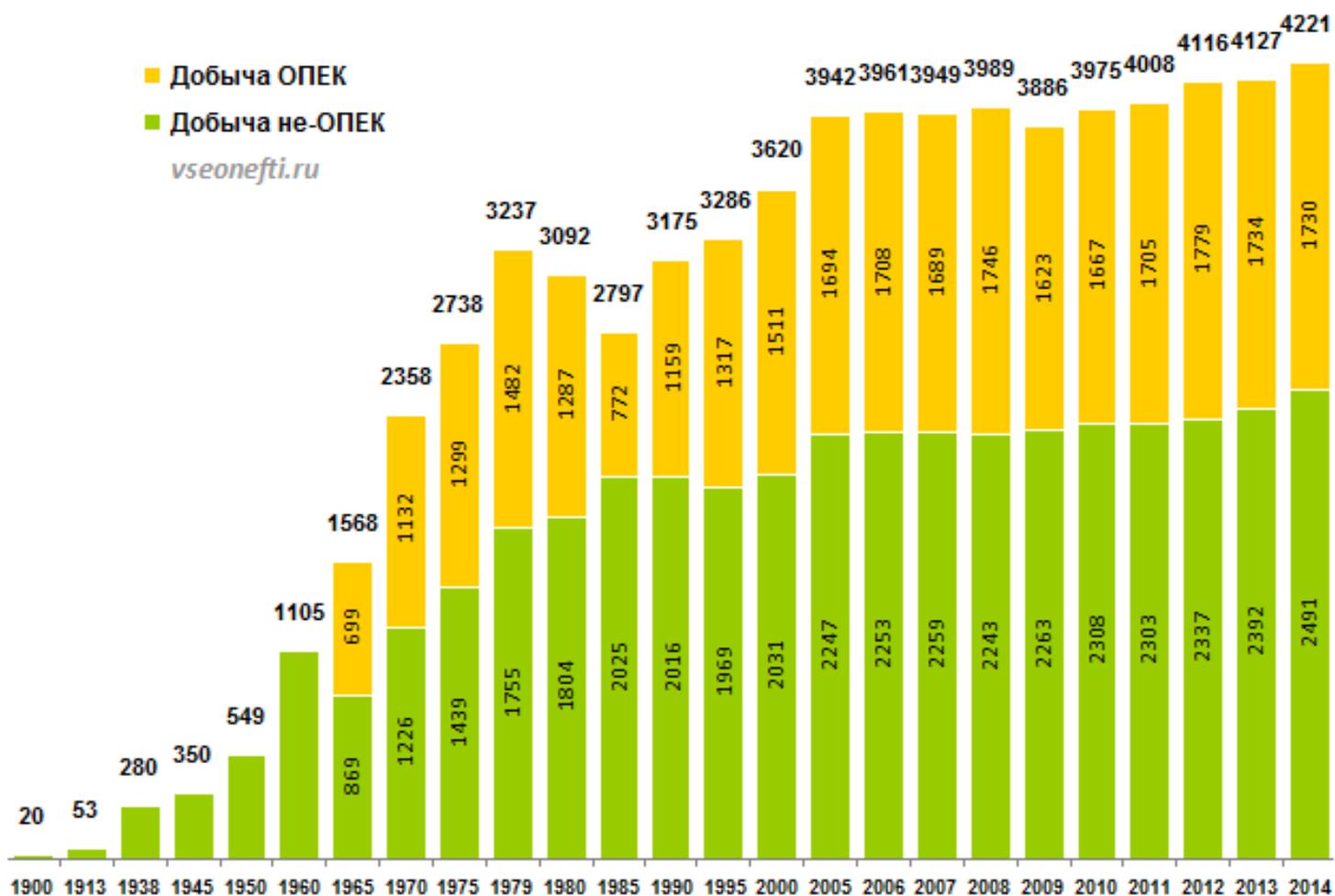


Рис. 2. Динамика добычи нефти в мире, млн. т. (по данным BP Statistical Review of World Energy 2015)



Рис. 3. Динамика потребления нефти в мире, тыс. баррелей в сутки (1 тонна = 7 баррелей) (по данным BP Statistical Review of World Energy 2015).

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

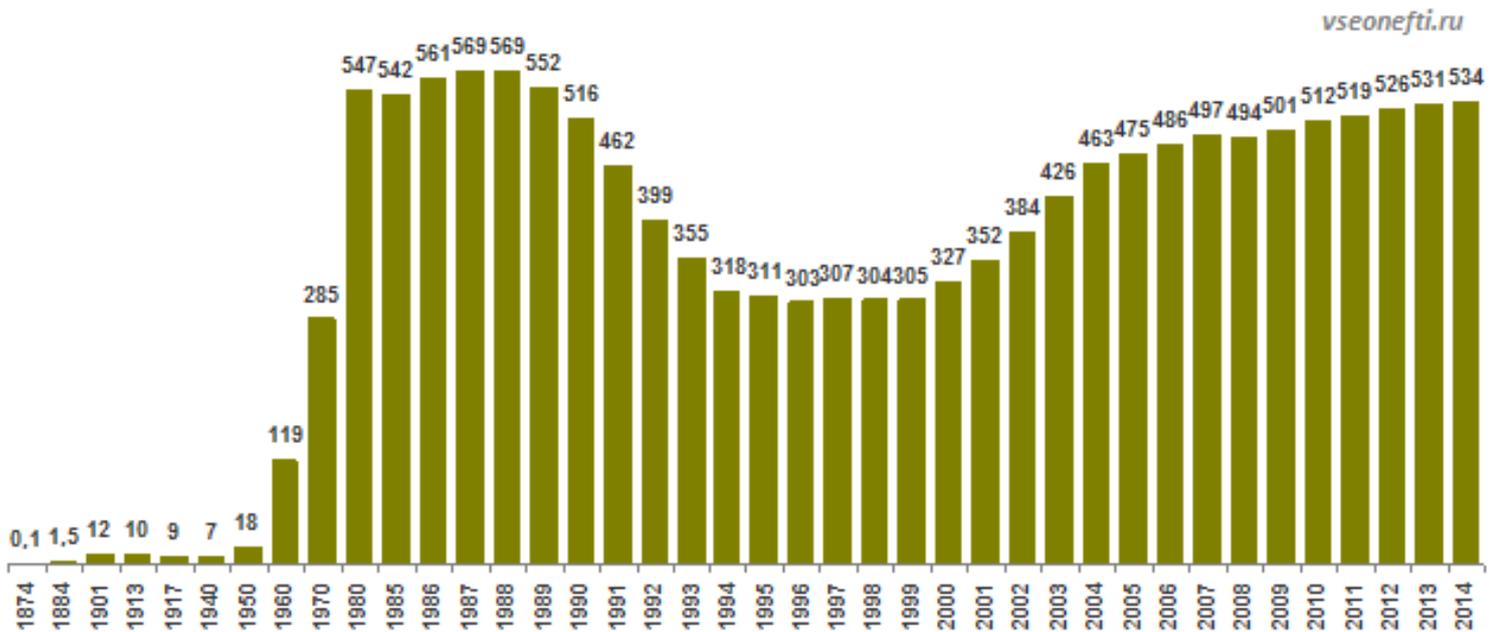


Рис. 4. Динамика добычи нефти в России, млн. т. (по данным сайта «Все о нефти» <http://vseonefti.ru/>)

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 «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 [8, 9]. 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 [10].

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 [11] (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 натурных исследований, апробации новых и тиражирования инновационных технологий по всему спектру нефтегазового производства, но активной поддержки пока не получил.

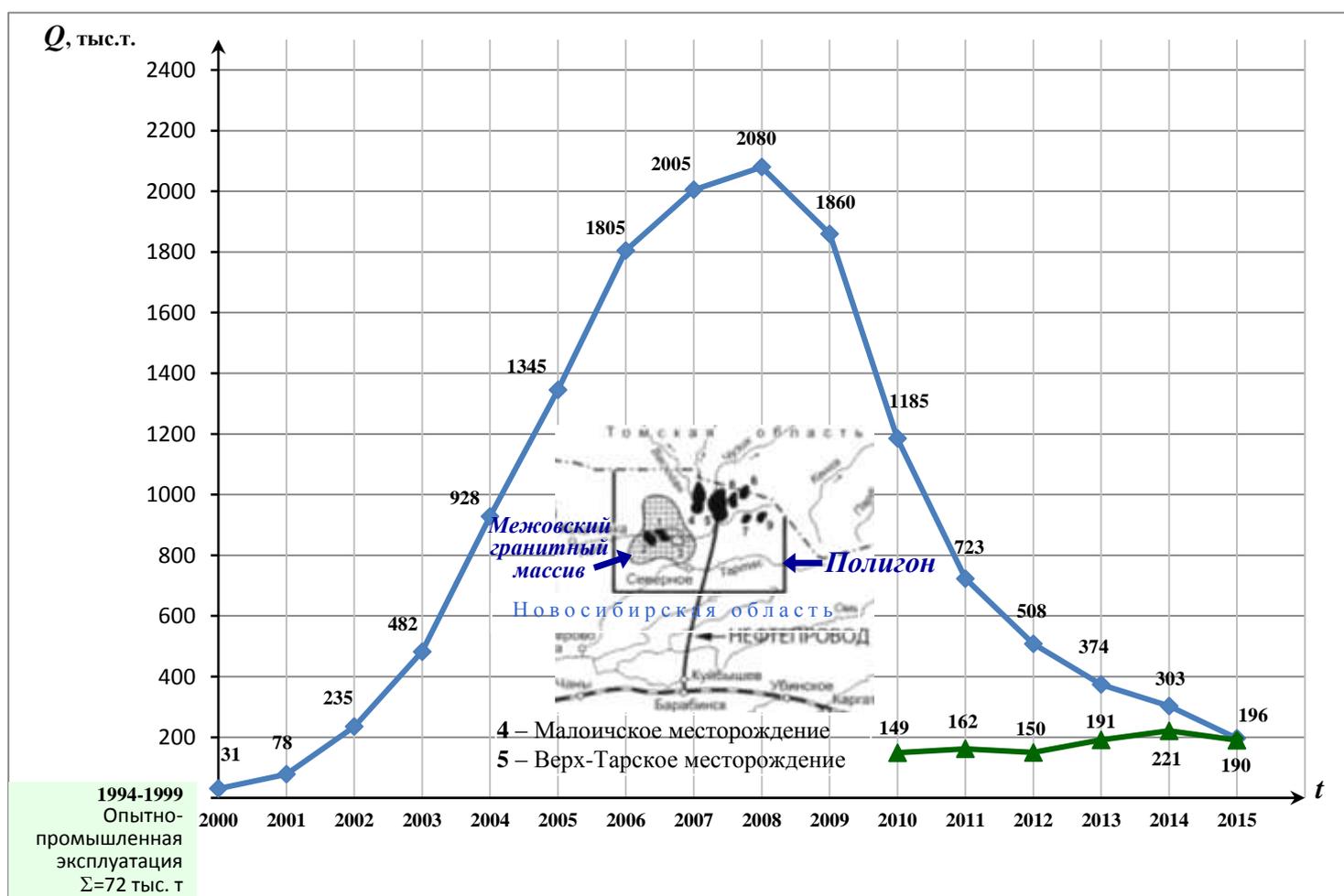


Рис. 5. Динамика добычи нефти на Верх-Тарском месторождении по годам. Суммарная добыча на 1.01.2015 составила **14 млн 46 тыс тонн**. Геологические запасы **52 млн тонн**. Зеленым показана начавшаяся позднее добыча нефти на Малоичском месторождении из палеозоя. В 2015 г. добыча снизилась по сравнению с 2014 г. на 26%.

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

$$\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} = Z(\mathbf{p}, \mathbf{a}, t),$$

где $\mathbf{p}=(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – выбранный набор динамических величин, характеризующих состояние системы; $\mathbf{a}=(a_1, a_2, \dots, a_l)$ – набор параметров системы; t – временная переменная; Z – оператор, скорее всего, нелинейный, действующий на \mathbf{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 [12]. 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 баженидах и сланцевой нефти Западной Сибири можно складывать легенды и даже достигать некоторых успехов, но главного нефтяного дыхания, видимо, не получить. По данным исследований [13], 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 баженитов 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 легко извлекаемой 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 новые идеи и технологии. Большой интерес и очевидные перспективы представляют прорывные нанотехнологии в нефтегазовой геологии [9, 14].

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 [15] и технология спектрального анализа микросейсм (SAM) [16]. 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 [17-18]. Подпитка отдельных зон и очагов на многих разрабатываемых месторождениях и образование новых объемов углеводородов является доказанным фактом.

Многие скважины и месторождения по разным причинам подлежат ликвидации. Необходима временная консервация этих скважин для осуществления реабилитационных циклов [19–20] с возможной подпиткой, после чего станет возможна их повторная эксплуатация. Эта идея подтверждена фактами, приведенными в недавней статье И.А. Дьячука [21]. Однако переформирование залежей по принципу капиллярно-гравитационной сегрегации представляет упрощенный вариант. Природные процессы намного сложнее.

Особый интерес представляют доломиты в карбонатных толщах, образованных 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 [22-24]. В принципе внедрение в науку и практику нанотехнологических подходов крайне необходимо [10].

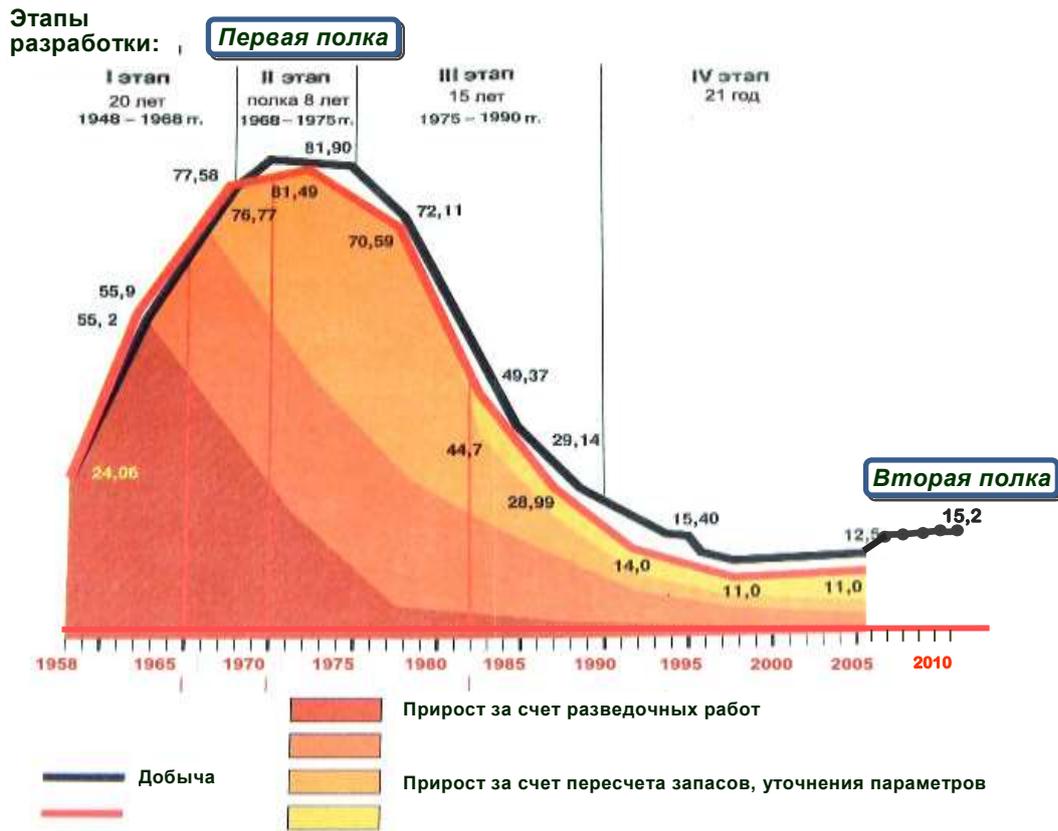


Рис. 6. График «жизни» Ромашкинского месторождения. Добыча и прирост запасов нефти в млн. т.

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») [25].

Это же четко показал Сяо-Хуи Ву (старший консультант по вопросам моделирования и применения компьютерных технологий в науках о Земле Научно-исследовательской компании в области разведки и добычи ExxonMobil) 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» [26].

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 щадящей 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчанов В.И., Гонцов А.А. Моделирование нефтегазообразования. – Новосибирск: ОИ ГГМ, 1992. – 246 с.
2. Баренбаум А.А. Научная революция в проблеме происхождения нефти и газа. Новая нефтегазовая парадигма // Георесурсы. – 2014. – № 4 (59). – С. 3–9.
3. Леворсен А. Геология нефти и газа. Мир, Москва, 1970. Серия «Науки о земле», т. 22. — 638 с.
4. Еременко Н.А., Чилингар Г.В. Геология нефти и газа на рубеже веков. – М.: Наука, 1996. – 176 с.
5. Hubbert K.M. Nuclear energy and the fossil fuels // Drilling and Production Practice: Proceedings of American Petroleum Institute Spring Meeting. – Houston, Texas, 1956. – pp. 7-25.
6. Klare M. Peak oil is dead // Oil and Maritime. – 2014. – June. – P. 36–38.
7. Yergin D. There will be oil // The Wall Street Journal. – 2011. – September 17. URL: <http://www.wsj.com/articles/SB10001424053111904060604576572552998674340>
8. Запивалов Н.П., Попов И.П. Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. – Новосибирск: Гео, 2003. – 198 с.
9. Запивалов Н.П. Динамика жизни нефтяного месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 206–211.
10. Запивалов Н.П., Смирнов Г.И., Харитонов В.И. Фракталы и наноструктуры в нефтегазовой геологии и геофизике. – Новосибирск: ГЕО, 2009. – 131 с.
11. Запивалов Н.П. Новосибирская нефть-2010 как зеркало российской «нефтянки» // Эко: всероссийский экономический журнал. – Новосибирск: Наука, 2010, №9. – С. 31-49.
12. Айзберг Р.Е., Гарецкий Р.Г., Запивалов Н.П. и др. Проблемы нефтегазоносности верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири: монография / под ред. В.А. Москвича. – Минск: БЕЛГЕО, 2003. – 360 с.

13. Рихванов Л.П., Усольцев Д.Г., Ильенок С.С., Ежова А.В. Минералогическо-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.
14. 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.
15. Писецкий В.Б. Прогноз флюидодинамических параметров бассейна по сейсмическим данным. – Екатеринбург: УГГГА, 2011. – 10 с.
16. Ведерников Г.В. Прогноз залежей углеводородов по характеристикам микросейсм: избр. статьи. – Новосибирск: Изд-во «Свиньян и сыновья», 2012. – 202 с.
17. 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
18. Муслимов Р.Х. Новый взгляд на перспективы развития супергигантского Ромашкинского месторождения // Геология нефти и газа. – 2007. – №1. – С. 3-12.
19. Запивалов Н.П. Пять неотложных мер нефтедобычи Западной Сибири // Эко: всероссийский экономический журнал. – 2015. – № 5. – С. 111–117.
20. 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. – № 4 (46). – 2015. – С. 27–31.
21. Дьячук И.А. К вопросу переформирования нефтяных месторождений и пластов // Георесурсы. – 2015. – № 1 (60). – С. 39–45.
22. Запивалов Н.П. Инновационные технологии в разведке и разработке нефтегазовых месторождений на основе новой геологической парадигмы // Георесурсы. – № 1 (56). – 2014. – С. 23–28.
23. Запивалов Н.П. Метасоматическая доломитизация и нефтегазоносность карбонатных пород (наноэффекты образования вторичных высокопродуктивных коллекторов) // Наука и технологии в России. – 2009. – № 2. – Т. 88. – С. 31–39.
24. Поспелов Г.Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. – Новосибирск: Наука СО, 1973. – 356 с.
25. Vox G.E.P., Draper N.R. Empirical model building and response surfaces. – New York: John Wiley & Sons, 1987. – 424 p.
26. Xiao-Hui Wu. How to Predict Reservoir Performance with Subsurface Uncertainty at Multiple Scales? Society of Petroleum Engineers: Distinguished Lecturer Program, 2015. – Lecture.

REFERENCES

1. Molchanov V.I., Gontsov A.A. *Modelirovanie neftegazooobrazovaniya* [Modeling of oil and gas formation]. Novosibirsk, «OIGGM» (United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy) Publ., 1992. 246 p.
2. Barenbaum A.A. Nauchnaya revolyutsiya v problem proiskhozhdeniya nefiti i gaza. Novaya neftegazovaya paradigma [The Scientific Revolution in the Oil and Gas Origin Issue. New Oil and Gas Paradigm]. *Georesources*, 2014, vol. 59, no. 4, pp. 3-9.
3. Levorsen A.I. *Geologiya nefiti i gaza* [Geology of petroleum]. Moscow, «Mir», «Earth sciences» series, 1970, vol. 22. 638 p.
4. Eremenko N.A., Chilingar G.V. *Geologiya nefiti i gaza na rubezhe vekov* [Geology of oil and gas at the turn of the century]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 176 p.

5. Hubbert M.K. Nuclear energy and the fossil fuels // *Drilling and Production Practice. Proc. of American Petroleum Institute Spring Meeting. Houston, Texas, 1956, pp. 7–25.*
6. Michael Klare. Peak oil is dead. *Oil and Maritime*, 2014, June, pp. 36–38.
7. Daniel Yergin. There Will Be Oil. *The Wall Street Journal*, 2011, September 17. URL: <http://www.wsj.com/articles/SB10001424053111904060604576572552998674340>
8. Zapivalov N.P., Popov I.P. Flyuidodinamicheskie modeli zalezhey nefti i gaza [Fluidodynamic models for petroleum systems]. Novosibirsk: Geo, 2003, 198 p.
9. Zapivalov N.P. Dinamika zhizni neftyanogo mestorozhdeniya [Dynamics of oilfield life]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 206–211.
10. Zapivalov N.P., Smirnov G.I., Kharitonov V.I. Fraktaly i nanostruktury v neftegazovoy geologii i geofizike [Fractals and nanostructures in petroleum geology and geophysics]. Novosibirsk: Geo, 2009. 131 p.
11. Zapivalov N.P. Novosibirskaya neft'-2010 kak zerkalo rossiyskoy neftyanki [Novosibirsk oil as a mirror of Russian oil scenario]. *Eko: vserossiyskiy ekonomicheskiy zhurnal*, 2010, no. 9, pp. 31-49.
12. Ayzberg R.E., Garetsky R.G., Zapivalov N.P. et al. *Problemy neftegazonosnosti verkhneproterozoyskikh i paleozoyskikh kompleksov Belarusi i Sibiri* [Problems of oil-and-gas capacity of the Upper-Proterozoic and Paleozoic complexes in Belarus and Siberia]. Minsk, BelGeo Publ., 2003. 360 p.
13. Rikhvanov L.P., Usoltsev D.G., Ilenok S.S., Ezhova A.V. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri po dannym yaderno-fizicheskikh i elektronno-mikroskopicheskikh metodov issledovaniy [Mineralogical and geochemical features of the Bazhenov formation, West Siberia, according to nuclear-physics and electron-microscopic methods of research]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 1, pp. 50–63.
14. Khavkin A.Ya. Aktual'nye strategicheskie zadachi neftedobychi [Key strategical problems in oil production at present]. 25 years of RANS: collected works (Oil and Gas Section). Moscow: Publishing centre of Gubkin Russian State Oil-and-Gas University, 2015, pp. 11-21.
15. Pisetsky V.B. *Prognoz flyuidodinamicheskikh parametrov basseyna po seismicheskim dannym* [Prognosis of fluid-dynamic parameters of a basin based on seismic data]. Yekaterinburg, Ural State Mining University, 2011. 10 p.
16. Vedernikov G.V. *Prognoz zalezhey uglevodorodov po kharakteristikam mikroseyam: izbrannye stat'i* [Prognosis of hydrocarbon pools by characteristics of microseisms: selected papers]. Novosibirsk, Publishing House «Svin'in i synov'ya», 2012. 201 p.
17. Iktisanov V.A. Osnovnye zagadki nefti [The main enigmas of oil]. 25 years of RANS: collected works (Oil and Gas Section). Moscow: Publishing centre of Gubkin Russian State Oil-and-Gas University, 2015, pp. 186-191.
18. Muslimov R. Kh. Novy vzglyad na perspektivy razvitiya supergigantskogo Romashkinskogo mestorozhdeniya [A new approach to prospects of development of the super-giant Romashkinskoe oilfield]. *Geologiya nefti i gaza*, 2007, no. 1, pp. 3-12.
19. Zapivalov N.P. Pyat' neotlozhnykh mer neftedobychi Zapadnoy Sibiri [Five urgent steps in oil production of West Siberia]. *Eko: vserossiyskiy ekonomicheskiy zhurnal*, 2015, no. 5, pp. 111–117.
20. Bednarzhevskiy S.S., Zapivalov N.P., Smirnov G.I. Reabilitatsionnye tsikly nelineynoy dinamiki neftegazovykh mestorozhdeniy kak osnova povysheniya ih produktivnosti [Rehabilitation cycles of nonlinear dynamics of petroleum fields to improve their efficiency]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2015, vol. 46, no. 4, pp. 27–31.
21. Dyachuk I.A. K voprosu pereformirovaniya neftnyanykh mestorozhdeniy i plastov [Reformation of oil fields and reservoirs]. *Georesources*, 2015, vol. 60, no. 1, pp. 39–45.

22. Zapivalov N.P. Innovatsionnye tekhnologii v razvedke i razrabotke neftegazovykh mestorozhdeniy na osnove novoy geologicheskoy paradigmy [Innovative Technologies in Oil and Gas Fields Exploration and Development Based on the New Geological Paradigm]. *Georesources*, 2014, vol. 56, no. 1, pp. 23–28.
23. Zapivalov N.P. Metasomaticheskaya dolomitizatsiya i neftegazonosnost' karbonatnykh porod (nanoeffekty obrazovaniya vtorichnykh vysokoproduktivnykh kollektorov) [Metasomatic dolomitisation and hydrocarbon saturation of the carbonate rocks: nanoeffects in formation of highly productive reservoirs]. *Nauka i tekhnologiya v Rossii*, 2009, vol.88, no. 2, pp. 31–39.
24. Pospelov G.L. *Paradoksy, geologo-geofizicheskaya sushchnost' i mekhanizmy metasomatoza* [Paradoxes, geologic-physical nature and mechanisms of metasomatoses]. Novosibirsk, Nauka Publishing House, 1973. 356 p.
25. Box G.E.P., Draper N.R. *Empirical Model Building and Response Surfaces*. New York, John Wiley & Sons, 1987. 424 p.
26. Xiao-Hui Wu. How to Predict Reservoir Performance with Subsurface Uncertainty at Multiple Scales? Society of Petroleum Engineers: Distinguished Lecturer Program, 2015. – Lecture.