

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕАГЕНТОВ ПО ИЗОЛЯЦИИ ВОДОПРИТОКА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПАО «ГАЗПРОМ»

**М.Н. Пономаренко**, к.т.н., ООО «Газпром подземремонт Уренгой» (Санкт-Петербург, РФ)

**К.Б. Абдреев**, ООО «Газпром подземремонт Уренгой»

**О.Д. Ефимов**, к.х.н., ООО «Синергия Технологий» (Казань, РФ)

В процессе строительства или ремонта скважин возникает необходимость проведения различных видов изоляционных работ, к которым относится ликвидация межпластовых перетоков и межколонных проявлений, водоизоляция, восстановление герметичности обсадных колонн и другого скважинного и внутрискважинного оборудования. Несмотря на многолетний опыт нефтедобычи в России, проблема изоляции различных видов негерметичности остается до конца не решенной [1–3].

Сложность решения проблемы проведения изоляционных работ в нефтегазовых и газовых скважинах определяется многообразием горно-геологических условий, процессом их строительства и ремонта и техническими ограничениями при ведении технологических процедур. Повышение эффективности водоизоляционных работ (ВИР) на любой стадии разработки нефтяных месторождений практически всегда находится в центре внимания нефтедобывающих предприятий, поскольку оказывает существенное влияние на функционирование всей системы.

Главная причина обводнения газовых и нефтегазовых скважин при их эксплуатации состоит в нарушении герметичности эксплуатационных колонн. К основным источникам возникновения данной проблемы относят: неполное замещение бурового раствора цементным в кавернозной части ствола; рыхлую глинистую корку на стенках скважины; частичное сцепление цементного камня с трубами и горными породами; нарушение сплошности цементного кольца; различную плотность порций цементного раствора, закачиваемого в скважину; образование каналов в цементном камне и глинистой корке за счет процессов, происходящих при структурообразовании раствора и его

твердении; снижение гидростатического давления и приток газа или жидкости из высоконапорных пластов в фильтрационные каналы зацементированного заколонного пространства; коррозионное разрушение цементного камня; перетоки по цементному кольцу как между породой, так и между эксплуатационной колонной из-за гидромеханического воздействия на цементный камень и эксплуатационную колонну при перфорации, интенсификации и других работах в скважине [4]. Эти и многие другие причины вызывают необходимость привлечения специализированных организаций, которые смогут оказать помощь в проведении качественного ремонта скважины и достижении долгосрочного эффекта. Для успешного ремонта особенно важно определить наиболее эффективный в сложившихся условиях комплекс мероприятий и подобрать оптимальные технологии. Именно на данном этапе выявляются квалификация и накопленный на различных месторождениях опыт, которым обладают сотрудники компании «Синергия Технологий», и от этого в конечном итоге зависят успешность проведения геолого-технических мероприятий, их продолжительность и финансовые затраты на ремонт скважины.

### ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В 2019 г. сотрудниками ООО «Синергия Технологий» разработана методика ремонтно-изоляционных работ (РИР) и осуществлен подбор изоляционных реагентов и тампонажных материалов для скважин, базирующихся на Восточно-Кубанских месторождениях, обслуживаемых предприятиями ПАО «Газпром». На месторождениях Общества вопрос по изоляции пластовых вод стоит остро, поэтому компания «Синергия Технологий» особое внимание уделила совершенствованию методов проведения РИР. Каждый тип проблем, связанных с обводнением скважин, имеет различные решения, от простых и относительно недорогих, основанных на применении механических и химических методов, до более сложных и затратных. Часто, однако, встречаются комплексные проблемы обводнения, для решения которых требуется одновременное применение нескольких методов [5].

Опыт комплексного подхода к проведению водоизоляционных работ рассмотрим на примере скважины Песчаного месторождения, которое относится к Прибрежной группе месторождений, а именно к Восточно-Прибрежной. На месторождениях Восточно-Кубанского прогиба добывают жирные уг-

Характеристики скважин месторождения Песчаное Кубанского управления интенсификации и ремонта скважин

| Номер скважины   | 1   | 2   |
|--|---|---|
| Давление пласта, МПа   | 38,1  | 30,8  |
| Пластовая температура, °С  | 123   | 128   |
| Глубина скважины, м  | 3113  | 3060  |
| Диаметр насосно-компрессорных труб, м  | 0,073   | 0,073   |
| Интервал перфорации, м   | 2989–2991,7<br>3036–3039,5<br>3091–3093<br>3103–3107<br>3109–3113   | 3052–3057   |
| Расчетный коэффициент аномальности   | 1,22  | 1,10  |
| Тип коллектора   | Терригенный, глинистый  | Терригенный, глинистый  |
| Дебит углеводородов:<br>по газу, м <sup>3</sup> /сут<br>по нефти, т/сут<br>воды, т/сут | 10 000<br>23<br>47  | 48 000<br>–<br>100  |
| Объем примененных реагентов  | 6 м <sup>3</sup> специального изоляционного материала «СилонВелл»;<br>5 м <sup>3</sup> тампонажного материала SoldStone | 6 м <sup>3</sup> специального изоляционного материала «СилонВелл»;<br>3 м <sup>3</sup> тампонажного материала SoldStone |

леводородные газы, типичные для газоконденсатнонефтяных залежей. Промышленная нефтегазоносность Краснодарского края определяется многочисленными нефтяными, газонефтяными, газоконденсатными и газовыми залежами преимущественно мелких и средних размеров, связанными с осадочными разрезами широкого стратиграфического диапазона, от неогена до триаса, и располагающимися на глубинах от 700...1000 до 4500...5200 м. Основная добыча нефти сосредоточена в предгорной и южной частях равнинной области. Площадка строительства добывающих наклонно направленных газонефтяных скважин Восточно-Прибрежного месторождения расположена в Славянском р-не Краснодарского края на юго-западном берегу лимана Долгий. Ввиду высокой степени подтопления рельеф спланирован за счет отсыпки (от 0,5 до 1,4 м по устьям скважин). В геоморфологическом отношении рассматриваемая территория приурочена к предгорной плоской дельтовой аккумулятивной низменной заболоченной равнине р. Кубани. Геологическое строение до глубины

15 м представлено техногенными отложениями (насыпные грунты – ракушка) и четвертичными лиманными и лиманно-морскими отложениями, преимущественно глинами и песками. Запасы нефти и газа Восточно-Прибрежного месторождения находятся в терригенных коллекторах. Нефтегазоносные скважины Восточно-Прибрежного прогиба высокотемпературны и характеризуются повышенным пластовым давлением с коэффициентом аномальности от 1,1 до 1,3. Эксплуатация данного месторождения также осложнена наличием глинистых пропластков [6]. Краткие сведения о скважине представлены в таблице.

Целью ВИР на скважинах Песчаного месторождения стало повышение эффективности их эксплуатации, регулирование потоков флюидов в пласте и прискважинной зоне и поддержание работоспособности скважин. Задачей – ограничение притока воды. Ее решение основано на обобщении накопленного ООО «Синергия Технологий» опыта проведения мероприятий по водоизоляции и адаптации химических реагентов, имеющихся в арсенале компании, с разработкой

комплексной технологии ВИР, учитывающей геологические факторы месторождения и технологические показатели скважин. В частности, то, что данные скважины характеризуются повышенным пластовым давлением и высокой степенью обводненности. Гидрологическими особенностями территорий считается наличие грунтов с низкой несущей способностью в водонасыщенном состоянии и агрессивность подземных вод (см. табл.). Эти факторы затрудняют проведение РИР и позволяют отнести запасы данного месторождения к трудноизвлекаемым.

#### ПРИМЕР ПРОВЕДЕНИЯ ВИР

Рассмотрим порядок проведения ВИР на примере скважины №1. В ноябре 2018 г. были выполнены геолого-технические мероприятия по расконсервации данной скважины, после чего она введена в эксплуатацию и стала работать с постепенным уменьшением устьевых параметров. В декабре 2018 г. проведены геофизические исследования по определению профиля притока. По результатам выполненного комплекса исследований выявлено интенсивное

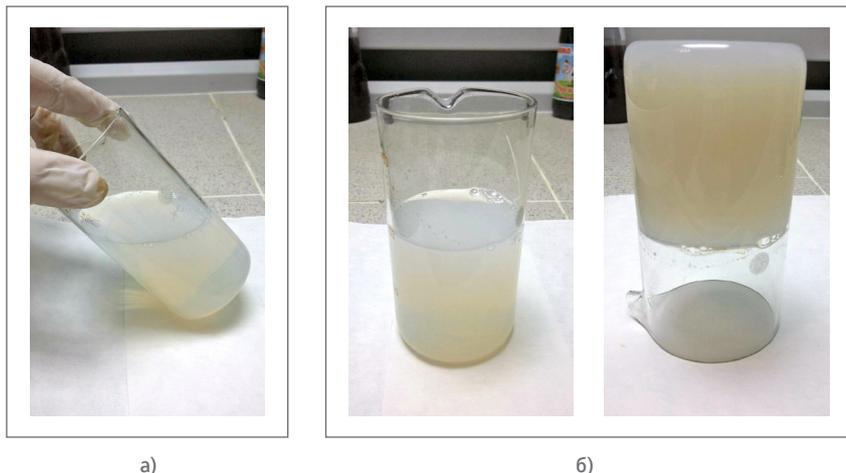


Рис. 1. Внешний вид специального изоляционного материала «СилонВелл»: а) рабочий раствор «СилонВелл», б) отвержденная структура «СилонВелл»

поступление притока пластовой воды с забоя скважины, из водонасыщенной пачки, вследствие негерметичности изоляционного цементного моста и взрывного пакера. В феврале 2019 г. недропользователем принято решение провести капитальный ремонт скважины в целях выполнения ВИР и устранения негерметичности цементных мостков.

Для проведения ВИР сотрудниками ООО «Синергия Технологий» предложено в качестве тампонирующих применить растворы, основанные на использовании неорганических водоизолирующих реагентов, в частности силикатов, а именно специальный изоляционный материал (СИМ) «СилонВелл» и тампонажный материал (ТМ) SoldStone.

При проведении ВИР широкое распространение получила технология изоляции пластовых вод по двухрастворной системе: первым раствором проводится изоляция пластовой воды и создание изоляционного экрана, а вторым – докрепление и упрочнение водонепроницаемого экрана [7]. К водоизолирующим материалам с различными физико-химическими свойствами и механизмом действия (образование водонепроницаемого экрана) предъявляется требование надежно перекрывать пути притока воды в скважину. Осуществимость этого требования определяется

соотношением между напряжениями в материале, возникающими при освоении и эксплуатации скважин, и его прочностными характеристиками. Решение задачи упругого равновесия водоизоляционного экрана показывает, что напряжения и их знак зависят не только от депрессии на пласт, но и от соотношения между модулями упругости тампонажного материала и скелета пласта, толщины газоизолированной части пласта и кривизны экрана.

Наиболее часто в качестве изоляционного материала применяют цементные суспензии. Образующийся тампонажный цементный камень имеет значения модуля Юнга  $(1,5-4) \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>. Модуль Юнга песчаников изменяется в пределах  $(5,0-6,4) \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> [8]. При таком соотношении модулей упругости возможны условия, при которых в материале экрана возникнут растягивающие напряжения, превышающие его прочность. Это приведет к нарушению сплошности экрана и снижению эффективности изоляционных работ. Поэтому при создании водоизоляционных экранов целесообразно применять более эластичные, хотя и менее прочные, чем цементный камень, материалы. В тех из них, где модуль Юнга на один-два порядка меньше, чем у цементного камня, возникают лишь сжимающие напряжения, не превышающие

действующий перепад давления. Такие материалы обладают хорошей фильтруемостью, равномерно заполняют поровое пространство вскрытой перфорацией толщины коллектора, а нагрузка будет восприниматься скелетом породы-коллектора, и находящийся в поровом пространстве материал будет испытывать преимущественно напряжения сдвига, регулируемые толщиной экрана. Основой СИМ «СилонВелл» стали силикаты, их особенностью можно считать способность взаимодействовать с ионами поливалентных металлов и другими коагулирующими агентами и образовывать гелеобразные системы или твердый ТМ (рис. 1) [9]. «СилонВелл» можно применять в коллекторах любой проницаемости, поскольку он закачивается в пласт в виде маловязких растворов, а образование ТМ происходит непосредственно в пласте. Материал предназначен для ликвидации заколонных перетоков по затрубному пространству, негерметичности эксплуатационных колонн протяженностью до 3 м при низких приемистостях (от 10 до 100 м<sup>3</sup>/сут при 10,0 МПа), межколонных давлений, а также изоляции водопритока в добывающих скважинах из пластов с низкой приемистостью. Данный состав хорошо подходит для проведения водоизоляционных работ в условиях высоких температур как наиболее легко фильтрующийся материал. При давлении 0,1-3 МПа и температурах до 200 °С он в течение длительного времени сохраняет свои свойства. В таких условиях СИМ «СилонВелл» практически не вступает в химическое взаимодействие с породами пласта, но обладает хорошей адгезией к ним.

Специальный ТМ SoldStone (СолдСтоун) представляет собой сульфатостойкий тампонажный портландцемент сверхтонкого помола с медианным размером частиц не более 6 мкм (рис. 2).

Данный микроцемент обладает низкой вязкостью тампонажного

раствора; высокой подвижностью состава, сравнимой с текучестью воды даже при минимальном водо-цементном отношении (0,7); высокой проникающей способностью в пористую среду (проникает в микрозазоры, микротрещины и низкопроницаемые пласты); повышенной изолирующей способностью и прочностью цементного камня; малой плотностью при высокой прочности; коррозионной стойкостью и длительным ресурсом в процессе эксплуатации скважины. Преимущество микроцемента SoldStone состоит в том, что размер его частиц соизмерим с размером пор коллектора (рис. 3) [10].

Технология изоляции водопритока данной скважины заключалась в закачке изолирующего состава «СилонВелл» с последующим докреплением тампонажным микроцементом SoldStone с применением пакера. В целях заполнения каверны ВИР проводили до получения противодавления на пласт, для этого устанавливалось минимальное устьевое давление при закачке 2,0...2,5 МПа, при этом максимальное давление закачки поддерживали до 7 МПа для исключения возможности гидроразрыва пласта и образования новых каналов для притока воды, а также прорыва образованного водоизоляционного экрана. Далее работы выполнялись только с использованием пакера. Следующим этапом произвели последовательную закачку в насосно-компрессорные трубы: 1 м<sup>3</sup> буферной жидкости бурового раствора; 2 м<sup>3</sup> технической воды; 4,15 м<sup>3</sup> раствора «СилонВелл»; 1,85 м<sup>3</sup> гелеобразователя «СилонВелл» и 0,4 м<sup>3</sup> технической воды. В процессе ВИР особое внимание уделяли конечному давлению и отслеживанию его изменения при техническом отстое (т.е. следили за падением давления) с фиксацией динамики его и падения. Минимальное время технического отстоя – 900 с после момента стабилизации давления. После технического отстоя медленно стравливали давление по трубному пространству и следи-

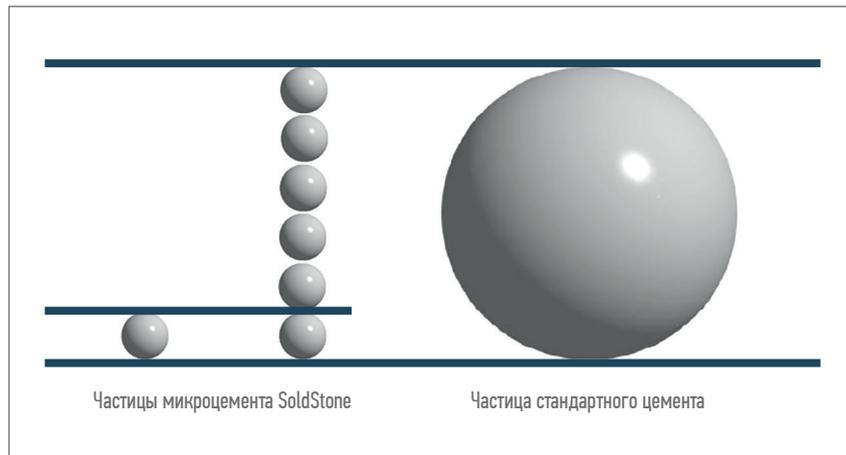


Рис. 2. Внешний вид микроцемента SoldStone в сравнении с частицами стандартного цемента

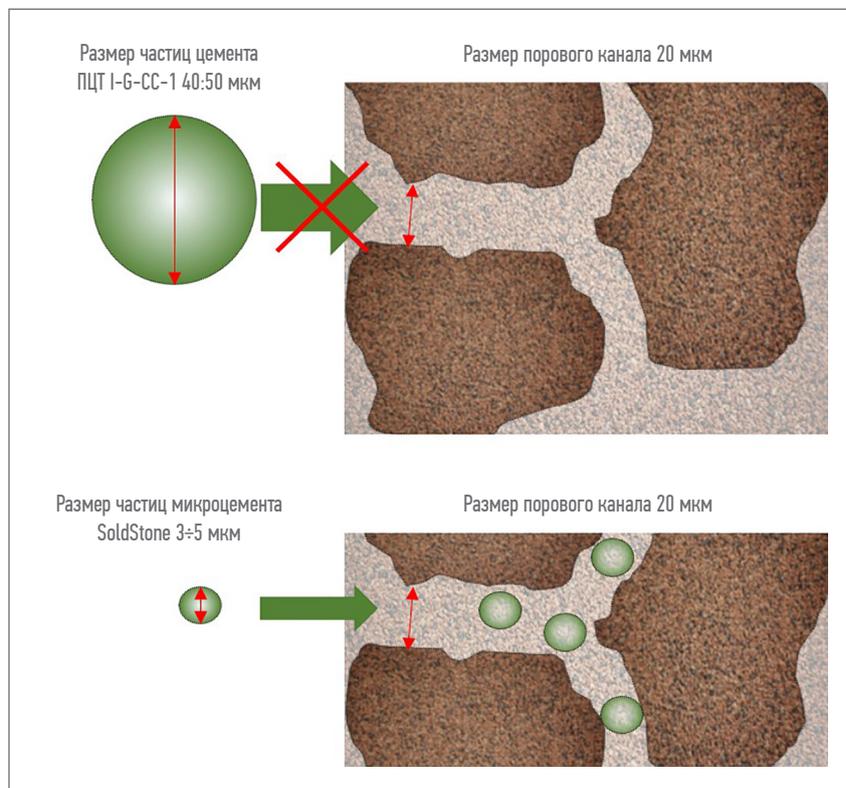


Рис. 3. Процесс проникновения частиц микроцемента SoldStone в поры пласта в сравнении со стандартным портландцементом тампонажным (ПЦТ)

ли за объемом вышедшей обратно продавочной жидкости. При вытеснении ее объемом более 0,3 м<sup>3</sup> производили допродавку на объем вышедшей жидкости с отслеживанием конечного давления. Данный этап характеризовался формированием экрана и заполнением каверн, как показано на рис. 4.

Технология изоляции проводилась таким образом, чтобы

изоляционный экран соединился с глинистым пропластком, т.к. для увеличения критического дебита конусообразования вдвое обычно необходим эффективный радиус закачки геля (не меньше 15 м). Как показывает практика, закачка раствора на такую глубину в пласт экономически трудно осуществима. Закачка же меньших объемов раствора обычно

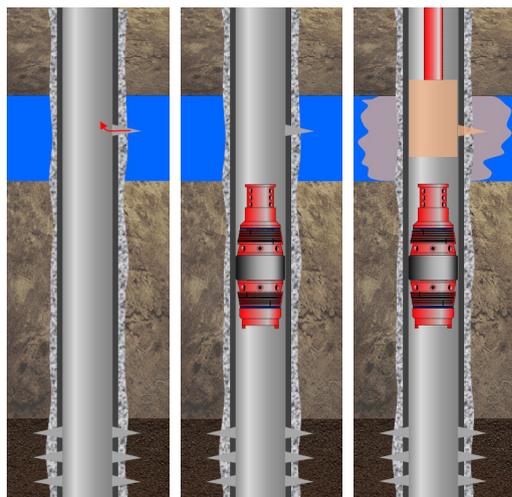


Рис. 4. Устранение негерметичности эксплуатационной колонны между интервалами перфорации с применением СИМ «СилонВелл»

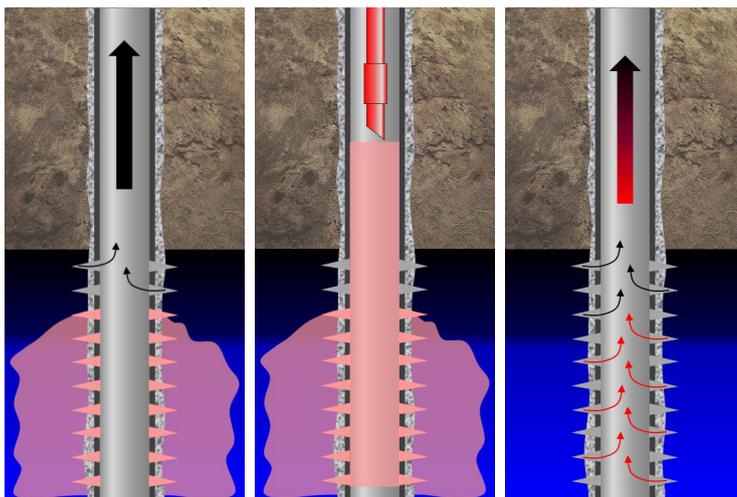


Рис. 5. Формирование прочного изоляционного экрана посредством применения СИМ «СилонВелл» с последующим закреплением TM SildStone

приводит к быстрому повторному прорыву воды, за исключением тех случаев, когда водоизоляционный экран соединяется с глинистым пропластком. После технического отстоя определили приемистость в интервале негерметичности, произвели закачку 5 м<sup>3</sup> тампонажного раствора SildStone и установили его на равновесие. Потом произвели опрессовку, которая показала герметичность эксплуатационной колонны.

Такой комплексный подход обеспечил образование практически монолитного водоизоляционного экрана (рис. 5). Еще одно преимущество в том, что данный экран не будет испытывать значительных репрессий при ремонте скважины в дальнейшем, что гарантирует его целостность. По результатам

выполненных работ доказана 100%-ная эффективность разработанных мероприятий.

#### ВЫВОД

На примере эксплуатационного фонда скважин Песчаного месторождения показано применение комплексной технологии по изоляции заколонного пространства, разработанной компанией «Синергия Технологий», которая показала абсолютную успешность мероприятий. Анализ проведенных на скважинах ВИР доказал эффективность технологии по созданию блок-экрана по двухрастворной системе, где первым специальным изоляционным раствором «СилонВелл» производилась изоляция пластовой воды, а вторым тампонажным

раствором SildStone – докрепление и упрочнение водонепроницаемого экрана. Накопленный опыт и системный, а порой и нестандартный подход к работе позволяют ООО «Синергия Технологий» решать подобные задачи. Предлагаемая система комплексного применения технологических составов позволяет учитывать любые, самые сложные условия, возникающие в процессе эксплуатации скважин. Сотрудники компании специализируются на поиске и предложении оптимальных решений. В данном случае предложенные ими мероприятия позволили максимально и в кратчайшие сроки достичь поставленной цели по ВИР с применением технологии, полностью адаптированной к условиям конкретной скважины. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гереш Г.М., Дорошенко Ю.Е., Евликова Л.Н., Исхаков Р.Р. Проблемы формирования технологических режимов работы газовых промыслов на месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона // Газовая промышленность. 2012. № 1 (672). С. 24–27.
2. Куликов А.Н., Магадова Л.А., Елисеев Д.Ю. К вопросу оптимального сочетания и последовательности применения технологий ограничения водопритоков и повышения нефтеотдачи пластов при разработке залежей нефти различного типа // Нефтепромысловое дело. 2014. № 1. С. 25–34.
3. Дубина Н.И. Механизм обводнения добывающих скважин на завершающей стадии разработки семанской залежи. М.: Недра, 2007.
4. Сингуров А.А., Нифантов В.И., Пищухин В.М., Гильфанова Е.В. Технологии и составы для водоизоляционных работ в газовых скважинах // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2014. № 4 (20). С. 75–80.
5. Бейл Б., Крабтри М., Тайри Д. и др. Диагностика и ограничение водопритоков // Нефтегазовое обозрение. 2001. Весна. С. 44–67.
6. Аносов Э.В., Грищенко В.А., Евстифеев С.В. Применение технологий интенсификации притока на месторождениях ООО «Кубаньгазпром» // Бурение и нефть. 2008. № 1. С. 34–35.
7. Кононов А.В., Крекнин С.Г., Дубровский В.Н. и др. Особенности капитального ремонта скважин на Вынгапурском газовом месторождении // Нефтесервис. 2008. № 3. С. 56–59.
8. Сафин С.Г. Геотехнологические особенности добычи нефти из недонасыщенных нефтью пластов. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т. 2009.
9. Специальный изоляционный материал «СилонВелл» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://synergytechnology.ru/reagents/reagents-for-rwi-and-riw/selective-formulations/special-insulating-material-silonvell/> (дата обращения: 16.11.2020).
10. Микроцемент «Солдстоун» [Электронный ресурс] <http://synergytechnology.ru/reagents/reagents-for-rwi-and-riw/backfilling-materials/microcement-soldstone/> (дата обращения: 16.11.2020).