СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ**MODERN PRACTICE OF SALT DEPOSITION PREVENTING AND REMOVING****Г. Р. Пучина**
Gulfiya R. PuchinaООО «Уфимский
научно-технический центр»,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa Scientific-Technical Center LLC,
Ufa, Russian Federation**В. В. Рагулин**
Viktor V. RagulinООО «Уфимский
научно-технический центр»,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa Scientific-Technical Center LLC,
Ufa, Russian Federation**А. Г. Телин**
Aleksey G. TelinООО «Уфимский
научно-технический центр»,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa Scientific-Technical Center LLC,
Ufa, Russian Federation**С. Р. Алимбекова**
Sofia R. AlimbekovaУфимский государственный
авиационный технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Aviation
Technical University,
Ufa, Russian Federation**Р. Н. Бахтизин**
Ramil N. BakhtizinУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation**А. И. Волошин**
Aleksandr I. VoloshinООО «РН-БашНИПИнефть»,
г. Уфа, Российская ФедерацияBashNIPIneft LLC,
Ufa, Russian Federation**В.А. Докичев**
Vladimir A. DokichevУфимский Институт химии
УФИЦ РАН,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa Institute of Chemistry
of Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russian Federation

Проблема солевых отложений является постоянным спутником эксплуатации скважинного и подземного оборудования как на начальных, так и на завершающих стадиях разработки нефтяных месторождений. Несмотря на различные причины процесса солеотложений, его последствия одинаково негативно влияют на эффективность добычи нефти. Накапливаясь в добывающих скважинах и в нефтесборных коммуникациях, отложения неорганических солей портят дорогостоящее оборудование, приводят к ремонтным работам и, как следствие, к недобору нефти. Проблема солеотложения на большинстве активно разрабатываемых нефтяных месторождений в последние годы получила особую актуальность в связи с ростом объемов добываемой пластовой жидкости и увеличением обводненности добываемой продукции. Статья посвящена обзору современных методов борьбы с солеотложением при нефтедобыче, преимуществ и недостатков ключевых подходов по предупреждению и удалению отложений. Показано, что, исходя из экономической эффективности, в зависимости от условий и особенностей эксплуатации объекта могут использоваться разные способы предотвращения солеобразования. Описаны существующие методы предотвращения отложения солей с классификацией на технологические, физические и химические.

Ключевые слова

солеобразование;
солеотложение; предотвращение
солеобразования; добыча нефти;
борьба с отложениями
неорганических солей в скважине;
выпадение солей в осадок

The problem of salt deposition is a constant companion for the operation of downhole and underground equipment at both the initial and final stages of oil field development. Despite the various reasons for the salt deposition process, its consequences have the same negative impact on the efficiency of oil production. Accumulating in production wells and in oil-gathering communications, deposits of inorganic salts spoil expensive equipment, lead to repair work, and, as a result, to a shortage of oil. The problem of salt deposition in the majority of actively developed oil fields in recent years has become particularly relevant due to the increase in the volume of produced reservoir fluid and the increase in the water content of the products. The article is devoted to the review of modern methods of combating salt deposition in oil production, advantages and disadvantages of key approaches to prevent and remove deposits. It is shown that based on economic efficiency, depending on the conditions and features of the object's operation, different methods of preventing salt formation can be used. The existing methods of preventing salt deposition with classification into technological, physical and chemical are described.

Key words

salt formation; salt deposition;
prevention of salt formation;
oil production; control
of inorganic salt deposits in a well;
salt precipitation

Применяемые в настоящее время способы разработки нефтяных месторождений с поддержанием пластового давления путем закачки воды приводят к осложнениям в добыче нефти, вызванным солеобразованием в призабойной зоне пласта (ПЗП) и нефтепромысловом оборудовании [1]. Актуальность проблемы солеотложения связана с ростом на большинстве активно разрабатываемых нефтяных месторождений объемов добываемой пластовой жидкости и увеличения обводненности добываемой продукции. Тенденция к росту числа осложненных солеобразованием скважин отмечается многими нефтедобывающими компаниями [2–7].

Борьба с солеобразованием в нефтедобыче ведётся в двух направлениях — удаление образовавшихся отложений и предотвращение их формирования. Как показывает практика, затраты на предупреждение солеотложения в десятки раз меньше, чем финансовые потери, возникающие при устранении последствий отложения солей в нефтедобывающем оборудовании [8]. Исходя из экономической эффективности, в зависимости от условий и особенностей эксплуатации объекта могут использоваться разные подходы предотвращения солеобразования. Существующие методы предотвращения солевых отложений можно разделить на физические, химические и технологические [5].

Физические методы

К физическим методам относятся: воздействие на водные растворы солей магнитными, акустическими или электромагнитными полями.

В нефтепромысловой практике применяют оборудование с постоянными магнитами.

Газожидкостные смеси, проходя через магнитное устройство, меняют структуру солей, снижая при этом адгезию к поверхности металлического оборудования [9, 10]. Ряд исследователей отмечали влияние электромагнитного поля на отложения солей бария в ходе проведения опытно-промышленных испытаний. Так, на Урьевском месторождении замечено, что постоянный контакт с потоком омагниченной жидкости способствует превращению твердых отложений сульфата бария в пористые и рыхлые [11].

Предприятие ООО «Пилот», опираясь на данные исследований о влиянии электромагнитных импульсов на процесс солеобразования, разработало резонансно-волновой комплекс РВК «Пилот-1» [12]. С использованием РВК «Пилот-1» средняя наработка на испытуемых скважинах на предприятии в ПАО «НК «Роснефть» увеличилась с 79 до 229 сут. В АО «Башнефть» произошло увеличение средней наработки на отказ, что привело к решению о промышленном внедрении РВК «Пилот-1» [13]. Также известно оборудование для магнитной обработки фирм Integra Tech Associates и Magnetic Technology Australia, среди российских производителей — фирмы «Нефтегазтехнология», которая производит системный активатор NBF-1A. По статистике производителя «Нефтегазтехнология», обработка скважин в «РН-Пурнефтегаз» активатором NBF-1A увеличила наработку в два раза — со 146 до 280 сут [14].

Использование электромагнитного поля тоже приводит к снижению адгезии солей к поверхности металлического оборудования, но для осуществления метода необходим по-

стоянный источник электроэнергии у устройства [7, 10].

Принцип работы акустического метода состоит в создании излучателем акустического поля, который позволяет предотвратить или ослабить процесс солеобразования [15]. В результате интенсивной кавитации образовавшиеся кристаллы солей находятся во взвешенном состоянии в объеме жидкости и не отлагаются на поверхности оборудования [7].

Несмотря на положительные результаты испытаний, магнитные, электромагнитные и акустические приборы не применяются повсеместно. Дело в том, что применение этих устройств не исключает образование солевых отложений на пути движения жидкости, имеет локальный характер воздействия, защищает небольшие участки оборудования возле места установки устройства.

Технологические методы

Применение разных видов покрытий оборудования и деталей из специальных материалов является одним из технологических методов. К таким покрытиям, обладающим низкой адгезией к выпавшим отложениям, относятся покрытия и детали из полимеров, эмали, лаков и стекла. Сложность нанесения на поверхность, недолговечность и высокая стоимость являются основными недостатками покрытий. В качестве примера можно привести оборудование Baker Hughes Centrilift, разработки фирмы «Дюпонт». Из российских производителей известна фирма «Ижнефтепласт» [14].

Применение конструктивных изменений в расположении насосного оборудования позволяет замедлить солеотложение. Считается, рост скорости потока затрудняет образование отложений гипса в эксплуатационной колонне [3].

Подготовка и использование специальных вод, химически совместимых по своему составу с пластовыми, позволяет значительно снизить интенсивность образования отложений солей при эксплуатации скважин. Предупреждение отложения солей достигается исключением смешения несовместимых вод. Преимущества — высокая эффективность, сохранение продуктивности скважин; недостатки — высокая стоимость и сложность исполнения.

Применение безреагентных методов не воздействует на причины образования солей, поэтому не исключает образование осадков. Эти методы увеличивают продолжительность

бесперебойной работы оборудования, но являются лишь вспомогательными мерами его защиты.

Химические методы

В настоящее время применение ингибиторов солевых отложений для предупреждения осложнений является наиболее распространенным и эффективным методом в технико-экономическом отношении [2, 16].

Нефтяная промышленность располагает большим ассортиментом ингибиторов солевых отложений, применяются органические производные фосфоновой и фосфорной кислот, полимеры и сополимеры акриловой и малеиновой кислот, неиногенные полифосфаты, низкомолекулярные поликарбоновые кислоты и разнообразные композиции [2, 3, 17, 18]. Стремление к рациональному природопользованию требует оптимизации количества и свойств химических реагентов. Одним из приоритетных направлений является создание экологически безопасных реагентов и технологий для нефтепромысловой химии [19]. Среди многообразия органических соединений полисахариды представляют большую группу природных веществ, которая признана экологически безопасной и нетоксичной. Свойства полисахаридов изучены не полностью, и есть основания полагать, что их исследование может привести к созданию новых активных основ ингибиторов солеотложений. Различные водорастворимые полисахариды оказывают влияние на кристаллообразование, морфологию, размеры частиц кальциевых солей [20]; есть данные о создании новых эффективных и биоразлагаемых ингибиторов солеотложения [21].

Эффективность предупреждения солевых отложений зависит как от природы ингибитора, так и от метода его применения. Постоянное присутствие реагента в растворе позволяет добиться положительных результатов вне зависимости от типа и механизма действия ингибитора. При этом введение ингибитора до начала кристаллизации позволяет достичь лучших результатов [22]. Технология применения ингибиторов зависит от расположения зон солеотложения, свойств реагента, характеристики призабойной зоны пласта, конструктивных особенностей скважины, наземного оборудования и т.д. [3].

Основные способы применения ингибиторов включают в себя непрерывную подачу в затрубное пространство скважины наземными

дозировочными устройствами напрямую или через капилляр, периодическую подачу ингибитора в затрубное пространство скважин, периодическое задавливание ингибитора в призабойную зону продуктивного пласта, размещение ингибитора в призабойной зоне пласта при его гидроразрыве, дозирование глубинными дозаторами во внутрискважинное оборудование.

Метод непрерывной подачи ингибиторов является одним из наиболее распространенных, при котором достигается оптимальный расход ингибитора, но он требует контроля работы и обслуживания дозировочных насосов персоналом. Данная технология имеет ряд недостатков: во-первых, не исключает образование в призабойной зоне скважины отложений, во-вторых, паузы в подаче ингибитора приводят к образованию солеотложений в глубинно-насосном оборудовании. Возобновление подачи ингибитора не приводит к удалению отложений, которые возникли во время перерыва в подаче реагента [2, 23].

Непрерывная подача ингибитора достигается применением разных дозировочных устройств, устанавливаемых на устье скважины. Точное дозирование ингибиторов солеотложения может достигаться с помощью дозировочных насосов с малыми подачами по капиллярным системам. Капиллярной системой обеспечивается доставка реагента в требуемую точку ввода (на прием насоса, в зону перфорации и др.) с наиболее эффективной дозировкой. Технология применима при любой обводненности продукции скважины с дебитом до 1500 м³ жидкости в сутки.

Предприятия ООО «Синергия-Лидер», ООО «Пермгеокабель», ООО Инжиниринговая компания «Инком-Нефть» производят различные виды капиллярных систем. Работы по стандартизации капиллярных систем обеспечивают взаимозаменяемость и совместное использование капиллярных трубопроводов разных производителей. Услуги по оснащению скважин этими системами оказывают такие сервисные компании, как Schlumberger, Halliburton, BakerHughes, Watherford и др. В России и ближайшем зарубежье дозирование через капиллярные системы эффективно рекомендовало себя на месторождениях ООО «Лукойл-Пермь» [24] и предприятиях Казахстана при борьбе с отложениями барита [25, 26]. Постоянный контроль и обслуживание наземной дозирующей установки, риск

повреждения капиллярного трубопровода являются недостатками данной технологии [27].

Для технологии непрерывного дозирования ИСО и подачи в поток добываемой жидкости применяются разные скважинные глубинные дозаторы, позволяющие осуществлять дозирование как жидких, так и твердых ингибиторов. Они позволяют применять концентрированные реагенты, подавать их непосредственно в поток добываемой жидкости. Технология с использованием погружного контейнера экономически эффективна для малodeбитных скважин (предпочтительно до 40 м³/сут) с малыми наработками на отказ (менее 100 сут), так как количество реагента в контейнере ограничено и дополнительная заправка глубинного дозатора возможна только после извлечения оборудования из скважины.

Авторами [28] предложен метод защиты межтрубного пространства скважин путем введения ингибиторов в виде стабильной пены на основе азота через затрубную задвижку. Такие обработки с применением композиций в виде пены проводятся на скважинах, на которых наблюдаются отложения солей с преимущественным содержанием сульфида железа [29].

При условии отложения солей в зоне ПЗП реагент желательнее подавать в пласт скважины (задавка ингибитора солеотложения). Практикой выявлено, что в промысловых условиях наиболее удобным в исполнении способом является способ периодической закачки ингибитора в ПЗП [2, 5]. Применение технологии позволяет успешно предотвращать образование и отложение различных солей в ПЗП и на насосном оборудовании. Рекомендовано применять ингибиторы, содержащие в своем составе не только активную основу, но и дополнительные компоненты (поверхностно-активные вещества, спирты и т.д.), которые способствуют более полному поглощению реагента пластом [30]. В рамках проекта «Системы Новых Технологий» выполнены исследования и внедрение технологии задавки ингибиторов солеотложения в пласт [31]. Работы включали исследовательскую часть, опытно-промысловые испытания и анализ эффективности внедрения технологий. Дальнейшее применение разработанных технологий позволило плодотворно эксплуатировать скважины месторождений ООО «РН-Пурнефтегаз» и ООО «РН-Юганскнефтегаз». Опыт проведения обработок выя-

вил как положительные, так и отрицательные стороны технологии [5, 27]. Достоинствами метода являются простота проведения и высокая доля успешных обработок скважин. Основным недостатком является быстрый и неравномерный вынос реагента, т.е. большой расход ингибитора. Так, на Талинском месторождении ОАО «ТНК-Нягань» в первые сутки вынос ингибитора достигал 200 мг/м³ [25]. Отсутствие возможности регулировки дозирования реагента в ряде случаев снижает эффективность технологии из-за несовместимости пластовых вод с высоким содержанием десорбирующегося ингибитора в водной среде.

Технология дозирования ингибитора через систему поддержания пластового давления (ППД) состоит в закачке ингибитора через КНС в нагнетательную скважину в течение определенного времени с рассчитанной периодичностью. Пласт работает как осреднительный резервуар, концентрация ингибитора близка к постоянной. Данный метод эффективно применим при воздействии одновременно на группу солеотлагающих добывающих скважин, которые обладают стабильными гидродинамическими связями с нагнетательными скважинами. При этом ингибитор должен минимально адсорбироваться на поверхности пор породы. Данная технология применима на месторождениях с площадной и очаговой системой заводнения, с небольшими расстояниями между нагнетательными и добывающими скважинами, позволяющими ингибитору пройти путь к добывающим скважинам за короткое время с минимальными потерями [2]. Из-за значительных непроизводительных потерь ингибитора в скважинах с повышенной обводненностью технология закачки ингибитора через систему поддержания пластового давления экономически неэффективна в сравнении с технологиями задавки ингибитора в пласт и постоянного дозирования. Метод закачки ингибитора через систему ППД конкурентоспособен при обработке группы скважин нагнетательного фонда, при этом осложненный солеотложением фонд добывающих скважин значителен [32].

В настоящее время преимущественно применяются технологии периодической заливки ингибитора и его постоянное дозирование в затрубное пространство скважины напрямую или с помощью капиллярных систем [3].

Методы удаления неорганических солей

Удаление отложений неорганических солей возможно двумя путями: механическим и химическим. Механические методы удаления отложений заключаются в разламывании и измельчении солевых отложений с помощью фрез, ударного инструмента; гидромеханических струйных методов (добавление к водной струе твердой фазы); очистка скребками. Химические способы — это обработка скважин реагентами, которые растворяют неорганические соли.

Карбонатные отложения эффективно удаляются растворами кислот. Защита нефтепромыслового оборудования обеспечивается введением в растворы кислот ингибиторов коррозии. Наибольшее применение в кислотных обработках металлических поверхностей нашла соляная кислота, в небольших количествах органические кислоты: уксусная, муравьиная, лимонная, сульфаминовая [3, 33, 34].

Удаление сульфатных отложений возможно конверсией осадка с дальнейшим растворением продуктов реакции кислотой. Наибольшее распространение в качестве растворителей получили карбонаты, бикарбонаты натрия, гидроксиды натрия и калия.

К примеру, конверсия отложений гипса под воздействием карбоната натрия проходит в соответствии реакции:

Далее карбонат кальция растворяют раствором соляной кислоты:

Этот способ является наиболее эффективным на начальной стадии и для удаления пористых, рыхлых отложений [2].

Удовлетворительные результаты могут быть получены при обработке отложений гипса 15 %-ым раствором соляной кислоты. Улучшению растворимости сульфата кальция в кислотном составе способствует предварительное введение неорганических солей, не имеющих общих ионов с CaSO₄, например NaCl.

Также для борьбы с отложениями применяют хелатные соединения, растворяющие и связывающие ионы кальция и бария в хелатные комплексы. Например, щелочные растворы этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) растворяют как карбонатные,

так и сульфатные отложения. К сожалению, обработка с помощью ЭДТА медленная и дорогая [14]. Компанией «Akzo Nobel» разработаны растворители Dissolvine GL и Dissolvine®M-40 на основе GLDA (глутаминовая кислота-N,N-диуксусная кислота) и MGDA (метилглицин-N,N-диуксусная кислота), способные удалять карбонатные, сульфатные и сульфидные отложения.

До начала работ по обработке отложений следует определиться с местоположением, количеством и характером солевых отложений. Для выбора типа реагента по удалению солеотложений необходимо знать состав отложений. 10–12-кратный избыток реагента по отношению к массе осадка обеспечивает минимальное время реакции. Наилучшие результаты достигаются при непрерывной циркуляции раствора по схеме «емкость — насос — скважина — емкость», позволяющей

обеспечивать систематический вынос из скважины продуктов реакции.

Вывод

Современный этап эксплуатации большинства нефтяных месторождений России связан с извлечением на поверхность больших объемов попутно-добываемых вод. В результате роста обводнения добываемой продукции увеличивается и риск солеотложений. Вопросы о борьбе с солеотложениями остаются актуальными и на данный момент. Борьба с отложениями солей в скважинном оборудовании не имеет универсальных подходов, каждый случай образования солей имеет свой индивидуальный подход, и причину образования отложений следует изучать на конкретных месторождениях, учитывая все геолого-физические и технологические факторы. Предупреждение солеобразования должно быть постоянным направлением борьбы с соевыми отложениями.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. Владивосток: Дальнаука, 2011. 288 с.
2. Кашавцев В.Е., Гаттенбергер Ю.П., Люшин С.Ф. Предупреждение солеобразования при добыче нефти. М.: Недра, 1985. 215 с.
3. Кашавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразование при добыче нефти. М.: Орбита, 2004. 432 с.
4. Глущенко В.Н., Денисова А.В., Силин М.А., Пташко О.А. Ингибиторная защита нефтепромыслового оборудования от коррозии и солеотложений. Уфа: Китап, 2013. 592 с.
5. Антипин Ю.В., Валеев М.Д., Сыртланов А.Ш. Предотвращение осложнений при добыче обводненной нефти. Уфа: Башкирское книжное издательство, 1987. 168 с.
6. Емков А.А. Методы борьбы с отложениями неорганических солей в оборудовании подготовки нефти. Серия: Техника и технология добычи нефти и обустройство нефтяных месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 1988. Вып. 4. 51 с.
7. Люшин С.Ф., Глазков А.А., Галеева Г.В., Антипин Ю.В., Сыртланов А.Ш. Отложения неорганических солей в скважинах призабойной зоны пласта и методы их предотвращения. М.: ВНИИОЭНГ, 1983. 100 с.
8. Маркин А.Н., Подкопай А.Ю., Низамов Р.Э. Коррозионные повреждения насосно-компрессорных труб на месторождениях Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 1995. № 5. С. 30–33.
9. Присяжнюк В.А. Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2003. № 10. С. 26–30.
10. Шангараева Л.А. Обоснование технологии предотвращения выпадения сульфата бария в скважинном

оборудовании Миннибаевской площади Ромашкинского месторождения: дис. ... канд. тех. наук. СПб.: 2013. 140 с.

11. Хуршудов А.Г., Залялиев М.А., Плечев А.В., Никифоров С.Ю. Предотвращение отложений сульфата бария путем магнитной обработки жидкости // Нефтяное хозяйство. 1995. № 5–6. С. 56–58.
12. Пат. 2570870 РФ, МПК Е 21 В 37/00. Электромагнитный излучатель, устройство и способ ингибирования образования отложений и коррозии скважинного оборудования / С.Ш. Шарипов, В.Г. Акшенцев, А.С. Шулаков, С.Н. Греков, С.Р. Алимбекова, Р.И. Алимбеков, В.А. Докичев. 2014123667/03; Заявлено 10.06.2014; Опубл. 10.12.2015. Бюл. 34.
13. Исаков А.В. Активная защита оборудования от солеотложений // Инженерная практика. 2014. № 2. С. 10–11.
14. Камалетдинов Р.С. Обзор существующих методов предупреждения и борьбы с солеотложением в погружном оборудовании // Инженерная практика. 2009. № 12. С. 12–15.
15. Абдуллаев А.Н., Мудуев М.М., Султанов Ю.И. Ультразвуковой способ предотвращения твердых отложений // Нефтепромысловое дело. 1979. № 7. С. 13–14.
16. Jordan M.M., Mackey E.J. Scale Control in Deepwater Fields: use Interdisciplinary Approach to Control Scale // World Oil. 2005. Vol. 226. Issue 9. P. 75–80.
17. Kelland M.A. Production Chemical for the Oil and Gas Industry. Boca Raton: CRC Press, 2014. 400 p.
18. Силин М.А. Промысловая химия. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2016. 350 с.
19. Жуков А.Ю. Методы «зеленой» химии: новые экологичные решения в области нефтепромысловых реагентов // Нефтяное хозяйство. 2010. № 8. С. 138–139.

20. Kontrec J. Influence of Some Polysaccharides on the Production of Calcium Carbonate Filler Particles // *Journal of Crystal Growth*. 2008. Vol. 310. P. 4554–4560.

21. Докичев В.А., Коптяева Е.И., Ишмуратов Ф.Г., Алимбекова С.Р., Томилов Ю.В., Нифантьев Н.Э. Углеводы — новый класс «зеленых» ингибиторов солеотложений // *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 5. С. 92–94.

22. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. 653 с.

23. Ким В.К. Прогнозирование и предупреждение отложения карбоната кальция в добывающих скважинах Самотлорского месторождения: дис. ... канд. техн. наук. Нижневартовск, 1985. 178 с.

24. Сюр Т.А. Анализ эффективности методов защиты ГНО, применяемых на месторождениях ООО «Лукойл-Пермь» // *Инженерная практика*. 2012. № 12. С. 38–43.

25. Денисова А.В. Результат применения ингибитора коррозии и солеотложений производства ООО «Флэк» при защите ГНО в России, Казахстане и Белоруссии // *Инженерная практика*. 2012. №12. URL: <https://glavteh.ru/результаты-применения-ингибиторов-к> (дата обращения: 01.11.2019).

26. Рагулин В.В., Абдрашитов Н.З., Телин А.Г., Жапаров Н.С., Данабаев А.С., Дильмаганбет Н.С. Адаптация методов борьбы с осложнениями в процессах нефтедобычи на Узеньском месторождении // *Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений: тез. междунар. науч.-практ. конф. Актау, 2019*. С. 381–393.

27. Касливцев Р.В., Токарева Н.М. Анализ внедрения технологии закачки ингибитора солеотложений в пласт для предотвращения отложений неорганических солей в призабойной зоне добывающих скважин для условий нефтяных месторождений Республики Башкортостан // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2016. № 2. С. 105–119. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/2_2016/ogbus_2_2016_p105-119_KaslivtsevRV_ru.pdf (дата обращения: 01.11.2019). DOI: 10.17122/ogbus-2016-2-105-119.

28. Пат. 2174590 РФ, МПК Е 21 В 41/02. Способ защиты от коррозии и солеотложений внутрискважинного оборудования / Ю.В. Антипин, Р.Ф. Габуллин, Н.Р. Яркеева, М.И. Саматов, С.В. Дорофеев, И.Ф. Алетдинов. 2000130180/03, Заявлено 04.12.2000; Оpub.: 10.10.2001. Бюл. 28.

29. Антипин Ю.В., Гильмутдинов Б.Р., Мусин Р.Р. Повышение эффективности эксплуатации скважин при добыче сероводородсодержащей продукции // *Нефтяное хозяйство*. 2006. № 12. С. 118–120.

30. Валекжанин И.В., Волошин А.И., Кушнаренок Д.В., Кунаев Р.У. Задача ингибитора в пласт Верхнечечонского месторождения для предупреждения отложения гипса из попутно-добываемых рассолов // *Экспозиция Нефть Газ*. 2017. № 5. С. 55–58.

31. Ганиев И.М., Волошин А.И., Рагулин В.В., Гарифуллин А.Р., Акимов О.В., Михайлов А.Г. Результаты проекта системы новых технологий «Защита от солей высокосолесодержащих скважин» // *Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть»*. 2010. № 1. С. 42–45.

32. Валекжанин И.В., Волошин А.И., Рагулин В.В., Реззова К.К. Оценка рисков солевыпадения в скважинах Ванкорского месторождения и выбор оптимальной тех-

нологии предупреждения // *Экспозиция Нефть Газ*. 2017. № 1 (54). С. 30–33.

33. Patent 0957156 USA. Liquid Acidic Hard Surface Cleaning Composition / M. Strombeek-Bever, O. Todini, A.J.O. Mertens. 2005.

34. Patent 9085748 USA. Stabilized Pipe Scaling Remover and Inhibitor Compound / V. Davila, E.J.S. Dominguez. 2015.

REFERENCES

1. Markin A.N., Nizamov R.E., Sukhoverkhov S.V. *Neftepromyslovaya khimiya: prakticheskoe rukovodstvo* [Petroleum Chemistry: A Practical Guide]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2011. 288 p. [in Russian].

2. Kashavtsev V.E., Gattenberger Yu.P., Lyushin S.F. *Preduprezhdenie soleobrazovaniya pri dobyche nefiti* [Prevention of Salt Formation during Oil Production]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 215 p. [in Russian].

3. Kashavtsev V.E., Mishchenko I.T. *Soleobrazovaniya pri dobyche nefiti* [Salt Formation in Oil Production]. Moscow, Orbita Publ., 2004. 432 p. [in Russian].

4. Glushchenko V.N., Denisova A.V., Silin M.A., Ptashko O.A. *Ingibitornaya zashchita neftepromyslovogo oborudovaniya ot korrozii i soleotlozhenii* [Inhibitory Protection of Oilfield Equipment against Corrosion and Scaling]. Ufa, Kitap Publ., 2013. 592 p. [in Russian].

5. Antipin Yu.V., Valeev M.D., Syrtlanov A.Sh. *Predotvrashchenie oslozhenii pri dobyche obvodnennoi nefiti* [Prevention of Complications in Water Oil Production]. Ufa, Bashkirskoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1987. 168 p. [in Russian].

6. Emkov A.A. *Metody bor'by s otlozheniyami neorganicheskikh solei v oborudovanii podgotovki nefiti. Seriya: Tekhnika i tekhnologiya dobychi nefiti i obustroistvo neftyanykh mestorozhdenii* [Methods for Controlling Inorganic Salt Deposits in Oil Treatment Equipment. Series: Engineering and Technology for Oil Production and Arrangement of Oil Fields]. Moscow, VNIIOENG Publ., 1988, Issue 4. 51 p. [in Russian].

7. Lyushin S.F., Glazkov A.A., Galeeva G.V., Antipin Yu.V., Syrtlanov A.Sh. *Otlozheniya neorganicheskikh solei v skvazhinakh, prizaboynoi zone plasta i metody ikh predotvrashcheniya* [Inorganic Salt Deposits in Wells, Bottom-Hole Formation Zone and Methods for Their Prevention]. Moscow, VNIIOENG Publ., 1983. 100 p. [in Russian].

8. Markin A.N., Podkopai A.Yu., Nizamov R.E. *Korroziionnye povrezhdeniya nasosno-kompressornykh trub na mestorozhdeniyakh Zapadnoi Sibiri* [Corrosion Damage to Tubing at Fields in Western Siberia]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 1995, No. 5, pp. 30–33. [in Russian].

9. Prisyazhnyuk V.A. *Fiziko-khimicheskie osnovy predotvrashcheniya kristallizatsii solei na teploobmennyykh poverkhnostyakh* [Physico-Chemical Principles of Preventing the Crystallization of Salts on Heat Exchange Surfaces]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie — Plumbing, Heating, Air-Conditioning*, 2003, No. 10, pp. 26–30. [in Russian].

10. Shangaraeva L.A. *Obosnovanie tekhnologii predotvrashcheniya vypadeniya sul'fata bariya v skvazhinom oborudovanii Minnibaevskoi ploshchadi*

Romashkinskogo mestorozhdeniya: dic. kand. tekhn. nauk [Justification of the Technology for Preventing the Deposition of Barium Sulfate in the Downhole Equipment of the Minibaevskaya Area of the Romashkinskoye Field: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Saint-Petersburg, 2013. 140 p. [in Russian].

11. Khurshudov A.G., Zalyaliev M.A., Plechev A.V., Nikiforov S.Yu. Predotvrashchenie otlozhenii sulfata bariya putem magnitnoi obrabotki zhidkosti [Prevention of Barium Sulphate Deposits by Magnetic Liquid Treatment]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 1995, No. 5–6, pp. 56–58. [in Russian].

12. Sharipov S.Sh., Akshentsev V.G., Shulakov A.S., Grekov S.N., Alimbekova S.R., Alimbekov R.I., Dokichev V.A. *Elektromagnitnyi izluchatel', ustroystvo i sposob ingibirovaniya obrazovaniya otlozhenii i korrozii skvazhinogo oborudovaniya* [Electromagnetic Emitter, Device and Method for Inhibiting the Formation of Deposits and Corrosion of Downhole Equipment]. Patent RF, No. 2570870, 2015. [in Russian].

13. Isakov A.V. Aktivnaya zashchita oborudovaniya ot soleotlozhenii [Active Protection of Equipment from Scaling]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2014, No. 2, pp. 10–11. [in Russian].

14. Kamaletdinov R.S. Obzor sushchestvuyushchikh metodov preduprezhdeniya i bor'by s soleotlozheniem v pogruzhnom oborudovanii [Overview of Existing Methods for Preventing and Combating Scaling in Submersible Equipment]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2009, No. 12, pp. 12–15. [in Russian].

15. Abdullaev A.N., Muduev M.M., Sultanov Yu.I. Ul'trazvukovoi sposob predotvrashcheniya tverdykh otlozhenii [Ultrasonic Method for Preventing Solid Deposits]. *Neftepromyslovoe delo — Oilfield Engineering*, 1979, No. 7, pp. 13–14. [in Russian].

16. Jordan M.M., Mackey E.J. Scale Control in Deep-water Fields: Use Interdisciplinary Approach to Control Scale. *World Oil*, 2005, Vol. 226, Issue 9, pp. 75–80.

17. Kelland M.A. *Production Chemical for the Oil and Gas Industry*. Boca Raton, CRC Press, 2014. 400 p.

18. Silin M.A. *Promyslovaya khimiya* [Oilfield Chemistry]. Moscow, Izdatel'skii tsentr RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina Publ., 2016. 350 p. [in Russian].

19. Zhukov A.Yu. Metody «zelenoi» khimii: novye ekologichnye resheniya v oblasti neftepromyslovyykh reagentov [New Ecological Solutions in the Area of Development of Oil-Field Chemicals]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2010, No. 8, pp. 138–139. [in Russian].

20. Kontrec J. Influence of Some Polysaccharides on the Production of Calcium Carbonate Filler Particles. *Journal of Crystal Growth*, 2008, Vol. 310, pp. 4554–4560.

21. Dokichev V.A., Koptyaeva E.I., Ishmuratov F.G., Alimbekova S.R., Tomilov Yu.V., Nifant'ev N.E. Uglevody — novyi klass «zelenykh» ingibitorov soleotlozhenii [Carbohydrates — a New Class of «Green» Scale Inhibitors]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2016, No. 5, pp. 92–94. [in Russian].

22. Persiyantsev M.N. *Dobycha nefti v oslozhnennykh usloviyakh* [Complicated Oil Production]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2000. 653 p. [in Russian].

23. Kim V.K. *Prognozirovanie i preduprezhdenie otlozheniya karbonata kal'tsiya v dobyvayushchikh skvazhinakh Samotlorskogo mestorozhdeniya: dis. kand. tekhn.*

nauk [Prediction and Prevention of Calcium Carbonate Deposits in Production Wells of the Samotlor Field: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Nizhnevartovsk, 1985. 178 p. [in Russian].

24. Syur T.A. Analiz effektivnosti metodov zashchity GNO, primenyaemykh na mestorozhdeniyakh OOO «Lukoil-Perm» [Analysis of the Effectiveness of the Protection Methods of GNO Used in the Fields of LLC Lukoil-Perm]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2012, No. 12, pp. 38–43. [in Russian].

25. Denisova A.V. Rezul'tat primeneniya ingibitora korrozii i soleotlozhenii proizvodstva OOO «Flek» pri zashchite GNO v Rossii, Kazakhstane i Belorussii [The Result of the Use of Corrosion Inhibitor and Scaling Produced by LLC «Flak» in the Protection of STO in Russia, Kazakhstan and Belarus]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2012, № 12. Available at: <https://glavteh.ru/rezul'taty-primeneniya-ingibitorov-k> (accessed 01.11.2019). [in Russian].

26. Ragulin V.V., Abdrashitov N.Z., Telin A.G., Zhaparov N.S., Danabaev A.S., Dilmaganbet N.S. Adaptatsiya metodov bor'by s oslozheniyami v protsessakh nefte dobychi na Uzen'skom mestorozhdenii [Adaptation of Methods for Dealing with Complications in Oil Production Processes at the Uzen Field]. *Tezisy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sostoyanie i perspektivy ekspluatatsii zrelykh mestorozhdenii»* [Abstracts of the International Scientific-Practical Conference «State and Prospects of Exploitation of Mature Deposits»]. Aktau, 2019, pp. 381–393. [in Russian].

27. Kaslitssev R.V., Tokareva N.M. Analiz vnedreniya tekhnologii zakachki ingibitora soleotlozhenii v plast dlya predotvrashcheniya otlozhenii neorganicheskikh solei v prizaboinoi zone dobyvayushchikh skvazhin dlya uslovii neftyanykh mestorozhdenii Respubliki Bashkortostan [Analysis of Implementation of Technology Squeezing Scale Inhibitor into the Formation for the Prevention of Scale Deposits in the Bottom Zone of Producing Wells for The Oil Fields of the Bashkortostan]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» — Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2016, No. 2, pp. 105–119. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/2_2016/ogbus_2_2016_p105-119_KaslitssevRV_ru.pdf (accessed 01.11.2019). DOI: 10.17122/ogbus-2016-2-105-119. [in Russian].

28. Antipin Yu.V., Gabdullin R.F., Yarkееva N.R., Samatov M.I., Dorofeev S.V., Aletdinov I.F. *Sposob zashchity ot korrozii i soleotlozhenii vnutrivskvazhinogo oborudovaniya* [Method of Protection against Corrosion and Scaling of Downhole Equipment]. Patent RF, No. 2174590, 2001. [in Russian].

29. Antipin Yu.V., Gilmutdinov B.R., Musin R.R. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii skvazhin pri dobyche serovodorodsoderzhashchei produktcii [Increase of Wells Operation Efficiency at Extraction of Production, Containing Hydrogen Sulfide]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2006, No. 12, pp. 118–120. [in Russian].

30. Valekzhanin I.V., Voloshin A.I., Kushnarenko D.V., Kunaev R.U. Zadavka ingibitora v plast Verkhnechonskogo mestorozhdeniya dlya preduprezhdeniya otlozheniya gipsa iz poputno-dobyvaemykh rassolov [The Inhibitor Squeezing into the Reservoir of the Verkhnechonskoe Field Prevents from the Gypsum Scale Precipitation of the Associated Salt Waters]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz — Exposition Oil Gas*, 2017, No. 5, pp. 55–58. [in Russian].

31. Ganiev I.M., Voloshin A.I., Ragulin V.V., Garifullin A.R., Akimov O.V., Mikhailov A.G. Rezul'taty proekta sistemy novykh tekhnologii «Zashchita ot solei vysokodebitnykh skvazhin» [The Results of the New Technology System Project «Protection against Salts of High-Yield Wells»]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO «NK «Rosneft'»* — *Scientific and Technical Bulletin of Rosneft*, 2010, No. 1, pp. 42–45. [in Russian].

32. Valekzhanin I.V., Voloshin A.I., Ragulin V.V., Rezvova K.K. Otsenka riskov solevypadeniya v skvazhinakh Vankorskogo mestorozhdeniya i vybor optimal'noi tekhnologii

preduprezhdeniya [Risk Assessment of Salt Precipitation in Vankor Field Wells and Selection of the Optimal Prevention Technology]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz* — *Exposition Oil Gas*, 2017, No. 1 (54), pp. 30–33. [in Russian].

33. Strombeek-Bever M., Todini O., Mertens A.J.O. *Liquid Acidic Hard Surface Cleaning Composition*. Patent USA, No. 0957156, 2005.

34. Davila V., Dominguez E.J.S. *Stabilized Pipe Scaling Remover and Inhibitor Compound*. Patent USA, No. 9085748, 2015.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Пучина Гульфия Рашитовна, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, ООО «Уфимский научно-технический центр», г. Уфа, Российская Федерация

Gulfiya R. Puchina, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Ufa Scientific-Technical Centre LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: puchinagr@ufntc.ru

Рагулин Виктор Владимирович, канд. техн. наук, главный технолог, ООО «Уфимский научно-технический центр», г. Уфа, Российская Федерация

Viktor V. Ragulin, Candidate of Engineering Sciences, Chief Technologist, Ufa Scientific-Technical Centre LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: ragulinvv@ufntc.ru

Телин Алексей Герольдович, канд. хим. наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, ООО «Уфимский научно-технический центр», г. Уфа, Российская Федерация

Aleksey G. Telin, Candidate of Chemical Sciences, Corresponding Member of RANS, Deputy Director for Research Work, Ufa Scientific-Technical Centre LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: telinag@ufntc.ru

Алимбекова Софья Робертовна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры общей химии, УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Sofia R. Alimbekova, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher of General Chemistry Department, USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ms.sofia.al@gmail.com

Бахтизин Рамиль Назифович, д-р физ.-мат. наук, профессор, первый проректор, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Ramil N. Bakhtizin, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, First Vice-Rector, USPTU, Ufa, Russian Federation

Волошин Александр Иосифович, д-р техн. наук, профессор, старший эксперт, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Aleksandr I. Voloshin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Senior Expert, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: voloshinai3@mail.ru

Докичев Владимир Анатольевич, д-р хим. наук, профессор, заведующий лабораторией, ФГБУН Уфимский Институт химии УФИЦ РАН, г. Уфа, Российская Федерация

Vladimir A. Dokichev, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Laboratory, Ufa Institute of Chemistry of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

e-mail: dokichev@anrb.ru