

## РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 622.06

© Смирнова Т.С., Долгова Е.Ю.,  
Меркитанов Н.А., Тулегенов А.Р., 2013

### ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА

Т.С. Смирнова, Е.Ю. Долгова, Н.А. Меркитанов, А.Р. Тулегенов

Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

В связи с высокой потребностью в углеводородном сырье и ростом мировых цен на нефть активно ведутся исследования методов повышения нефтеотдачи пластов. В современном мире существует проблема извлечения остаточной нефти из эксплуатируемых пластов. Одними из самых эффективных и актуальных методов, благодаря которым возможно решение данной проблемы, являются гидродинамические методы повышения нефтеотдачи. Исходя из этого, авторы данной статьи уделяют особое внимание нескольким видам гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи. Акцентируется внимание на трех основных: циклическое заводнение, изменение направлений фильтрационных потоков, форсированный отбор жидкости.

Суть нестационарного (циклического) заводнения заключается в том, что в пластах искусственно создается нестационарное давление с помощью периодического изменения режима работы залежи путем остановки и возобновления закачки воды. Это способствует проникновению воды в области пласта, которые ранее не поддавались воздействию.

Метод изменения направлений фильтрационных потоков применяется для вовлечения в разработку застойных, не охваченных заводнением зон пласта. Для этого необходимо изменить общую гидродинамическую обстановку в нем, что достигается перераспределением отборов и закачки воды по скважинам. В результате изменения закачки меняются направленность и величины градиентов давления, за счет чего на участки, ранее не охваченные заводнением, воздействуют более высокие градиенты давления, и нефть из них вытесняется в заводненную, проточную часть пластов, чем достигается увеличение нефтеотдачи.

Метод форсированного отбора жидкости основывается на увеличении градиентов давления и скорости фильтрации, вследствие чего текущая добыча и нефтеотдача возрастают.

**Ключевые слова:** нефтеотдача, метод повышения нефтеотдачи, заводнение, гидродинамические методы, нестационарное (циклическое) заводнение, форсированный отбор жидкости, пласт, нефтяные залежи, нефтенасыщенность, заводнение, остаточная нефтенасыщенность, водонагнетательные скважины, коэффициент извлечения нефти, запасы нефти, режим залежи.

### HYDRODYNAMIC ENHANCED OIL RECOVERY METHODS

T.S. Smirnova, E.Iu. Dolgova, N.A. Merkitanov, A.R. Tulegenov

Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

Due to the high demand for hydrocarbons and an increase in world oil prices, research of enhanced oil recovery methods is actively conducted. In the modern world there is the problem of recovering residual oil from reservoirs exploited. One of the most effective and relevant methods by which it is possible to solve this problem is the hydrodynamic methods enhanced oil recovery. Based on this, the authors of this article pay special attention to several types of hydrodynamic enhanced oil recovery methods. Attention is focused on the three main types of hydrodynamic enhanced oil recovery methods: cyclic waterflooding, changing directions filtration flows, forced liquid recovery.

The essence of the unsteady (cyclic) waterflooding is that in the formations unsteady pressure is artificially created by periodically changing the operating mode and by stopping the reservoir resumption of water injection. This facilitates the penetration of water into the reservoir area, which was previously unaffected by influence.

The method of changing directions filtration flows is used to engage in the development of congestive not covered by flooding formation zones. This requires changing the overall hydrodynamic environment in it, which is achieved by the redistribution of water injection and extractions in wells. As a result of changes in injection direction and magnitude of the pressure gradients are changing, thereby there is an influence of higher pressure gradients on areas not previously covered by the flooding, and oil from them forced into the waterflood flow part of layers, thus achieving enhanced oil recovery.

The method forced fluid recovery is based on the increase in the pressure gradient and the rate of filtration, whereby the current production and oil recovery increase.

**Keywords:** oil recovery, enhanced oil recovery, waterflooding, hydrodynamic methods, transient (cyclic) flooding, forced liquid recovery, plastic, oil reservoirs, oil saturation, residual oil, water injection wells, the coefficient of oil recovery, oil reserves, reservoir conditions.

## **Введение**

Потребление большого количества нефтепродуктов во всем мире растет из года в год, но эффективность извлечения флюида из нефтеносных пластов с помощью промышленных методов разработки во многих странах считается неудовлетворительной.

Средняя нефтеотдача пластов в мире составляет 25–40 %. Например, в странах Латинской Америки и Юго-Восточной Азии – 24–27 %, в Иране – 16–17 %, в США, Канаде и Саудовской Аравии – 33–37 %, в странах СНГ и России – до 40 %. Остаточные запасы нефти достигают в среднем 55–75 % от первоначальных запасов ее в недрах.

Также в настоящее время увеличилось число месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Низкие коэффициенты нефтеотдачи обуславливаются недостатком необходимых технологий разработки труднодоступных залежей.

Исходя из этого актуальной задачей в современном мире является применение новых технологий и методов повышения нефтеотдачи на месторождениях, уже ранее эксплуатирующихся, на которых традиционными методами извлечь значительные остаточные запасы нефти невозможно.

Во всем мире с каждым годом возрастает интерес к методам повышения нефтеотдачи пластов, проводятся научные, лабораторные и полевые исследования для выявления наиболее эффективных способов воздействия на пласт.

### **Общая характеристика методов повышения нефтеотдачи**

Для применения методов увеличения нефтеотдачи пластов принципиально важно знать насыщенность, то, как распределена в них остаточная нефть и в каком состоянии она находится в порах. Неполное вытеснение нефти водой из пластов обуславливается микро- и макронеоднородностью пластов, смачиваемостью пористой среды, межфазным на-

тяжением, вязкостью нефти и условиями извлечения.

В настоящее время известны, изучаются и внедряются в промышленную практику десятки различных методов воздействия на нефтяные залежи и методов повышения нефтеотдачи. Они различаются способом воздействия на продуктивные пласты, характером взаимодействия между нагнетаемым в пласт рабочим агентом и насыщающей пласт жидкостью, видом вводимой в пласт энергии.

Эффективность внедрения методов повышения нефтеотдачи в большей степени зависит от уровня изученности свойств нефти, газа и воды, насыщающих пласт, состояния его разработки и от уровня проводимых геолого-промысловых исследований продуктивного пласта. К исследованиям пласта относятся: изучение особенностей его строения, тектонических нарушений, областей выклинивания продуктивной зоны пласта с детальным расчленением горизонта на отдельные пласты и пропластки; изучение литологических характеристик пород, слагающих пласт; определение структуры пористого пространства. Для использования какого-либо метода повышения нефтеотдачи пласта необходимо прежде изучить геологические характеристики слагающих пород и насыщающих жидкостей, которые при осуществлении этих методов вступают во взаимодействие с нагнетаемыми в пласт жидкостями, а это может сопровождаться неблагоприятными для такого применения последствиями. Например, если в продуктивном пласте присутствуют глины, то закачка в породы пресной воды, щелочи или других веществ приводит к набуханию глин и потере нагнетательных жидкостей. Что впоследствии делает задачу повышения нефтеотдачи нереализуемой. Если в продуктивном пласте присутствуют сильноминерализованные рассолы, то при взаимодействии их с закачиваемыми жидкостями возможно выпадение твердых кристаллов

в осадок с закупоркой пор пласта. Также для применения методов повышения нефтеотдачи необходимо выявить характер залегания в пласте остаточных запасов нефти после первичной эксплуатации залежи нефти [1]. Остаточные запасы в пласте могут находиться в виде пленки нефти, обволакивающей зерна породы, или в виде скоплений нефти между зернами породы, а также в виде не промытых водой линзовидных включений или отдельных пропластков, не охваченных процессами заводнения.

Состояние остаточной нефтенасыщенности является определяющим фактором для правильного выбора метода повышения нефтеотдачи. Если остаточная нефтенасыщенность представлена в неохваченных заводнением линзах или пропластках, то хорошие результаты можно получить при использовании гидродинамических методов повышения нефтеотдачи. Если же остаточная нефтенасыщенность представлена пленочной нефтью на поверхности породы, то предпочтительными методами повышения нефтеотдачи станут физико-химические [2]. Использование тепловых методов предпочтительно, если пластовые нефти обладают высокой вязкостью. Также особое значение имеет тщательное, углубленное геолого-промысловое изучение объектов разработки, свойств пластовой нефти, таких как вязкость, плотность, и их изменчивости в пределах залежи.

Чтобы выбрать наиболее существенно повышающий извлекаемые запасы и целесообразный метод улучшения нефтеотдачи, советский ученый М.Л. Сургучев [3] считает необходимым иметь следующую информацию о конкретном месторождении и состоянии на рынке:

- нефтенасыщенность (водогазонасыщенность) пластов или степень их истощения, заводнения;
- свойства нефти и пластовой воды – вязкость, содержание серы, парафина, асфальтенов, смол, солей;

- коллекторские свойства пород, слабящих пласт;
- расположение и техническое состояние пробуренных скважин;
- наличие материально-технических средств, их качество, характеристика и стоимость;
- отпускная цена на нефть;
- потребность в увеличении добычи нефти.

Современные методы повышения нефтеизвлечения в той или иной степени базируются на заводнении. Среди них можно выделить четыре основные группы [4]:

1) гидродинамические методы – циклическое заводнение, изменение направлений фильтрационных потоков, форсированный отбор жидкости;

2) физико-химические методы – заводнение с применением активных примесей (поверхностно-активных веществ, полимеров, щелочей, серной кислоты, диоксида углерода, мицеллярных растворов);

3) газовые методы – водогазовое циклическое воздействие, вытеснение нефти газом высокого давления;

4) тепловые методы – вытеснение нефти теплоносителями (горячей водой, паром), пароциклическая обработка, внутрипластовое горение, использование воды как терморастворителя нефти.

Рассмотрим и проанализируем более подробно основные гидродинамические методы повышения нефтеотдачи месторождений.

Характерная особенность данных методов заключается в неизменности системы расстановки нагнетательных и добывающих скважин, а также в отсутствии необходимости использовать дополнительные источники энергии, вводимые в пласт для извлечения остаточной нефти. Данные методы функционируют чаще всего при заводнении нефтяных пластов и направлены на дальнейшую интенсификацию естественных процессов нефтеизвлечения.

### **Нестационарное (циклическое) заводнение**

Впервые гипотеза об эффективности нестационарного заводнения была сформулирована в конце 50-х гг. XX в. [5]. Применен данный метод был впервые на Губкинском месторождении Куйбышевской области в 1964 г., где дал хорошие результаты и в последующее время быстро распространился на другие месторождения Куйбышевской области и Татарской АССР. С начала 70-х гг. метод стали внедрять на нефтяных месторождениях Тюменской области (Усть-Балыкском, Западно-Сургутском и др.).

Суть метода циклического воздействия заключается в том, что в пластах, обладающих неоднородностью по размерам пор, по проницаемости слоев, пропластков, зон, участков и неравномерной их нефтенасыщенностью, вызванной этими видами неоднородности, искусственно создается нестационарное давление [6]. Оно достигается с помощью периодического изменения режима работы залежи путем остановки и возобновления закачки воды и отбора, благодаря чему более полно используются капиллярные и гидродинамические силы. Это способствует проникновению воды в области пласта, которые ранее не поддавались воздействию [7].

Циклическое заводнение эффективно применяется на месторождениях, где используется обычное заводнение, особенно в гидрофильных коллекторах, которые капиллярно лучше удерживают внедряющуюся в них воду, а также для мощных слоисто-неоднородных пластов и трещиновато-пористых коллекторов.

В неоднородных пластах эффективность циклического заводнения выше, чем эффективность обычного заводнения. Это обусловлено тем, что в условиях заводнения неоднородного пласта остаточная нефтенасыщенность участков пласта с худшими коллекторскими свойствами существенно выше, чем нефтенасыщенность основной заводненной части пласта. При повышении давления упру-

гие силы пласта и жидкости способствуют внедрению воды в участки пласта с худшими коллекторскими свойствами, капиллярные же силы удерживают внедряющуюся в пласт воду при последующем снижении пластового давления.

В результате нестационарного воздействия, изменяющегося во времени воздействия на пласты, в них периодически проходят волны повышения и понижения давления. Слои и участки малой проницаемости, насыщенные нефтью, располагаются в пластах бессистемно, обладают низкой пьезопроводностью, а скорости распространения давления в них значительно ниже, чем в высокопроницаемых нефтенасыщенных участках, поэтому между нефтенасыщенными и заводненными зонами возникают различные по знаку перепады давления. При повышении давления в пласте, т.е. при увеличении объема нагнетания воды или снижении отбора жидкости, возникают положительные перепады давления – в заводненных зонах давление выше, а в нефтенасыщенных ниже. При снижении давления в пласте, т.е. при уменьшении объема нагнетательной воды или повышении отбора жидкости, возникают отрицательные перепады давления – в нефтенасыщенных зонах давление выше, а в заводненных ниже.

Под действием знакопеременных перепадов давления происходит перераспределение жидкостей в неравномерно насыщенном пласте, направленное на выравнивание насыщенности и устранение капиллярного неравновесия на контакте нефтенасыщенных и заводненных зон, слоев, участков. Возникновение знакопеременных значений давления между слоями разной насыщенности способствует ускорению капиллярной, противоточной пропитки водой нефтенасыщенных зон (слоев) – внедрению воды из заводненных зон в нефтенасыщенные по мелким порам и перетоку нефти, из нефтенасыщенных зон в заводненные по крупным поровым каналам. Без знакопе-

ременных перепадов давления между зонами с разной насыщенностью самопроизвольно капиллярный противоток жидкостей происходить не может в силу переменного сечения поровых каналов, в которых капиллярное вытеснение нефти водой носит прерывистый характер. Циклическое воздействие на пласты способствует преодолению прерывистого характера проявления капиллярных сил, выравниванию насыщенности, т.е. повышению охвата заводнением неоднородных пластов. Изменение направления потоков жидкости между скважинами усиливает этот процесс повышения охвата пластов заводнением [6].

Поскольку при практическом внедрении циклического заводнения чаще всего не удастся одновременно прекратить закачку или отбор во всех скважинах, изменяют направления фильтрационных потоков.

Циклическое (нестационарное) заводнение является одним из эффективных гидродинамических способов увеличения нефтеотдачи и сокращения удельных расходов воды на добычу нефти.

Эффективность метода заключается в процессе гидродинамического внедрения воды в слабопроницаемые элементы залежи за счет неравномерного перераспределения давления, вызываемого макронеоднородностью среды, и в капиллярном замещении нефти водой в малопроницаемых зонах пласта.

Данный метод заводнения используется на нефтяных месторождениях Татарии, Самарской области, Западной Сибири и т.д.

Важными достоинствами метода являются простота его осуществления, применимость в широком диапазоне пластовых условий и достаточно высокая экономическая и технологическая эффективность.

#### **Метод перемены направлений фильтрационных потоков**

В процессе проведения заводнения нефтяных пластов, особенно неоднород-

ных, в них постепенно формируются поле давления и характер фильтрационных потоков, при которых отдельные участки пласта оказываются не охваченными активным процессом вытеснения нефти водой. По мере появления в добывающих скважинах воды и роста обводненности заводненные зоны образуют изолированные островки, вытеснение нефти из которых происходит только за счет капиллярной пропитки пластов водой. Поскольку эти процессы протекают медленно, снижается общая эффективность разработки. Размеры и местоположение зон, не охваченных заводнением, зависят не только от неоднородности пластов, но и от расстановки добывающих и водонагнетательных скважин, а также от общей гидродинамической обстановки в пласте, определяемой забойным давлением в скважинах и закачкой жидкости из них. Стабильная гидродинамическая обстановка в пласте обуславливает малую подвижность нефти в застойной зоне [8].

Для вовлечения в разработку застойных, не охваченных заводнением зон пласта необходимо изменить общую гидродинамическую обстановку в нем, что достигается перераспределением отборов и закачки воды по скважинам [9]. В результате изменения закачки меняются направленность и величины градиентов давления, за счет чего на участки, ранее не охваченные заводнением, воздействуют более высокие градиенты давления, и нефть из них вытесняется в заводненную, проточную часть пластов, чем достигается увеличение нефтеотдачи. Но в отличие от циклического заводнения метод перемены направления фильтрационных потоков не требует обязательной остановки добывающих или нагнетательных скважин. При реализации метода наряду с изменением отбора и закачки практикуется периодическая остановка отдельных скважин или групп добывающих и нагнетательных скважин [10]. Скважины можно периодически останавливать через одну или парами. Метод предполагает одно-

временное ограничение отбора в одних скважинах и увеличение в других. Этот же принцип применяется для водонагнетательных скважин.

Для формирования программ циклического заводнения и метода перемены направлений фильтрационных потоков следует учитывать календарь климатических условий. Не рекомендуется остановка добывающих и водонагнетательных скважин в зимний период на территориях с минусовыми температурами, так как возможно замораживание воды в трубопроводах.

### **Форсированный отбор жидкостей**

Форсированный отбор жидкостей применяется на поздней стадии разработки, когда обводненность достигает более 75 %. При этом нефтеотдача возрастает вследствие увеличения градиентов давления и скорости фильтрации, обуславливающего вовлечение в разработку участков пласта и пропластков, не охваченных заводнением, а также отрыв пленочной нефти с поверхности породы [10]. Таким образом, технология проведения форсированного отбора жидкости заключается в постоянном увеличении отборов пластовой жидкости, за счет чего создается перепад давления между пропластками с различной проницаемостью. В результате нефть из нефтенасыщенного (низкопроницаемого) пропластка вовлекается в гидродинамический поток и выносится к добывающей скважине.

Ученые Н.А. Черемисин, В.П. Сонич, Ю.Е. Батурин [11] связывают положительное влияние форсированного отбора жидкости на нефтеотдачу пластов с увеличением коэффициента вытеснения нефти водой благодаря действию следующих факторов:

- в гидрофильных коллекторах при увеличении скорости потока происходит вовлечение в разработку капиллярно-затемненной нефти;

- в гидрофобных коллекторах в результате увеличения отборов жидкости

происходит более эффективный доотмыв пленочно-связанной нефти.

Форсированный отбор – наиболее освоенный метод повышения нефтеотдачи. Первое сообщение об использовании этого метода на месторождениях Чечено-Ингушской АССР сделано В.Н. Щелкачевым в 1945 г. В Западной Сибири этот метод повышения нефтеотдачи пластов применялся на Мегионском, Самотлорском, Мамонтовском, Усть-Балыкском, Приразломном, Приобском месторождениях [12, 13]. В последующие годы метод получил внедрение на месторождениях Апшеронского полуострова и в настоящее время используется на многих нефтепромыслах.

На практике разработаны основные подходы к успешному внедрению метода. Приступать к форсированному отбору следует постепенно, увеличивая дебит скважин на 30–50 %, а затем – в 2–3 раза. Предельное значение увеличения отбора регламентируется возможностями используемого способа эксплуатации скважин. Для применения форсированного отбора необходимы насосы высокой подачи и использование газлифта, эффекта подъема жидкости за счет энергии смешанного с ней газа под давлением [10]. Техника форсирования отборов может быть самой различной: штанговые насосы при полной загрузке оборудования, электронасосы, рассчитанные на большие подачи, и др.

### **Заключение**

Потребность в углеводородном сырье постоянно растет. Нефть стабильно пользуется спросом на мировом рынке. В современном мире она является сырьем для самых разных отраслей промышленности, поэтому борьба с проблемой извлечения остаточной нефти является актуальной и важной на данном этапе развития человечества.

Современные методы повышения нефтеотдачи получили широкое промышленное применение и испытание.

Согласно обобщенным данным потенциальные возможности увеличения нефтеотдачи пластов различными методами по России следующие: тепловыми методами – 15–30 %, газовыми – 5–15 %, химическими – 25–35 %, физическими – 9–12 %, гидродинамическими – 7–15 %.

Преимущество гидродинамических методов повышения нефтеотдачи пласта заключается в том, что они сравнительно просты в реализации и не требуют больших экономических затрат. Наиболее основной и часто применяемый из всех гидродинамических методов – форсированный отбор жидкости. Но производственные затраты, связанные с добычей нефти и газа, постоянно растут, вместе с тем цены на нефть снижаются, что приводит к тому, что экономическая привлекательность методов повышения нефтеотдачи снижается.

В то же время при применении современных методов увеличения извлекаемых запасов из продуктивных пластов

коэффициент извлечения нефти составляет в среднем 30–70 % [14], из них 20–25 % – при первичных способах разработки (с использованием потенциала пластовой энергии), а при вторичных способах (заводнении и закачке газа для поддержания пластовой энергии) – 25–35 %. Таким образом, методы увеличения нефтеотдачи нефти повышают извлекаемые мировые запасы нефти в 1,5 раза, а это до 65 млрд т [15].

По оценкам специалистов, использование современных методов увеличения нефтеотдачи приводит к существенному увеличению коэффициента извлечения нефти. А повышение его, например, лишь на 1 % в целом по России позволит добывать дополнительно до 30 млн т в год.

Следовательно, можно утверждать, что востребованность современных методов увеличения нефтеотдачи возрастает, и их потенциал в увеличении извлекаемых запасов внушительен.

#### Список литературы

1. Schulz H. E. Hydrodynamics – Optimizing Methods and Tools. – М.: InTech, 2011. – 420 p.
2. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1986. – 333 с.
3. Сургучев М.Л., Горбунов А.Т. Методы извлечения остаточной нефти. – М.: Недра, 1991. – 347 с.
4. Бойко В.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1990. – 427 с.
5. Сургучев М.Л., Шарбатова И.Н. Циклическое воздействие на неоднородные нефтяные пласты. – М.: Недра, 1988. – 121 с.
6. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи. – М.: Недра, 1985. – 308 с.
7. Акульшин А.И. Прогнозирование разработки нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 240 с.
8. Kazemi G.A. Hydrogeology – A Global Perspective. – М.: InTech, 2012. – 222 p.
9. Zheng J. Hydrodynamics – Theory and Model. – М.: InTech, 2012. – 306 p.
10. Акульшин А.И. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1989. – 480 с.
11. Черемисин Н.А., Сонич В.П., Батурич Ю.Е. Условия формирования остаточной нефтенасыщенности в полимиктовых коллекторах при их заводнении // Нефтяное хозяйство. – 1997. – № 9. – С. 40–45.
12. Овнатанов С.Т., Карапетов К.А. Форсированный отбор жидкости. – М.: Недра, 1967. – 131 с.
13. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика: учеб. пособие / под общ. ред. Л.С. Лейбензона. – М.; Л.: Гостоптехиздат, 1949. – 525 с.
14. Snow N., Tiptee B. Journal Optimizing Methods of Exploitation Oil Field // Oil&Gas. – 2013. – № 21. – P. 18–21.
15. Harwell M.A., Gentile H. Ecological Significance of Residual Exposures and Effects Oil Spill. – М.: InTech, 2006. – 246 p.

### References

1. Schulz H.E. Hydrodynamics – Optimizing Methods and Tools. Moscow: InTech, 2011. 420 p.
2. Zheltov Yu.P. Razrabotka nefnyanyx mestorozhdenij [Development of oil fields]. Moscow: Nedra, 1986. 333 p.
3. Surguchev M.L., Gorbunov A.T. Metody izvlecheniya ostatocnoj nefti [Methods of extracting residual oil]. Moscow: Nedra, 1991. 347 p.
4. Bojko V.S. Razrabotka i e'kspluatatsiya nefnyanyx mestorozhdenij [Development and exploitation of oil fields]. Moscow: Nedra, 1990. 427 p.
5. Surguchev M.L., Sharbatova I.N. Ciklichesкое vozdejstvie na neodnorodnye neftyanye plasty [Cyclical impact on heterogeneous oil layers]. Moscow: Nedra, 1988. 121 p.
6. Surguchev M.L. Vtorichnye i tretichnye metody uvelicheniya nefteotdachi [Secondary and tertiary enhanced oil recovery methods]. Moscow: Nedra, 1985. 308 p.
7. Akul'shin A.I. Prognozirovaniye razrabotki nefnyanyx mestorozhdenij [Forecasting the development of oil fields]. Moscow: Nedra, 1988. 240 p.
8. Kazemi G.A. Hydrogeology – A Global Perspective. Moscow: InTech, 2012. 222 p.
9. Zheng J. Hydrodynamics – Theory and Model. Moscow: InTech, 2012. 306 p.
10. Akul'shin A.I. E'kspluatatsiya nefnyanyx i gazovyx skvazhin [Exploitation of oil and gas wells]. Moscow: Nedra, 1989. 480 p.
11. Cheremisin N.A., Sonich V.P., Baturin Yu.E. Usloviya formirovaniya ostatocnoj neftenasyshhenosti v polimiktovyx kollektorax pri ix zavodnenii [Formation conditions of residual oil saturation in polymictic reservoirs during waterflooding]. *Neftyanoe khozyajstvo*, 1997, no. 9, pp. 40–45.
12. Ovnatanov S.T., Karapetov K.A. Forsirovannyj otbor zhidkosti [Forced liquid recovery]. Moscow: Nedra, 1967. 131 p.
13. Shhelkachev V.N., Lapuk B.B. Podzemnaya gidravlika [Underground hydraulics]. Leningrad: Gostoptexizdat, 1949. 525 p.
14. Snow N., Tippee B. Optimizing methods of exploitation oil field. *Oil&Gas*, 2013, no 21, pp. 18–21.
15. Harwell M.A., Gentile H. Ecological significance of residual exposures and effects oil spill. Moscow: InTech, 2006. 246 p.

### Об авторах

**Смирнова Татьяна Сергеевна** (Астрахань, Россия) – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, гидрогеологии и геохимии горючих ископаемых Астраханского государственного университета (414015, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: juliet\_23@mail.ru).

**Долгова Екатерина Юрьевна** (Астрахань, Россия) – Астраханский государственный университет (414024, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: ka.dolgova@yandex.ru).

**Меркитанов Николай Александрович** (Астрахань, Россия) – Астраханский государственный университет (414024, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: merkit12517@mail.ru).

**Тулегенов Альберт Робертович** (Астрахань, Россия) – Астраханский государственный университет (416170, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; e-mail: parcour\_tf@mail.ru).

### About the authors

**Smirnova Tat'iana Sergeevna** (Astrakhan, Russia) – Ph.D. in geological and mineralogical sciences, associate professor of the department of geology, hydrogeology and geochemistry of combustible minerals of Astrakhan State University (414015, Astrakhan, Tatishheva st., 20a; e-mail: juliet\_23@mail.ru).

**Dolgova Ekaterina Iur'evna** (Astrakhan, Russia) – Astrakhan State University (414024, Astrakhan, Tatishheva st., 20a; e-mail: ka.dolgova@yandex.ru).

**Merkitanov Nikolai Aleksandrovich** (Astrakhan, Russia) – Astrakhan State University (414024, Astrakhan, Tatishheva st., 20a; e-mail: merkit12517@mail.ru).

**Tulegenov Al'bert Robertovich** (Astrakhan, Russia) – Astrakhan State University (416170, Astrakhan, Tatishheva st., 20a; e-mail: parcour\_tf@mail.ru).

Получено 15.06.2013