ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ПОТОКООТКЛОНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПОЗДНИХ СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ ТРЕЩИНОВАТЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

ON SPECIFICS OF USING FLOW REDIRECTION TECHNOLOGIES AT LATE STAGES OF FRACTURED CARBONATE RESERVOIRS DEVELOPMENT

И. М. Ганиев

Ilgiz M. Ganiev

ООО «РН-БашНИПИнефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,
Ufa, Russian Federation

А. М. Белых

Andrey M. Belykh

ОАО «Удмуртнефть»,
г. Ижевск, Российская Федерация

Udmurtneft OJSC,
Izhevsk, Russian Federation

К. В. Яковлев

Kirill V. Yakovlev

ООО «РН-БашНИПИнефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,
Ufa, Russian Federation

Т. А. Исмагилов

Tagir A. Ismagilov

ООО «Ресурс»,
г. Уфа, Российская Федерация

Resurs LLC,
Ufa, Russian Federation

Статья посвящена вопросам совершенствования применения потокоотклоняющих технологий (ПОТ) на примере объекта А4 башкирского яруса одного из месторождений ОАО «Удмуртнефть» с карбонатными коллекторами. Рассмотрены вопросы выбора ПОТ и их совершенствование с учетом ряда особенностей трещиноватых карбонатных коллекторов. Показано, что применение наиболее широко распространенных составов на основе трехмерно сшитых частично гидролизованых полимеров акриламида в условиях высокой минерализации пластовой воды малоцелесообразно. Более перспективным представляется применение различных осадко- и гелеобразующих систем, в частности составов на основе водорастворимого полиакрилата натрия, гелеобразование которых основано на взаимодействии действующего вещества с поливалентными катионами пластовой воды. На примере реагента на основе водорастворимого полиакрилата натрия, который применяется в ОАО «Удмуртнефть» с 2011 г., лабораторными и опытно-промышленными работами показано, что наиболее эффективное воздействие подобных осадко- и гелеобразующих систем осуществляется при закачке их циклами поочередно с осаждающими оторочками пластовой воды. Следующим важным аспектом, требующим обязательного учета, является степень выработки запасов на участках применения ПОТ. Путем применения трассерных исследований до и после применения ПОТ показано, что на залежах, имеющих высокую степень выработки запасов, применение малообъемных ПОТ может привести к кардинальному изменению фильтрационной картины. Однако в связи с истощением запасов нефти потоки воды перераспределяются в основном в ранее охваченные заводнением области, что не позволяет добиться существенного снижения обводненности добываемой жидкости и значительного технологического эффекта. Таким образом, при применении ПОТ необходимо учитывать выработанность запасов нефти, и по мере роста выработки запасов корректировать объемы закачиваемых рабочих растворов в сторону их кратного увеличения.

Ключевые слова

трещиноватые карбонаты;
потокоотклоняющие технологии;
полиакрилат натрия;
закачка циклами; фильтрационные
эксперименты;
трассерные исследования;
изменение направления
фильтрации;
увеличение объемов закачки

The article is devoted to the questions of improvement of using of flow redirecting technologies on the example of object A4 of Bashkir layer of one of the fields of Udmurtneft OJSC with carbonate reservoirs. In this article questions of a choice and perfection of flow redirecting technologies taking into account features of cracked carbonate reservoirs are considered. It is shown that application of compositions based on three-dimensionally cross-linked partially hydrolyzed acrylamide polymers under conditions of high mineralization of formation water is less expedient. Application of various sedimentation and gel-forming systems, in particular, compositions based on water-soluble sodium polyacrylate, gel-forming of which is based on interaction of the active substance with polyvalent cations of formation water, seems more promising. By the example of a reagent based on water-soluble sodium polyacrylate, which has been used in Udmurtneft OJSC since 2011, laboratory and experimental works have shown that the most effective effect of such sedimentation and gel-forming systems is achieved by injection cycles with alternation of formation water edges. Through the application of tracer studies before and after the application of flow redirecting technologies, it has been shown that in deposits with a high degree of reserve production, the application of the technology can lead to a radical change in the filtration pattern. However, due to the depletion of oil reserves, water flows are redistributed mainly to the previously flooded areas, which does not allow to achieve a significant reduction in the water content of produced liquids and a significant technological effect. Thus, when using waterfloods it is necessary to take into account the depletion of oil reserves, and as the reserves production increases, the volumes of injected working solutions should be corrected towards their multiple increase.

Введение

Большую роль как в мировой добыче нефти, так и в России играют карбонатные коллекторы. Так, запасы нефти, приуроченные к карбонатным коллекторам с содержанием в них вязкой и высоковязкой нефтей, в настоящее время составляют около половины всех разведанных запасов нефти в мире. В России месторождения нефти, приуроченные к карбонатным коллекторам, в основном располагаются в трех регионах: на Северном Кавказе, в Урало-Поволжье, Тимано-Печоре. В Удмуртии к карбонатным коллекторам приурочено порядка 70 % всех запасов [1].

Достижимые коэффициенты извлечения нефти для карбонатных коллекторов значительно ниже, чем для терригенных. Это связано с их высокой проницаемостной неоднородностью, а также с гидрофобными свойствами карбонатных пород, снижающими коэффициент вытеснения нефти.

Особое место среди карбонатных коллекторов занимают трещиноватые коллекторы, разрабатываемые методом заводнения. В процессе закачки воды по системе поддержания пластового давления в первую очередь вырабатываются запасы нефти, содержащиеся в макро- и микротрещинах. Дальнейшая выработка запасов из поровой части карбонатного коллектора затрудняется в виду холостой циркуляции закачиваемой воды по водопрони-

тым трещинам. Это явление в особенности актуально при разработке залежей с повышенной вязкостью нефти и низкими коллекторскими свойствами карбонатной матрицы.

Ярким примером такой картины является башкирский ярус ряда месторождений ОАО «Удмуртнефть», характеризующийся трещиноватым карбонатным коллектором при высокой вязкости добываемой нефти и высокой минерализации пластовой воды. Следует отметить, что башкирский ярус в настоящее время является одним из самых значимых в ОАО «Удмуртнефть» по запасам и объемам добычи нефти. При этом он находится на поздней стадии разработки и характеризуется высокой обводненностью добываемой жидкости, которая значительно опережает степень выработки извлекаемых запасов. При сложившейся тенденции зависимости темпов обводнения от степени выработки запасов проектный коэффициент извлечения нефти может быть не достигнут.

Эти факторы требуют применения методов повышения нефтеотдачи, в частности физико-химических методов. Данная статья посвящена вопросам совершенствования применения потокоотклоняющих технологий (ПОТ) с учетом ряда особенностей трещиноватых карбонатных коллекторов на примере месторождений ОАО «Удмуртнефть» с карбонатными коллекторами.

Key words

fractured carbonate reservoir;
flow redirecting technologies;
sodium polyacrylate; cycle injection;
filtration experiments; tracer research;
changing the direction of filtration;
increasing injection volumes

Выбор потокоотклоняющих технологий и их совершенствование

Опытно-промысловые испытания (ОПИ) различных водоизолирующих составов показали, что к трещиноватым карбонатным коллекторам с высокоминерализованными пластовыми водами объекта А4 башкирского яруса подходят далеко не все широко применяемые ПОТ и составы. При этом применение наиболее широко распространенных составов на основе трехмерно сшитых частично гидролизированных полимеров акриламида в условиях высокой минерализации пластовой воды нецелесообразно [2]. Это связано с явлением «минеральной агрессии» — потерей реологических свойств и даже осаждением полимера на забое нагнетательных скважин в результате внутримолекулярного взаимодействия карбоксильных групп с ионами поливалентных металлов (кальция, магния, железа), содержащихся в пластовой воде.

Современные полимеры, например сульфанированные полимеры на основе акриламида, более устойчивы к минеральной агрессии, однако достаточно дороги и трудно сшиваются в трехмерный гель в высокоминерализованной воде, поэтому их широкое применение в настоящее время может оказаться экономически нецелесообразным.

Более перспективными являются различные осадко- и гелеобразующие составы, гелеобразование которых основано на взаимодействии с поливалентными катионами пластовой воды, поскольку в этом случае исключается применение специальных реагентов — сшивателей. Использование таких составов целесообразно еще и с экологической точки зрения — при этом снижается жесткость пластовых вод.

Однако наличие трещин в продуктивном пласте ограничивает применение различных неорганических осадкообразующих составов (силикаты натрия и алюминия, «жидкое стекло», тринатрий фосфат, сульфаты и сульфиты натрия и т.д.), которые из-за высокой плотности в трещинах подвергаются седиментации (гравитационному оседанию), что затрудняет их адресное размещение.

В этом отношении более эффективными оказались составы на основе водорастворимого полиакрилата натрия, которые в среде минерализованной воды образуют нерастворимые в воде гелеобразные мыла, обладающие достаточной величиной начального на-

пряжения сдвига и способные эффективно изолировать фильтрацию воды как в трещинах, так и в высокопроницаемой части матрицы. При этом органическая основа оторочки образующегося водоизолирующего материала, обладая величиной плотности, близкой к минерализованной воде, позволяет составу продвигаться по трещине, не подвергаясь гравитационному оседанию, что обеспечивает его адресное размещение.

В настоящее время известно несколько составов на основе полиакрилатов натрия отечественных производителей, технология применения которых основана на закачке рабочих растворов в пресной воде и мылообразовании (осадкообразовании) в пластовых условиях. С 2011 г. проводились опытно-промысловые испытания составов на основе водорастворимого полиакрилата натрия на месторождениях ОАО «Удмуртнефть» с карбонатными коллекторами [3], а затем и расширенное применение на ряде месторождений [4]. Обобщенные результаты применения составов на основе водорастворимого полиакрилата натрия на карбонатных коллекторах месторождений ОАО «Удмуртнефть» приводятся в работе [2].

Опыт применения ПОТ в трещиноватых карбонатных коллекторах показывает, что имеется ряд особенностей, которые необходимо учитывать для повышения эффективности применения технологии. Обычно расчетный объем рабочего раствора состава на основе водорастворимого полиакрилата натрия закачивается одной оторочкой, изолированной от минерализованной пластовой воды, с небольшими (3–5 м³) пред- и пост- оторочками пресной воды. Оторочки пресной воды необходимы для предотвращения преждевременного осадкообразования в стволе или на забое нагнетательной скважины.

При такой закачке рабочего раствора в условиях обводненных трещин с ограниченным объемом имеется вероятность того, что взаимодействие полиакрилата натрия и поливалентных ионов в пластовой воде произойдет не полностью, а часть полимера может вымыться из трещин до того, как прореагирует. Причинами этого являются, во-первых, линейный характер продвижения жидкости в трещинах с достаточно высокой скоростью, из-за чего реагент не успевает смешиваться с пластовой водой до достижения забоя добывающей скважины, и, во-вторых, ограниченный, сравнительно малый объем самих

трещин и, соответственно, минерализованной воды в них.

В таблице 1 приведены объемы трещин, высокопроницаемых каналов фильтрации (ВКФ) и каналов фильтрации с проницаемостью, близкой к проектному значению (КФ) закачиваемой воды на некоторых месторожде-

ниях ОАО «Удмуртнефть» с карбонатными коллекторами, оцененные по результатам трассерных исследований. Как видно из таблицы 1, объемы трещин в целом невелики и находятся в пределах от нескольких до десятков кубических метров, тогда как объемы ВКФ и КФ намного больше.

Таблица 1. Объемы трещин, ВКФ и КФ, оцененные по результатам трассерных исследований, проведенных на объектах месторождений ОАО «Удмуртнефть» с карбонатными коллекторами

Год	Месторождение	Пласт	Скважина	Объем трещин, м ³	Объем ВКФ, м ³	Объем КФ, м ³
2016	Мест-ие 1	Бш	№ 1А	23,1	715,3	124,6
2016	Мест-ие 1	Бш	№ 1Б	0,6	116,5	427,2
2016	Мест-ие 2	Вр-Бш	№ 2А	1,7	30,0	840,2
2016	Мест-ие 3	Бш	№ 3А	18,0	390,7	928,3
2017	Мест-ие 3	Бш	№ 3Б	1,5	36,5	496,3
2017	Мест-ие 3	Бш	№ 3В	3,6	221,4	1562,5
2018	Мест-ие 4	Бш	№ 4А	6,5	506,2	1514,9
2018	Мест-ие 1	Бш	№ 1В	0,7	30,8	210,5
2018	Мест-ие 1	Бш	№ 1Г	3,1	261,9	258,8

Для оценки эффективности различных вариантов закачки рабочих растворов были проведены фильтрационные эксперименты. Поскольку для трещиноватых карбонатных кернов изготовить воспроизводимые по фильтрационным параметрам модели с достаточной длиной (около 1 м) затруднительно, опыты были проведены на насыпных песчаных моделях с повышенной проницаемостью.

Насыпные модели составлены из фракции песка, предварительно промытого, просушенного и просеянного через сито с размером ячеек 300 мкм. В процессе набивки модели песок тщательно утрамбовывался. На вход и выход кернодержателя устанавливали мелкую металлическую сетку для предотвращения вымывания частиц песка. Модель насыщалась пластовой водой Месторождения 3 (минерализация 220 г/л) в условиях горного и пластового давления. Объем пор в моделях составлял 250–255 мл.

Далее создавалась связанная вода путем фильтрации изовязкостной модели нефти (вязкость нефти 391 сП, вязкость воды 1,36 сП) через модель с повышенным градиентом давления в термобарических условиях месторождения. При этом определялось количество вытесненной воды на выходе из модели. Далее производили фильтрацию нефти до стабилизации всех параметров и определяли проницаемость модели по нефти, осуществляли вытеснение нефти водой до стабилизации всех показателей вытеснения и определяли коэффициент вытеснения нефти водой и фазовую

проницаемость по воде при остаточной нефтенасыщенности.

В заводненную модель пласта в условиях остаточной нефтенасыщенности производилась закачка оторочки рабочего раствора состава на основе водорастворимого полиакрилата натрия в объеме 0,3 поровых объема модели ($V_{пор}$) с двумя различными технологическими подходами, а именно:

- В опыте № 1 производилась промывка торца насыпной модели пресной водой, далее закачивалось 0,3 $V_{пор}$ полимерной композиции одной оторочкой с тем же расходом, что и при базовом заводнении без ограничения градиента давления. Затем торец модели вновь промывали пресной водой;

- В опыте № 2 после промывки торца насыпной модели закачивалось 0,1 $V_{пор}$ полимерной композиции с тем же расходом, что и при базовом заводнении без ограничения градиента давления. Затем торец промывался пресной водой и далее закачивалась высокоминерализованная пластовая вода Месторождения 3 в объеме 0,1 $V_{пор}$ тем же расходом. После промывки торца пресной водой производилась закачка второй подоторочки полимерной композиции в объеме 0,1 $V_{пор}$. Затем торец промывался пресной водой, и повторялась закачка 0,1 $V_{пор}$ пластовой воды, после чего торец опять промывался пресной водой и осуществлялась закачка третьей подоторочки полимерной композиции объемом 0,1 $V_{пор}$.

Таким образом, объем закачанного рабочего раствора состава на основе водораство-

римого полиакрилата натрия в опытах № 1 и № 2 был одинаковым, но отличался тем, что во втором опыте закачивался тремя оторочками по $0,1 V_{\text{пор}}$, между которыми закачивалась пластовая вода такого же объема.

Целями такой закачки были достижение более полного, с точки зрения охвата, распределения реагента в керновом материале и потенциальное увеличение зоны физико-химического воздействия. Динамика изменения градиента давления и коэффициента вытеснения нефти в опытах № 1 и № 2 приведена на рисунках 1 и 2 соответственно.

Далее в обоих опытах вновь осуществлялась закачка пластовой воды до стабилизации градиента давления и коэффициента вытеснения, и определялись прирост коэффициента вытеснения нефти за счет полимерной композиции, конечная фазовая проницаемость по воде и фактор остаточного сопротивления. Основные результаты фильтрационных опытов приведены в таблице 2. При нагнетании воды на последнем этапе опыта № 1 был отмечен выход части полимера из керна в мерный цилиндр.

1 — коэффициент вытеснения; 2 — градиент давления

Рисунок 1. Динамика изменения основных показателей вытеснения нефти водой в опыте № 1 при закачке полимерной оторочки $0,3 V_{\text{пор}}$ одновременно

1 — коэффициент вытеснения; 2 — градиент давления

Рисунок 2. Динамика изменения основных показателей вытеснения нефти водой в опыте № 2 при закачке полимерной оторочки по $0,1 V_{\text{пор}}$ с разобщающими оторочками пластовой воды

Таблица 2. Основные результаты фильтрационных экспериментов

№ опыта	Проницаемость, $\cdot 10^{-3}$ мкм ²			K _{выт.} до состава, д.ед.	Прирост K _{выт.} , %	Фактор сопротивления, д.ед.	Фактор остаточного сопротивления, д.ед.
	по нефти	по воде до состава	по воде после состава				
1	2940,26	88,26	86,16	0,522	7,2	3,1	1,024
2	3074,22	92,18	44,59	0,531	10,1	5,4	2,100

Как видно из таблицы 2, прирост K_{выт.} при закачке трех подоторочек полимерной композиции по 0,1 V_{пор} с разобщающими оторочками пластовой воды существенно больше, чем при закачке 0,3 V_{пор} одновременно. При этом во втором опыте выноса полимера из модели не наблюдалось, полимер остался полностью в модели пористой среды. Более того, после разбора кернодержателя насыпной модели пористой среды после опыта № 2 были обнаружены отложения примерно в трех областях, что соответствует количеству закачанных подоторочек полимерной композиции.

Таким образом, для полноты реакции состава на основе водорастворимого полиакрилата натрия с поливалентными катионами пластовой воды и повышения эффективности воздействия ПОТ на водопромытую часть пласта закачку расчетного объема рабочих растворов необходимо разделить на подоторочки с изоляцией пресной водой и чередовать с осаждающими оторочками пластовой воды.

Учет степени выработки запасов на участках применения ПОТ

Опыт применения ПОТ показывает, что с увеличением степени выработки запасов

нефти на участках воздействия и при закачке одних и тех же объемов рабочих растворов водоизолирующих составов технологический эффект неуклонно снижается. Так, в 2012 г. участок применения технологии, включающий в себя 11 нагнетательных и 55 реагирующих добывающих скважин башкирского яруса Месторождения К, характеризуется удельным технологическим эффектом в размере 831 т на 1 скважино-операцию. Повторная обработка участка в 2014 году показала снижение этого показателя до 300 т на 1 скважино-операцию.

Ключевым параметром обработки ПОТ является величина замещенного порового объема. При выработанности извлекаемых запасов выше 70 % объем закачки рабочих растворов должен быть от 1,0 % до 5,0 % замещенного порового объема [2]. Степень выработанности запасов объекта А4 Месторождения 3 составляет выше 70 %, в связи с чем в 2017 г. были проведены ОПИ на Месторождении 3 с кратным увеличением объемов закачки рабочих растворов состава на основе водорастворимого полиакрилата натрия, обеспечивающих более 1,0 % замещенного порового объема (таблица 3).

Таблица 3. Данные по обработкам 2017 г. на Месторождении 3 (обычный и удвоенный объемы закачки)

Объем закачки, м ³ /скв.	Количество обработанных нагнетательных скважин	Количество реагирующих добывающих скважин	Дополнительная добыча, т	Удельный эффект, т
380	11	48	8118	738
740	5	28	7934	1587

При этом закачка рабочих растворов осуществлялась чередующимися пачками по описанной выше технологии. Из данных таблицы 3 следует, что предлагаемый подход полностью оправдал себя, поскольку технологический эффект на участках, где производилась закачка увеличенных объемов рабочих растворов, был выше более чем в 2 раза.

Эффективность физико-химического воздействия и изменение фильтрационной картины на участках применения ПОТ можно оценить с помощью трассерных исследований, которые проводятся до и после применения ПОТ. На рисунке 3 приведены розы-диаграммы, иллюстрирующие распространение трассера на участке применения ПОТ на очаге

скважины № 4А объекта А4 Месторождения 4 с выработкой запасов до 70 % от начально извлекаемых.

Из рисунка 3 видно, что основной поток закачиваемой воды (более 60 %) до обработки уходил в северо-западном направлении, а после воздействия — в юго-восточном направлении, что показывает высокую эффективность применения ПОТ.

Таким образом, наблюдается кардинальное изменение фильтрационной картины на участке. Динамика показателей разработки данного участка (рисунок 4) показывает, что после воздействия наблюдается снижение обводненности и повышение добычи нефти.

Рисунок 3. Розы-диаграммы трассера до (слева) и после (справа) применения ПОТ на очаге скважины № 4А Месторождения 4

Рисунок 4. Динамика показателей разработки участка скважины № 4А

Применение трассерного метода до и после применения ПОТ на высоко выработанных участках трещиноватых коллекторов показало неожиданный результат. На рисунке 5 приведены розы-диаграммы распределения закачиваемой воды до и после применения ПОТ на участке скважины № 3В Месторождения 3.

Из рисунка 5 видно, что применение ПОТ привело к значительному изменению фильтрационной картины на участке. Однако анализ динамики показателей разработки пока-

зал, что обводненность и дебит нефти на участке практически не изменились.

При этом была выявлена основная особенность динамики выноса трассера в продукции реагирующих скважин на участках с высокой выработанностью запасов, которая заключается в выносе в первые сутки трассера по сквозным трещинам между забоями нагнетательной и добывающих скважин с последующим непрерывным выносом трассера в течение длительного времени по гидродинамически связанным высокопроницаемым каналам

Рисунок 5. Розы-диаграммы распределения закачиваемой воды в скважине № 3В Месторождения 3 (слева — до применения ПОТ, справа — после применения ПОТ)

фильтрации, что указывает на обводненность значительной части разреза продуктивной толщи башкирского яруса. На рисунке 6 при-

ведена динамика выноса трассера из добывающей скважины № 3Д1 очага нагнетательной скважины № 3В.

Рисунок 6. Динамика выноса индикатора из скважины №3 Д1 очага нагнетательной скважины № 3В Месторождения 3

Из рисунка 6 видно, что трассер выносился непрерывно в течение 480 ч. Эту особенность необходимо учитывать при планировании физико-химического воздействия.

Таким образом, причина отсутствия или незначительности технологического эффекта от применения ПОТ заключается в том, что на участках с высокой выработкой запасов нефти применение малообъемных ПОТ может привести к такому изменению фильтрационной картины, когда происходит частичная изоляция трещин и ВКФ, однако поток закачиваемой воды перенаправляется на менее проницаемые обводненные пропластки. Соответственно, охват нефтенасыщенной части

продуктивного пласта заводнением практически не меняется.

Анализ результатов текущего исследования и исследования, проведенного авторами в 2014 г., указывает на успешное перераспределение фильтрационных потоков при использовании состава на основе водорастворимого полиакрилата натрия, однако в связи с истощением залежи потоки воды перераспределяются в основном в ранее охваченные заводнением области, что не позволяет добиться существенного снижения обводненности добываемой жидкости. По мере увеличения замещенного порового объема на очагах воздействия рекомендуется применять больше-

объемные гелеполимерные обработки с закачкой рабочих растворов не менее 5–10 % замещенного порового объема с добавлением эффективных ПАВ нового поколения, позволяющих снизить поверхностное натяжение до 10^{-2} – 10^{-3} мН/м.

Таким образом, при применении ПОТ необходимо учитывать выработанность запасов нефти, и по мере выработанности запасов корректировать объемы закачиваемых рабочих растворов в сторону кратного увеличения.

Выводы

1. С целью наиболее полного взаимодействия компонентов водоизолирующих составов и увеличения зоны их физико-химического воздействия в условиях трещиноватых карбонатных коллекторов закачку расчетного объема составов, для которых поливалентные

катионы являются сшивателями, необходимо осуществлять чередующимися циклами оторочек осадкообразующего состава с оторочками высокоминерализованной пластовой воды или растворов солей поливалентных металлов.

2. Особенностью применения малообъемных ПОТ на участках с высокой выработанностью запасов в трещиноватых коллекторах является их низкая технологическая эффективность, связанная с перераспределением закачиваемой воды с трещин на ранее охваченные заводнением высокопроницаемые пропластки матрицы, таким образом, для получения экономически рентабельного технологического эффекта требуется значительное увеличение объемов закачки водоизолирующих составов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков К.А., Борхович С.Ю., Волков А.А., Милловзор Г.В., Чеботарев В.В. Исследование термодинамического воздействия на призабойную зону скважин // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6. С. 198–203. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/VolkovKA/VolkovKA_1.pdf (дата обращения: 06.05.2020).

2. Бельх А.М., Перевощиков Д.О., Ганиев И.М., Исмагилов Т.А. Инновационный подход к применению физико-химических методов увеличения нефтеотдачи на карбонатных коллекторах месторождений ОАО «Удмуртнефть» // Территория «Нефтегаз». 2018. № 6. С. 36–50.

3. Перевощиков Д.О., Бельх А.М., Исмагилов Т.А., Ганиев И.М. Опыт применения гелеобразующей композиции «Геопан-М» на месторождениях ОАО «Удмуртнефть» // Инженерная практика. 2015. № 6–7. С. 34–37.

4. Бельх А.М., Перевощиков Д.О., Ганиев И.М., Исмагилов Т.А. Совершенствование потокоотклоняющих технологий на основе полимерных систем для карбонатных коллекторов ОАО «Удмуртнефть» // Инженерная практика. 2016. № 7. С. 22–27.

REFERENCES

1. Volkov K.A., Borkhovich S.Yu., Volkov A.Ya., Milovzorov G.V., Chebotarev V.V. Issledovanie termotsiklicheskogo vozdeistviya na prizaboinuyu zonu skvazhin [Research of Thermocyclic Effect on Bottom-Hole For-

mation Zone]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» — Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2012, No. 6, pp. 198–203. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/VolkovKA/VolkovKA_1.pdf (accessed 06.05.2020). [in Russian].

2. Belykh A.M., Perevoshchikov D.O., Ganiev I.M., Ismagilov T.A. Innovatsionnyi podkhod k primeneniyu fiziko-khimicheskikh metodov uvelicheniya nefteotdachi na karbonatnykh kollektorakh mestorozhdeniiy OAO «Udmurtneft'» [Innovative Approach to the Application of Physicochemical Enhanced Oil Recovery in Carbonate Reservoirs of Udmurtneft OJSC Fields]. *Territoriya «Neftegaz» — Oil and Gas Territory*, 2018, No. 6, pp. 36–50. [in Russian].

3. Perevoshchikov D.O., Belykh A.M., Ismagilov T.A., Ganiev I.M. Opyt primeneniya geleobrazuyushchei kompozitsii «Geopan-M» na mestorozhdeniyakh OAO «Udmurtneft'» [The Experience of Using the Gel-Forming Composition «Geopan-M» in the Fields of OJSC «Udmurtneft'»]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2015, No. 6–7, pp. 34–37. [in Russian].

4. Belykh A.M., Perevoshchikov D.O., Ganiev I.M., Ismagilov T.A. Sovershenstvovanie potokootklonyayushchikh tekhnologii na osnove polimernykh sistem dlya karbonatnykh kollektorov OAO «Udmurtneft'» [Improving Flow Diverting Technologies Based on Polymer Systems for Carbonate Reservoirs of OJSC Udmurtneft]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2016, No. 7, pp. 22–27. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Ганиев Ильгиз Маратович, канд. хим. наук, начальник отдела разработки и внедрения методов повышения нефтеотдачи пласта, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Ilgiz M. Ganiev, Candidate of Chemical Sciences, Head of Department for Development and Implementation of Enhanced Oil Recovery Methods, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: GanievIM@bnpnpi.rosneft.ru

Яковлев Кирилл Валерьевич, канд. хим. наук, ведущий специалист отдела разработки и внедрения методов повышения нефтеотдачи пласта, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Kirill V. Yakovlev, Candidate of Chemical Sciences, Leading Specialist of Department for Development and Implementation of Enhanced Oil Recovery Methods, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: yakovlev-ky@bnipi.rosneft.ru

Белых Андрей Михайлович, заместитель начальника управления, ОАО «Удмуртнефть», г. Ижевск, Российская Федерация

Andrey M. Belykh, Deputy Head of Directorate, Udmurtneft OJSC, Izhevsk, Russian Federation

e-mail: AMBelykh@udmurtneft.ru

Исмагилов Тагир Ахметсултанович, канд. техн. наук, эксперт, ООО «Ресурс», г. Уфа, Российская Федерация

Tagir A. Ismagilov, Candidate of Engineering Sciences, Expert, Resurs LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: IsmagilovTA@yandex.ru