

Термогазовый метод воздействия на пласт и возможности его применения на месторождениях вязких нефтей Удмуртии

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10047

М.Д. Миняев

аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»
mar.m92@yandex.ruИнститут нефти и газа им. Гущериева, УдГУ,
Ижевск, Россия

В данной статье приводится анализ применения термогазового метода воздействия на месторождениях легких нефтей в Западной Сибири. Эта проблема является актуальной и для месторождений, нефти которых характеризуются повышенной вязкостью. Данные углеводороды характеризуются битуминозным составом и расположены в основном в малопроницаемых породах. Стоит отметить, что мировые ресурсы таких нефтей значительно превышают запасы нефтей с низкой вязкостью. В статье приводится информация о географическом положении и геологическом строении месторождений.

Согласно данным, полученным в ходе исследований, установлено, что данный метод является весьма привлекательным с точки зрения доступности и экономической эффективности.

Сущность этого метода состоит в закачке воздуха с помощью специальных компрессорных установок, которые размещаются в скважине. Данный метод позволяет проводить добычу нефти в коллекторах, имеющих сложное геологическое строение. Описаны положительные и отрицательные качества данного метода. Показано перспективное применение нанотехнологий при использовании термогазового метода (нанопокртия и нанотехнологические мероприятия увеличения нефтеотдачи).

Статья представляет собой обобщение полученных ранее результатов в области развития термогазового метода, а также

В настоящее время становится актуальной добыча нефтей, содержащих высоковязкие смолисто-асфальтеновые компоненты. Данные углеводороды в основном состоят из битуминозных вязких нефтей и находятся в основном в малопроницаемых коллекторах и в коллекторах с небольшой нефтенасыщенной толщиной.

Мировые ресурсы тяжелых и битуминозных нефтей значительно превышают запасы легких нефтей и оцениваются в количестве 750 млрд т. Наиболее крупными запасами располагают Канада (386 млрд т, из которых 25 млрд т извлекаемые) и Венесуэла (335 млрд т, из них 70 млрд т извлекаемые), значительные запасы также имеют Мексика, США, Россия, Кувейт и Китай.

На территории Российской Федерации основная часть ресурсов тяжелых нефтей и природных битумов приурочена к месторождениям Волго-Уральской, Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций, их геологические ресурсы по разным оценкам составляют 30–75 млрд т. Вопрос освоения ресурсов таких нефтей особенно актуален сейчас, в связи со снижением в последнее время объемов прироста запасов кондиционных нефтей.

Тяжелые нефти и природные битумы характеризуются высоким содержанием ароматических углеводородов, смолисто-асфальтеновых веществ, высоким содержанием металлов и сернистых соединений, большими значениями плотности и вязкости, повышенной коксуемостью, что приводит к высокой себестоимости добычи, практически невозможной транспортировке по существующим нефтепроводам и нерентабельной, по классическим схемам, нефтепереработке [1].

Согласно данным, полученным в работе [2], установлено, что газовые методы увеличения нефтеизвлечения по характеристикам коллекторов, условиям их залегания и достигаемым результатам (прирост КИН) могут быть оценены как весьма привлекательные, причем, в большей степени это касается закачки углеводородных газов. Средний прирост КИН составил 43% и 87%, соответственно, при закачке CO₂ и УВ газов. Однако, более высокие вязкости нефтей залежей карбона могут быть критическим фактором для их прямого применения.

Для добычи данного типа нефтей в основном применяются тепловые методы и их модификации с закачкой полимерных агентов и растворителей, а также термогазовые методы. Последние применяются в основном на месторождениях Западной Сибири. По сравнению с легкодоступными нефтями, для их добычи, транспорта и подготовки необходимо оборудование, способное снизить вязкость и удалить нежелательные компоненты, которые препятствуют нормальному прохождению нефти по нефтеперекачивающим трубопроводам. Немаловажным является создание эффективного обустройства месторождения, которое бы обеспечивало на протяжении всего периода освоения запасов рациональную добычу в соответствии с установленными нормами.

На сегодняшний день одним из наиболее перспективных методов увеличения нефтеотдачи является термогазовый метод (далее — ТГВ). Данный метод основан на закачке воздуха и его трансформации в высокоэффективные смешивающиеся (частично или полностью) с нефтью вытесняющие агенты за счет внутрипластовых

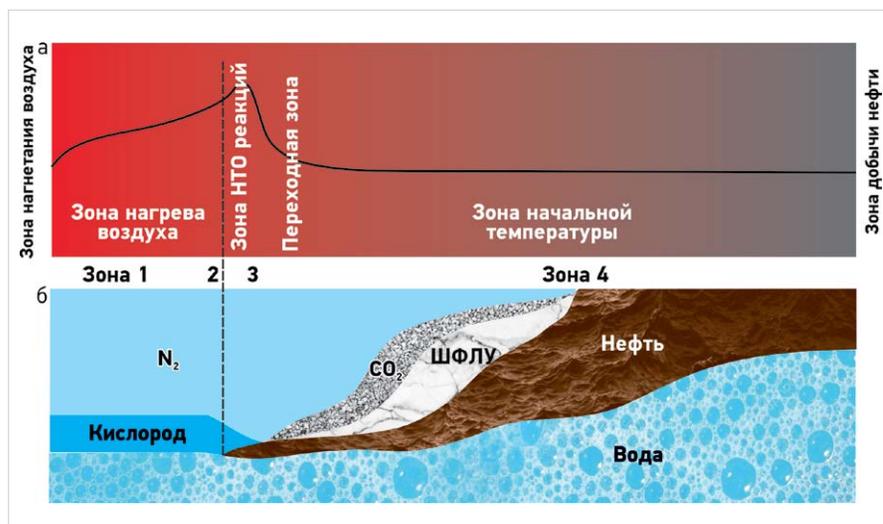


Рис. 1 — Механизм вытеснения нефти при термогазовом воздействии
Fig. 1 — Oil displacement's mechanism at the thermogas exposure

предложено применение данного метода на месторождениях Удмуртии.

Материалы и методы

На основе анализа литературных источников, обобщения и систематизации научных данных.

Ключевые слова

высоковязкие нефти, прирост КИН, термогазовый метод, термогазохимическое воздействие, нанотехнологии, месторождения Удмуртии

окислительных и термодинамических процессов. Метод был предложен в 1971 г. и основан на обобщении многочисленных лабораторных исследований и промышленной реализации внутрипластовых окислительных процессов (рис. 1)

Агенты (воздух и вода), закачиваемые в пласт, являются широкодоступными, а, следовательно, и дешевыми и используют важную энергетическую особенность большинства месторождений (особенно Западной Сибири), которые характеризуются не только высоким пластовым давлением, но и повышенными пластовыми температурами, свыше 65°C и более. Такие температуры при закачке воздуха в результате высокой скорости процесса расходования кислорода воздуха на окисление гарантируют безопасное ведение процесса и обеспечивают внутривластовую генерацию высокоэффективного вытесняющего газового агента, обеспечивающего кардинальный прирост нефтеотдачи. [3]

Стоит отметить, что данный метод характеризуется выделением вытесняющих агентов в виде углекислого газа (CO₂) и азота. С целью предотвращения негативного воздействия на экологию данных компонентов попутного нефтяного газа (далее — ПНГ) следует использовать средства контроля — датчики-газоанализаторы, автоматические задвижки и т.п. [4]

Также одним из факторов, сдерживающих применение данного метода является возникновение взрывоопасных смесей, возникающих при взаимодействии кислорода и нефти, находящихся в пласте. Согласно нормативным документам [5], необходимо предусматривать систематический контроль газовой среды в процессе работы.

Продуктивные отложения коллекторов Баженовской свиты имеют сложное литологическое строение и вещественный состав, и представляют особую сложность при разработке зон пласта-коллектора. Коллекторами нефти служат листовые и тонколистовые битуминозные глины, которые были названы «баженитами», представляющие собой микролинзовидное неравномерное переслаивание глинистых слоев с органическим веществом или нефтью.

Гидродинамически связанные между собой пропластки и другие формы коллектора образуют отдельные продуктивные объемы, или «линзы».

Протяженность промышленно продуктивных нефтеносных линз может достигать 1,0–1,5 км, а их наиболее вероятная толщина — 3–5 м. Вся система трещин в каждой линзе гидродинамически связана и по ней возможна фильтрация нефти [6].

В работе [7] был проведен анализ геологического строения Баженовской свиты и было установлено, что скорость процесса окисления в глинистых и карбонатных коллекторах существенно различается. Низкая проницаемость матричной породы не позволяет в полном объеме обеспечить контакт кислорода воздуха с органическим веществом, соответственно окисление при внутривластовом горении будет происходить только на границе глинистых пород, если дополнительно не будет осуществлено воздействие на матрицу для создания в

ней сети новых трещин и каналов.

В целом, обобщение результатов опытно-промышленного опробования ТГВ показывает следующее:

- ТГВ является наиболее эффективным из всех термических методов;
- в большинстве случаев его опробование оказалось технически осуществимым и экономически прибыльным;
- закачиваемый агент (воздух) доступен и дешев;
- при ТГВ обеспечивается высокий коэффициент вытеснения;
- ТГВ может быть применено при геолого-технологических условиях, в которых наводнение или закачка пара неэффективны;
- ТГВ применимо в случае низкопроницаемых пород;
- увеличение нефтеотдачи может быть получено и в случае применения ТГВ с начала разработки, и после окончания естественного режима истощения, и после заводнения;
- закачка воздуха (ТГВ) на карбонатных месторождениях легкой нефти технически осуществима и экономически выгодна;
- рост КИН составляет порядка 0,15–0,17;
- прибыльность проектов во многом обусловлена добычей газоконденсата, образовавшегося in-situ при реакции окисления пластовой нефти;
- закачка воздуха позволяет поддерживать пластовое давление, причем стоимость воздуха при этом много ниже, чем азота или двуокиси углерода; кроме того, этому же способствует появление в пласте газов горения;

Также одним из важных факторов является экономическая рентабельность данного метода по сравнению с закачкой попутного газа, поскольку для его осуществления не нужно использовать дорогостоящие установки по подготовке и компримированию ПНГ. Следует учитывать, что закачка попутного газа в залежи высоковязкой нефти, как известно, не очень эффективна, вследствие его преждевременного прорыва в эксплуатационные скважины [8].

Однако существует несколько технических трудностей:

- проблема сжатия до высокого давления и закачки в глубокозалегающий пласт больших объемов воздуха, что приводит к существенным капитальным и операционным затратам (затраты на энергию для компрессоров);
- сложность безопасного обслуживания мощных компрессоров;
- компрессирование воздуха, особенно до больших давлений, может быть достаточно дорогостоящей операцией;
- возможность прорыва воздуха в добывающую скважину при неполном его использовании в процессе окисления;
- необходимость утилизации газов горения, извлекаемых совместно с нефтью;
- необходимость (в той или иной степени) выделения конденсата (ШФЛУ), образовавшегося в пласте и добываемого совместно с газами и нефтью [9].

Также стоит отметить, что при большом расходе чистого воздуха происходят

значительные выбросы CO₂ в атмосферу, что является отрицательным фактором с точки зрения экологии [10].

В качестве модернизации данного метода появились технологии, совмещающие сочетания термогазового и химического воздействия. [11] Термогазохимическое воздействие на ПЗП заключается в сжигании на забое скважин порохового заряда, который спускается на электрокабеле. Это так называемый «щадающий» метод для скважины в целом, по сравнению с разрывом пласта, он неэффективен в пластах с ухудшенными коллекторскими свойствами. Время сгорания регулируется и может длиться от нескольких минут до долей секунд. Интенсивность процесса изменяется также в зависимости от массы сжигаемого заряда (от 20 до 500 кг). При быстром сгорании порохового заряда (0,01–1 с.) на локальном участке в ПЗП создается высокое давление (100–250 МПа). Под действием этого в породе возникают аномальные напряжения, приводящие к необратимым деформациям, и начинается механическое воздействие на пласт, которое приводит к образованию в нем новых трещин и расширению существующих под действием давления пороховых газов. Обработки проводятся обычно без пакера. Процесс включает в себя термогазохимическое и депрессионное воздействия.

Можно привести результаты 4-летнего периода проведения опытных работ по закачке воздуха в нагнетательную скважину на Средне-Назымском месторождении, основными из которых являются [12]:

1. Положительным следствием закачки воздуха и воды является восстановление пластового давления в короткое время до 200–250 атм. При реализации естественного режима пластовое давление крайне быстро снижалось и, соответственно, наблюдалось снижение дебитов всех добывающих скважин.

2. Накопленное значение воздухо-нефтяного отношения составляет примерно 212 нм³/т, что кратно ниже, чем результаты термогазового воздействия на месторождениях с низкопроницаемыми коллекторами в США. Такое низкое значение может быть объяснено, во-первых, дополнительным извлечением нефти из керогена, а также, возможно, из недренированных зон и, во-вторых, ускоренным формированием эффективного смешивающегося вытеснения. Согласно оценкам, в результате успешной реализации термогазового способа разработки на Средне-Назымском месторождении возможно достижение нефтеотдачи порядка 30–40%.

Также, для улучшения данного метода можно предложить использование активно развивающихся нанотехнологий, способных производить вытеснение нефти в пористых средах на наноуровне. Данные технологии были причислены к нанотехнологическим мероприятиям увеличения нефтеотдачи (далее — НТМУН). К НТМУН относятся технологии, основанные, в первую очередь, на регулировании зарядовых взаимодействий, технологии регулирования смачиваемости, состояния глин, межфазного массообмена. К НТМУН также относятся технологии регулирования толщины

пленок жидкостей на поверхности пород, химического состава подаваемых в скважины воды и других агентов, термотехнологии, биотехнологии, технологии на основе применения физических полей, а также технологии, использующие наноразмерные материалы [13].

Так как пласты баженовской свиты залегают довольно глубоко, то при их разработке могут возникнуть трудности с нарушением герметичности цементного кольца, что приводит к различного рода осложнениям — преждевременному попаданию подошвенных вод, газо-водо-нефтеперетокам, образованию грифонов, загрязнению горизонтов с пресной водой и т.п. С целью уменьшения влияния неприятных факторов на формирование цементного камня можно использовать воздействие магнитного поля, увеличивающего количество центров кристаллизации в растворе.

Обычно термогазовые технологии рекомендуются использовать в условиях пластов с высокими пластовыми температурами и маловязкой нефтью. Высокие пластовые температуры (более 60–70°C) требуются для того, чтобы процесс автоокисления нефти в пласте кислородом воздуха начался самопроизвольно.

Но в работе [14] были проведены исследования, позволяющие судить о том, что метод термогазового воздействия применим в перспективе и к нефтям высокой вязкости. Было выявлено, что при автоокислении тяжелой нефти кислородом наблюдается два этапа реакции: начальный, когда поглощение кислорода происходит за счет молекулярной реакции окисления легкоокисляющихся компонентов нефти, и основной, подобный радикально — цепному автоокислению углеводородов.

Также, на основании работы [15] можно сделать вывод, что эффективность внедрения данного метода является экономически более выгодной, по сравнению с разработкой участка на естественном режиме. Анализ разработки моделируемого участка залежи баженовской свиты на естественном режиме показал низкую технологическую эффективность данного режима разработки, дебиты скважин быстро падают, и достигаемое нефтеизвлечение не превышает нескольких процентов.

Кинетические закономерности поглощения кислорода и образования оксидов углерода, а также реакционная способность тяжелой нефти в реакции автоокисления близка к кинетическим закономерностям и реакционной способности легкой нефти. Для запуска реакции автоокисления тяжелой нефти целесообразно прогреть призабойную зону пласта до температуры около 70°C.

Были также проанализированы результаты работ, полученные при использовании внутрипластового горения на месторождениях республики Татарстан [16]. В ходе выполнения данных работ вследствие повышения газового фактора и усиления износа оборудования был снижен коэффициент эксплуатации скважин. Также одним из препятствий во время отбора и подготовки нефти послужило повышенное содержание солей и остаточной воды после добычи нефти. Эти факторы следует

учитывать при добыче высоковязкой нефти на месторождениях Удмуртии.

Добываемые нефти Удмуртской республики в основном имеют высокую (>30 мПа·с) и повышенную (от 10 до 30 мПа·с) вязкость. Последние составляют 41,4%. Повышенная вязкость нефти обусловлена большим содержанием асфальтосмолистых и парафиновых углеводородных соединений. Содержание парафина в различных месторождениях изменяется от 1,7 до 5,05%. Наибольшая вязкость наблюдается на Мишкинском (турнейский ярус) и Гремихинском месторождениях, здесь она превышает 75 мПа·с.

Также установлено, что породы, слабые удмуртские месторождения, являются неоднородными по строению, образованы карбонатными и терригенными отложениями, характеризующиеся низкими фильтрационными свойствами (проницаемостью 0,05–0,3 мкм², пористостью 8–23%) и имеющими высокую послойную и зональную неоднородность [17].

Выводы

Было установлено, что метод термогазового воздействия является достаточно перспективным и экономически более выгодным по сравнению с базовыми методами и может быть применен не только для извлечения легких нефтей баженовской свиты, но и также может быть исследован для возможного применения на месторождениях вязкой нефти Удмуртской республики.

Литература

1. Башкирцева Н.Ю., Петров С.М., Халикова Д.А. Обзор перспективных технологиче- ских переработки тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов. Вестник Казанского технологического универси- тета. 2013. Т.16. №3. С. 217–221.
2. Дияшев Р.Н. О тенденциях применения МУН в мире: уроки для использования при добыче высоковязких и тяжелых нефтей карбона на землях Татарстана // Георесурсы. 2008. Т.27. №4. С.42–46.
3. Боксерман А.А. Термогазовый метод увеличения нефтеотдачи // Георесурсы. 2007. №3. С.18–20.
4. Хавкин А.Я. Проектирование разработ- ки залежи нефти баженовской свиты Салымского месторождения. М.: ВНИИ- ОЭНГ, 1992, 84 с.
5. Гришин П.А., Никитина Е.А., Толо- конских С.И. Особенности теплового воздействия на керогенсодержащую породу баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 2017. №2. С. 68–71.
6. Афанаскин И.В., Бетелин В.Б., Вольпин С.Г., Королёв А.В., Кац Р.М., Юдин В.А. Создание отечественного термогидроси- мулятора — необходимый этап освоения нетрадиционных залежей углеводоро- дов России. М.: ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, 2015. 206 с.
7. Горшков А.М., Султанова К.С. Эко- логические аспекты при разработке нетрадиционных ресурсов углево- дородов в России и за рубежом // Всероссийская научная студенческая конференция. Томск, 2015.

8. Кокарев М.О., Мирский А.В. Разработка технологии повышения нефтеотдачи пластов на поздней стадии эксплуатации месторождения. Международная научно-практическая конференция «Булатовские чтения». Краснодар, 2017.
9. Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа // М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 692 с.
10. Хавкин А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа. М.: Нефть и газ, 2016. 358 с.
11. Зобов П.М., Хлебников В.Н. и др. Моделирование химических стадий термозавязки нефти на вязкую нефть пластов ПК сеноманского горизонта // Башкирский химический журнал. 2012. Т.19. №3. С. 12–16.
12. Игнатова К.П., Щеколдин К.А. Анализ технико-экономической эффективности термозавязки на залежи баженовской свиты // Территория Нефтегаз. 2012. №10. С. 44–47.
13. Муслимов Р.Х., Мусин М.М., Мусин К.М. Опыт применения тепловых методов разработки на нефтяных месторождениях Татарстана. Казань: Новое Знание, 2000. 226 с.
14. Кудинов В.И., Сучков Б.М. Новые технологии повышения добычи нефти. Самара: Самарское книжное издательство, 1998. 368 с.

Thermal and gas method of influence on the formation and possibility of its application at deposits of viscous oils Udmurtia

Authors

Marat D. Minyaev — postgraduate student development and exploitation of oil and gas deposits department; mar.m92@yandex.ru

IOaG, Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract

This article gives analysis of impact of thermal gas method on light oil fields in West Siberia. This problem is relevant for oil fields with high viscosity. These hydrocarbons are characterized by bituminous composition and located mainly in tight rock formations. It should be noted that the world resources of such oils significantly exceed the reserves of low viscosity oils. The article gives information on the geographical location and geological structure of the fields.

According to research data, this method is very attractive in terms of accessibility and economic efficiency.

The essence of this method consists of

the air injection via special compressor units placed in the well. This method allows to extract oil in reservoirs with a complex geological structure. There are positive and negative qualities of this method. Perspective use of nanotechnology displays in using the thermogas method (nanocoatings and nanotechnological measures of increasing oil recovery). The article represents generalization previously obtained results in development of thermal gas method and suggests the applying this method in the fields of Udmurtia.

Materials and methods

Based on the analysis of literary sources,

generalization and systematization of scientific data.

Keywords

high viscosity oils, growth ORF, thermal gas method, thermo gas chemical impact, nanotechnology, deposits of Udmurtia

Conclusions

It was found that the method of thermal gas impact is rather perspective and more economically effective in comparison with basic methods and maybe applicable not only for the extraction of light oils the Bazhenov formation but also it can be investigated for possible application on fields of viscous oil of the Udmurt Republic.

References

1. Bashkirtseva N.Yu., Petrov S.M., Khalikova D.A. *Obzor perspektivnykh tekhnologiy pererabotki tyazhelykh vysokovязkikh neftey i prirodnykh bitumov* [Review of promising high-tech processing of heavy oil and natural bitumen]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2013, v.16, issue 3, pp. 217–221.
2. Diyashev R.N. *O tendentsiyakh primeneniya MUN v mire: uroki dlya ispol'zovaniya pri dobyche vysokovязkikh i tyazhelykh neftey karbona na zemlyakh Tatarstana* [EOR trends in the modern world: lessons to learn for producing Carboniferous high-viscosity and heavy oils in Tatarstan]. Georesursy, 2008, v. 27, issue 4, pp. 42–46.
3. Bokserman A. A. *Termogazovyy metod uvelicheniya nefteotdachi* [Thermogas method of enhanced oil recovery]. Georesursy, 2007, issue 3, pp.18–20.
4. Khavkin A.Ya. *Proektirovanie razrabotki zalezhi nefi bazhenovskoy svity Salym'skogo mestorozhdeniya* [Designing the development of oil deposits of the Bazhenov formation of the Salyam field]. Moscow: VNIIOENG, 1992, 84 p.
5. Grishin P.A., Nikitina E.A., Tolokonskikh S.I. *Osobennosti teplovogo vozdeystviya na kerogensoderzhashchuyu porodu bazhenovskoy svity* [Specificities of thermal exposure on kerogen-containing rock samples of Bazhenov formation]. Neftyanoe hozyajstvo, 2017, issue 2, pp. 68–71.
6. Afanaskin I.V., Betelin V.B., Vol'pin S.G., Korolev A.V., Kats R.M., Yudin V.A. *Sozdanie otechestvennogo termogidrosimulyatora — neobkhodimyy etap osvoeniya netraditsionnykh zalezhey uglevodorodov Rossii* [The creation of a domestic thermal hydro-simulator is a necessary stage in the development of unconventional hydrocarbon deposits in Russia]. Moscow: FGU FNC NIISI RAN, 2015, 206 p.
7. Gorshkov A.M., Sultanova K.S. *Ekologicheskie aspekty pri razrabotke netraditsionnykh resursov uglevodorodov v Rossii i za rubezhom* [Ecological aspects in the development of unconventional hydrocarbon resources in Russia and abroad]. All-Russian Scientific Student Conference, Tomsk, 2015.
8. Kokarev M.O., Mirskiy A.V. *Razrabotka tekhnologii povysheniya nefteotdachi plastov na pozdney stadii ekspluatatsii mestorozhdeniya* [Development of technology of increase in oil recovery of layers at a late stage of operation of the field]. International Scientific Practical conference in honour of A. Bulatov. Krasnodar, 2017.
9. Khavkin A.Ya. *Nanoyavleniya i nanotekhnologii v dobyche nefi i gaza* [Nanophenomena and nanotechnologies in an oil and-gas recovery], Moscow–Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2010, 692 p.
10. Khavkin A.Ya. *Nanotekhnologii v dobyche nefi i gaza* [Nanotechnology in oil and gas production]. Moscow: Neft' i gaz, 2016, 358 p.
11. Zobov P.M., Khlebnikov V.N. and others. *Modelirovanie khimicheskikh stadiy termogazovogo vozdeystviya na vyazkuyu nefi' plastov PK senomanskogo gorizonta* [Modeling of thermic-gas chemical stages effects on Senomanian horizon PK base oil]. Bashkirskiy himicheskij zhurnal, 2012, v.19, issue 3, pp. 12–16.
12. Ignatova K.P., Shchekoldin K.A. *Analiz tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti termogazovogo vozdeystviya na zalezhi bazhenovskoy svity* [Technical and Economic Analysis of the effectiveness of the thermal gas impact on the deposits of the Bazhenov formation]. Territoriya neftegaz, 2012, issue 10, pp. 44–47.
13. Muslimov R.Kh., Musin M.M., Musin K.M. *Opyt primeneniya teplovykh metodov razrabotki na neftyanykh mestorozhdeniyakh Tatarstana* [Experience in the application of thermal methods of development at the oil fields of Tatarstan], Kazan: Novoe znanie, 2000, 225 p.
14. Kudinov V.I., Suckov B.M. *Novye tekhnologii povysheniya dobychi nefi* [New technologies to increase oil production], Samara: Samarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1998, 368 p.