

УДК 502/504+55

DOI: 10.52531/1682-1696-2024-24-1-25-34

Научная статья

# К ВОПРОСУ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЗАВОДНЕНИЯ, ПРИ УСЛОВИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА

М.Ю. Кильянов<sup>1</sup>,  
А.В. Игревский<sup>1</sup>,  
В.А. Лавренчук<sup>1</sup>, А.В. Мурадов<sup>1</sup>,  
В.И. Демиров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА», МОСКВА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  
<sup>2</sup>УПРАВЛЕНИЕ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА И ГОРЮЧЕГО ДЕПАРТАМЕНТА РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РФ, МОСКВА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Приведенные в статье результаты исследований показали, что при использовании различных типов воды для поддержания пластового давления технологические схемы установок водоподготовки имеют существенные различия. Воздействие процессов заводнения продуктивного пласта на состояние территории, непостоянство и сложность состава вод, применяемых для поддержания пластового давления, обуславливают необходимость проведения непрерывного экологического мониторинга в зоне влияния нефтегазового месторождения.

**Ключевые слова:** система поддержания пластового давления, непрерывный экологический мониторинг, подготовка воды для системы ППД

В целях достижения максимальных показателей отбора нефти из пласта при разработке нефтегазовых месторождений применяются меры по поддержанию пластового давления (ППД). При этом в пласт закачиваются различные типы воды.

Как показывает опыт разработки отечественных и зарубежных месторождений, заводнение является довольно эффективным методом воздействия для под-

Original article

## ON THE ISSUE OF WATER TREATMENT USED FOR THE WATERFLOODING SYSTEM, PROVIDED THAT ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE PROCESS IS ENSURED

M.YU. KILYANOV<sup>1</sup>, L.V. IGREVSKY<sup>1</sup>,  
V.A. LAVRECHUK<sup>1</sup>, A.V. MURADOV<sup>1</sup>,  
V.I. DEMIROV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FGAOU VO "RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY) NAMED AFTER I.M. GUBKIN", MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION  
<sup>2</sup>DIRECTORATE OF ROCKET FUEL AND FUEL, DEPARTMENT OF RESOURCE SUPPLY, MINISTRY OF DEFENSE OF THE RUSSIAN FEDERATION, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

The research results presented in the article have shown that when using different types of water to maintain reservoir pressure, the technological schemes of water treatment plants have significant differences. The impact of the processes of reservoir flooding on the state of the territory, the inconstancy and complexity of the composition of the waters used to maintain reservoir pressure, necessitate continuous environmental monitoring in the area of influence of the oil and gas field.

**KEYWORDS:** reservoir pressure maintenance system, continuous environmental monitoring, water treatment for reservoir pressure maintenance system

держания пластового давления, но при строгом соблюдении необходимых требований к технологии его осуществления.

Согласно классификации А.М. Овчинникова все природные воды по минерализации классифицируются по 6 типам (табл. 1).

Согласно академику В.И. Вернадскому (1933), все воды (в том числе и поверхностные) по величине минерализации подразделяются на четыре класса (табл. 2).

Для поддержания пластового давления в залежь можно нагнетать как природные (пресные или слабо-

ТАБЛИЦА 1.

Классификация природных вод по величине минерализации по А.М. Овчинникову [10]

Тип вод	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>
ультрапресные	> 0,2
пресные	0,2–0,5
воды с относительно повышенной минерализацией	0,5–1
солончатые	1–3
солёные	3–10
воды повышенной солёности	10–35

минерализованные), так и сточные (дренажные) воды, состоящие в основном, из пластовых (~ 85%), пресных (~ 10%) и ливневых (~ 5%) вод. В пласт обычно закачивается более 1 млрд м<sup>3</sup> воды в год, в том числе 700–750 млн м<sup>3</sup> пресной.

Природные и сточные воды весьма разнообразны по своему химическому составу, содержат различное количество примесей органического и неорганического происхождения. В природных водах могут содержаться различные газы, механические примеси, гидроокись Fe(OH)<sub>2</sub> и гидроокись Fe(OH)<sub>3</sub> железа, а также микроорганизмы, в той или иной степени влияющие на процесс заводнения пластов. В сточных водах нефтегазовых месторождений присутствует нефть, ПАВ, а также большое количество солей, достигающее до 300 г/л.

**НЕОБХОДИМОСТЬ НЕПРЕРЫВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЗАВОДНЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ**

Жидкость, циркулирующая по системе ППД, как правило, представляет собой агрессивную смесь вод, состав которой, резко отличается от природных фоновых концентраций поверхностных вод, и различных горизонтов подземных вод.

С точки зрения экологии нефтегазовые месторождения в общем рассматриваются как источники комплексного и концентрированного негативного воздействия на окружающую среду [3]. В целях снижения негативного воздействия экологический мониторинг состояния компонентов природной среды нефтегазовых месторождений осуществляется в рамках производственного экологического контроля.

В результате смешения промышленных вод разного генезиса (природных вод нефтесодержащих пластов, поверхностных вод, технических вод нефтегазовых промыслов, в том числе, с примесью буровых растворов, хозяйственно-бытовых вод, производственных вод, поверхностного стока, а также вод межпластовых пе-

М.Ю. КИЛЬЯНОВ, А.В. ИГРЕВСКИЙ, В.А. ЛАВРЕНЧУК, А.В. МУРАДОВ, В.И. ДЕМИРОВ К ВОПРОСУ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ДЛ Я СИСТЕМЫ ЗАВОДНЕНИЯ, ПРИ УСЛОВИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА

ТАБЛИЦА 2.

Классификация вод по величине минерализации по В.И. Вернадскому [2]

Класс вод	Минерализация, г/л
пресные	< 1
солончатые (слабоминерализованные)	1–10
солевые (минерализованные)	10–50
рассолы	> 50

ретоков), происходит их химическое взаимодействие. Пластовая жидкость воздействует на окружающую среду комплексно, одновременно загрязняя почвы и воды нефтью и водорастворимыми солями.

При применении промышленных вод для ППД необходимым условием является замкнутость цикла водоподготовки. В зависимости от химического состава нефтепромысловые сточные воды обладают различной агрессивностью по отношению к металлу, бетону и другим материалам. Основными коррозионными агентами сточных вод являются растворенные соли различного состава, кислорода, сероводорода. Утечка вод через обсадные колонны эксплуатационных и нагнетательных скважин по затрубному пространству из-за просадки цемента или из-за некачественного цементного раствора вызывает загрязнение подземных водоносных горизонтов.

Поступление в почву больших объемов минерализованных вод, в случае аварийных ситуаций, вызывает усиление восстановительных процессов и засоление территории. Преимущественно наблюдается хлоридно-натриевое засоление. Утечки пластовой жидкости из скважин, прежде всего, обнаруживаются по увеличению концентрации хлоридов (наиболее подвижных соединений) и люминесцентной пленке в воде.

Частицы водорослей, ила и соединения железа, содержащиеся в нагнетаемой воде, могут закупоривать поровые каналы продуктивного пласта, снижая приемистость нагнетательных скважин. Присутствующие же в закачиваемой воде микроорганизмы могут образовать нежелательные соединения. Так, например, сульфатвосстанавливающие бактерии при своей жизнедеятельности вырабатывают сероводород в количестве до 100 мг/л. В последующем этот коррозионно-активный газ вместе с нефтью извлекается на поверхность и подвергается разрушению трубопроводы, аппараты и оборудование. Данное обстоятельство обуславливает потребность принятия дополнительных мер по повышению промышленной безопасности и предотвращению экономического и

экологического ущерба. Таким образом, регулирование биологического состава вод, используемых для ППД выступает важной противоаварийной мерой.

Закачка вод в глубокие горизонты в целях ППД, может стать причиной, повышения гидростатического давления, навешенной сейсмичности и опускания территории. В связи с неизбежным повреждением гидро- и газонепроницаемости отдельных пород возможно появление просядок или оползней грунтов, спровоцированных локальными землетрясениями [4].

Заводнение продуктивных пластов повышает риск подтопления территории месторождений, что дополнительно усиливает процессы возникновения оползней, просядок, провалов и набухания грунтов. При этом также активизируются коррозионные процессы подземных инженерных конструкций. Кроме того, подтопление увеличивает возможность подъема жидких и газообразных углеводородов к поверхности земли, что создает взрыво- и пожароопасную обстановку.

Важным аспектом в процессе циркуляции пластовых вод также выступает возможность загрязнения оборудования естественными радионуклидами и в целом локальное повышение радиационного фона. Сброс нефтяных суспензий и пластовых вод может привести к повышению радиационного фона от 20-40 мкР/ч до 1000 мкР/ч и более. Зараженность радионуклидами наполнителей фильтров, нефтешлама, отходов от очистки резервуаров и оборудования может достигать до 3000 и 5600 мкР/ч. При общем фоне 8 – 12 мкР/ч. При наличии урано-битумных образований сопутствующими элементами могут выступать радий, молибден, ванадий, фосфор, ртуть, селен, никель, кобальт, серебро [4]. Соответственно, при ведении работ обязательным условием является соблюдение мер радиационной безопасности.

Негативное воздействие на окружающую среду в процессе заводнения продуктивных пластов происходит по разным причинам: вследствие нарушения технологии, износа оборудования, аварийных ситуаций, изменения режима пластов и т.д. Повышенный риск возникновения аварийных ситуаций, обусловленный применением метода заводнения пластов, влечет за собой необходимость повышенных мер предосторожности.

Решение поставленных выше задач осуществляется с помощью различных видов контроля за недрами, техническим состоянием скважин и промышленных объектов и обуславливает необходимость осуществления экологического мониторинга компонентов окружающей среды. Контроль необходимо осуществлять непрерывно: фиксируются технические параметры функционирования объектов и их соответствие регламентным нормам. Постоянный контроль осуществляется за теми показателями химического состава, физическими и динамическими характеристиками, от

которых, прежде всего, зависит надежность и устойчивость эксплуатации скважин.

Организация экологического мониторинга нефтегазодобывающего комплекса, включающего природные, природно-техногенные и чисто техногенные факторы, довольно серьезная задача [4], которая, кроме того, осложняется неоднородностью природных условий различных месторождений.

Нормы федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» по вопросу экологического мониторинга реализованы в национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 56059-2014 «Производственный экологический мониторинг. Общие положения» (Периздание) (в ред. 1 сентября 2019).

Непрерывность экологического мониторинга обеспечивается за счет наблюдения за динамикой состояния компонентов окружающей среды на разных стадиях функционирования объекта. В качестве базовой информации используются данные о состоянии природных сред до начала геологоразведочных работ, полученные в процессе проведения ОВОС или оценки фонового состояния территории.

Экологический мониторинг разрабатываемых нефтегазовых месторождений должен охватывать все компоненты природной среды. Необходимость этого объясняется не только спецификой производственного процесса по добыче углеводородного сырья, связанной с применением системы ППД, но и с наличием тесных общеэкологических связей между природными компонентами, когда изменения одного из них неизбежно влекут изменения следующего. Пример ежегодного план-графика отбора проб и наблюдений в пунктах экологического мониторинга территории, приведенный по данным Программы локального экологического мониторинга на территории Южно-Песцового лицензионного участка ООО «Газпром добыча Уренгой» на период 2019–2023 гг., представлен в табл. 3.

Как следует из примеров мониторингу подвергаются следующие компоненты природной среды: атмосферный воздух, снеговые выпадения, поверхностные воды, донные отложения, почвы.

При использовании метода заводнения для ППД отдельно хотелось бы подчеркнуть необходимость мониторинга грунтовых вод различных водоносных горизонтов. Подобный мониторинг обычно применяется на объектах наблюдательной сети в районах расположения скважин питьевого водоснабжения. Безусловно, такой мониторинг связан с дополнительными расходами, однако дает возможность получения более полной картины воздействия на окружающую среду.

Качество промышленных сточных вод различных нефтяных месторождений изменяется в широких пределах и зависит от геологических свойств месторождения, времени его разработки, технической

ТАБЛИЦА 3.

Ежегодный план-график отбора проб и наблюдений в пунктах экологического мониторинга территории Южно-Песцового лицензионного участка в 2019–2023 гг. [9]

Компонент	Сроки наблюдения											
	ян-варь	фев-раль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сен-тябрь	окт-ябрь	но-ябрь	де-кабрь
Атмосферный воздух						+						
Снежный покров				+					+			
Поверхностные воды					+			+				
Донные отложения								+				
Почвы								+				

оснащенности и методов очистки стоков. Поскольку воды, закачиваемые в систему ППД, это, как правило, продукт смешения различных типов вод, то возникает острая необходимость их правильной диагностики. Современные системы автоматизации позволяют централизованно управлять качеством применяемой воды с помощью систем дистанционного мониторинга. Особенно это актуально для небольших месторождений, расположенных в труднодоступных районах.

К настоящему времени создано множество методик и приборов для экологического мониторинга. Однако с точки зрения экологии нельзя считать закрытым вопрос о разработке наиболее оптимальных методов, поскольку у каждого из них есть свои преимущества и недостатки. В целях организации систематического наблюдения разрабатывается соответствующая программа исследований, проводится статистическая обработка данных по отбору проб. Методики, точки отбора проб и периодичность отбора устанавливаются в соответствии с программой исследования.

В связи с практически круглогодичной работой систем ППД важным условием выступает необходимость непрерывной обработки полученных данных и применении поточных измерительных приборов.

Таким образом, повышенный риск возникновения различных аварийных ситуаций при применении метода заводнения для ППД, обуславливает необходимость организации непрерывного экологического мониторинга нефтегазовых месторождений.

### ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ППД

При установлении необходимой степени подготовки вод, используемых для системы ППД, учитываются петрофизические свойства нефтяного пласта (пористость, проницаемость), состав пород, диапазон изменения основных свойств коллекторов, слагающих

пласт, качественный состав и количество в горной породе глин, физико-химические свойства пластовой и нагнетаемой воды [7].

Наряду с высокими нефтевытесняющими свойствами важными аспектами являются обеспечение высокой степени фильтрации и экологическая приемлемость состава. Характер снижения приемистости нагнетательных скважин даже в пределах одного месторождения отличается своим разнообразием и зависит от качества применяемых вод.

Ухудшение коллекторских свойств зоны, примыкающей к скважине, может происходить в результате:

- сужения поровых каналов и полной закупорки части из них за счет проникновения твердых частиц дисперсной фаз (промывочной жидкости или загрязненной закачиваемой воды);
- набухания глинистых минералов пласта при контакте с закачиваемой водой;
- образования нерастворимых осадков при взаимодействии закачиваемых вод с пластовыми;
- образования стойких водонепятных эмульсий, уменьшающих подвижность пластовой жидкости в зоне контакта;
- отрицательного влияния капиллярных и поверхностных явлений.

Основными нормируемыми параметрами при подготовке воды для системы ППД являются количество взвешенных частиц и содержание остаточных нефтепродуктов. Данные показатели должны соответствовать требованиям действующего отраслевого стандарта ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству» (табл. 4).

При единой системе организации ППД нагнетаемая вода должна по качеству соответствовать нормативам для самых низкопроницаемых пластов.

Таким образом, согласно ОСТ 39-225-88 используемая для системы ППД вода должна соответствовать ниже перечисленным требованиям.



ТАБЛИЦА 4.

Допустимое содержание механических примесей и нефти в закачиваемой воде в зависимости от проницаемости продуктивного коллектора

Проницаемость пористой среды коллектора, мкм	Коэффициент относительной трещиноватости коллектора*	Допустимое содержание в воде, мг/л	
		механические примесей	нефти
до 0,1 вкл. свыше 0,1	– –	до 3 до 5	до 5 до 10
до 0,35 вкл. свыше 0,35	от 6,5 до 2 вкл. менее 2	до 15 до 30	до 15 до 30
до 0,6 вкл. свыше 0,6	от 35 до 3,6 вкл. менее 3,6	до 40 до 50	до 40 до 50

\* – коэффициент относительной трещиноватости определяется в соответствии с РАС 39-01-041-81 «Методика прогнозного определения норм качества сточных вод для внутриконтурного заводнения новых нефтяных месторождений платформенного типа. Содержание механических примесей и нефти в сточной воде»

Механические примеси присутствуют в воде как «изначально» (песок, частицы слагающих породу минералов, глин, гидроокиси железа, малорастворимых солей, агрегаты асфальтенов, кристаллики парафинов), так и образуются в результате различных химических реакций, протекающих при контакте закачиваемых вод с пластовой водой, нефтью и породой, химическими реагентами.

При использовании для заводнения продуктивных пластов подтоварной воды ощутимое снижение приемистости скважины (вплоть до полного прекращения закачки) вызывает присутствие остаточного количества нефтепродуктов. Это чаще всего нефть со значительным содержанием асфальтосмолапарафиновых отложений, диспергированных в водной фазе. Глобулы остаточной нефти имеют диаметр от 0,1 до 10,0 мкм. Остаточная нефть, проникая в более крупные капиллярные каналы призабойной зоны пласта, постепенно коалесцируя и накапливаясь, может снизить приемистость скважины до полного прекращения закачки.

Закачиваемые воды должны быть совместимы с пластовыми. Наличие механических примесей иногда связано с нарушением стабильности вод. Данное обстоятельство может быть следствием необратимых химических реакций, сопровождающихся выпадением твердых солей из пересыщенных растворов. Происходит это обычно при смешении вод разного состава, химически несовместимых друг с другом. Для предотвращения образования и осаждения солей, не следует допускать смешения вод различного состава.

Ограничение или исключение возможности смешения вод различного состава является технологическим приемом предотвращения солеотложения и в нефтепромысловом оборудовании.

Набухаемость глин коллекторов в закачиваемой воде не должна превышать значения их набухаемости в воде конкретного месторождения. Возможность использования различных вод для заводнения нефтяных

месторождений в значительной степени определяется взаимодействием этих вод с породой коллектора.

Для подготовки смеси вод с заранее заданными свойствами в состав системы ППД входит станция водоподготовки, которая в наиболее общем варианте представлена различного типа емкостями-смесителями, резервуарами-отстойниками, фильтрами, системой трубопроводов и насосов.

Таким образом, основными целями водоподготовки являются:

- достижение необходимых эксплуатационных свойств (способность к нефтewытеснению, вязкость, способность обеспечивать заданный коэффициент охвата пласта), и удаление компонентов, вызывающих снижение коэффициента приемистости, а также компонентов, вызывающих ухудшение качества нефти;

- доведение закачиваемой воды до кондиций (по составу, физико-химическим свойствам, содержанию механических примесей, кислорода, микроорганизмов), удовлетворяющих требованиям проектных документов к качеству в соответствии с указанным отраслевым стандартом.

В зависимости от требований к закачиваемой воде, а также экологических и технико-экономических условий, воды наземных источников подготавливаются двумя способами – с подрусловым и с открытым отбором воды. Принципиальная схема подготовки воды открытых водоемов и грунтовых вод представлена на рис. 1.

В качестве вытесняющего агента для разработки продуктивных пластов нефтяных месторождений предпочтительно выглядят собственно пластовые и подтоварные воды.

Подтоварные воды образуются при очистке сырой нефти от пластовой воды перед ее товарной обработкой и транспортировкой способом гравитационного отстаивания в резервуарах-отстойниках. Благодаря разной плотности нефтяная эмульсия разделяется на

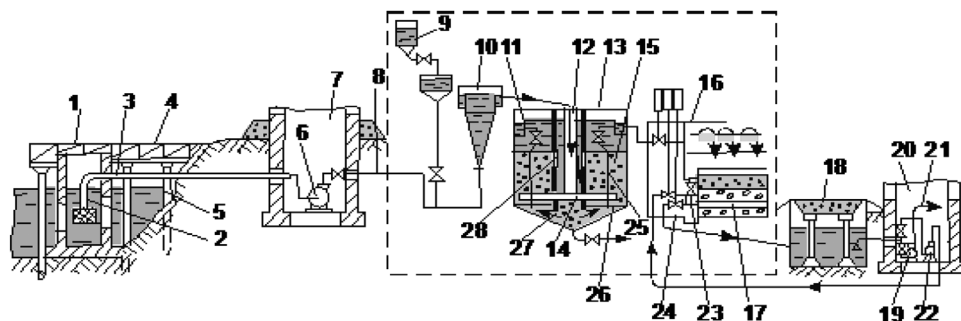


Рис. 1.

Принципиальная схема подготовки воды открытых водоемов и грунтовых вод [2].

1 – колодец; 2 – приемная сетка; 3, 8, 21 – водоводы; 4 – мостик; 5 – сваи; 6, 19 – насосы; 7, 20 – насосные станции I и II подъема; 9 – дозатор; 10 – смеситель; 11 – лоток; 12 – центральная труба; 13 – осветитель; 14 – раздаточный коллектор; 15 – пространство для хлопьеобразования; 16 – гравийно-песчаные фильтры; 17 – коллектор; 18 – подземный резервуар; 19, 22 – насос для промывки песчаных фильтров; 23 – задвижка; 24 – лоток; 25 – трубки для отбора воды; 26 – глухое днище; 27 – конус отстойника; 28 – окна

воду, которая оседает на дно как более плотная среда, и нефть, поднимающуюся на поверхность.

В состав подтоварных вод входят:

- тонкоэмульгированная нефть;
- механические примеси;
- остаточное количество химических реагентов, используемых при добыче и транспортировке нефти.

Подтоварные воды по химическому составу схожи с пластовыми водами месторождения и могут содержать ионы натрия, хлора, сульфаты, хлориды, карбонаты, гидрокарбонаты, катионы кальция и магния, железо.

Подготовка подтоварной воды, для закачки в пласт, предусматривает:

- 1) осветление мутных вод коагулированием;
- 2) декарбонизацию;
- 3) обезжелезивание;
- 4) ингибирование.

Типовая схема установки подготовки подтоварных вод представлена на рис. 2.

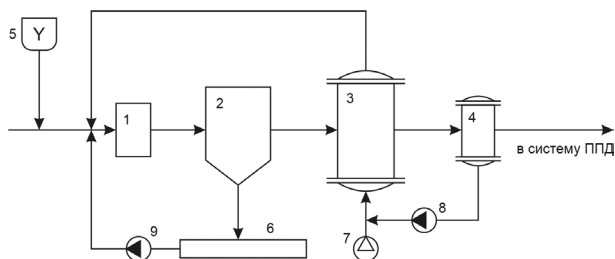


Рис. 2.

Принципиальная схема установки подготовки подтоварных вод [8].

1 – усреднитель, 2 – отстойник, 3 – фильтры (ФМ-1,2 и ФА-1,2), 4 – резервуар чистой воды, 5 – реагентное хозяйство, 6 – шламовая площадка, 7 – компрессор, 8 и 9 – насосные станции

Осветление мутных вод коагулированием осуществляется с целью удаления очень мелких взвешенных частиц, которые практически не осаждаются под действием силы тяжести. В результате реакции коагуляции происходит укрупнение взвешенных частиц и образуются хлопьевидные соединения, которые оседают в воде.

Декарбонизация выполняется с целью удаления из воды бикарбонатов кальция и магния. В противном случае, отлагаясь в пласте, соли кальция и магния могут существенно затруднить фильтрацию нефти и газа. Сущность декарбонизации состоит в подщелачивании воды гашеной известью с тем, чтобы вызвать коагуляцию ненужных примесей.

Обезжелезиванием называется удаление солей железа из воды с целью предотвращения загрязнения фильтрующих поверхностей скважин железистыми осадками. Для этого применяют аэрацию, известкование и другие методы.

В ходе аэрации, процесса обогащения воды кислородом воздуха, из солей железа образуется нерастворимый гидрат окиси железа, оседающий в воде в виде хлопьев. Однако при аэрации из воды удаляются не все соли железа, а сам процесс требует использования весьма громоздкого и сложного оборудования. Кроме того, аэрация повышает коррозионную активность воды.

При известковании в воду добавляют известковое молоко, что также приводит к образованию нерастворимого осадка гидрата окиси железа. Ингибированием называется обработка воды ингибиторами – веществами, замедляющими процесс коррозии. По направленности действия различают ингибиторы сероводородной, кислородной и угольной кислоты коррозии.

Реагенты-бактерициды используют для подавления жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих бактерий. Одним из наиболее эффективных реагентов является формалин.

Таким образом, учитывая средненабухающий тип цемента, можно сказать, что использование подогретой воды для системы ППД не будет иметь значительного отрицательного влияния. Применение же пресной речной воды может привести к увеличению набухания цемента продуктивных коллекторов.

Применение производственной воды нефтедобывающих предприятий в системе заводнения позволяет сократить расход дефицитной пресной воды для закачки в пласты и предотвратить загрязнение водоемов. Кроме того, производственные воды нефтедобывающих предприятий имеют повышенную температуру и низкое поверхностное натяжение и благодаря этому обладают большей по сравнению с речной водой нефтевымывающей способностью.

Однако, производственные воды имеют особенности по характеру загрязнений, в связи с тем, что они образуются при промывке резервуаров и емкостей, а также к таким водам относятся и вода, собираемая с территории нефтедобывающих предприятий в основном в весенне-осенний период.

В производственных водах основными видами загрязнений являются:

- твердые механические примеси,
- различные виды бактерий и водорослей,
- нефтепродукты.

Принципиальная схема подготовки воды приведена на рис. 3.

Хозяйственно-бытовые сточные воды мало прозрачны, имеют слабощелочную реакцию и большое содержание взвешенных веществ. Немалая доля загрязнений представляет собой органику, почти 45–58%. Неорганическая часть представлена кварцевым песком, глиной. Присутствуют соли (фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли), соединения азота, фосфор.

Принципиальная схема подготовки хозяйственно-бытовой сточной воды для закачки в систему ППД приведена на рис. 4.

Таким образом, используемая для ППД вода не должна вызывать образование нерастворимых соединений при контакте с пластовой водой, что может привести к закупорке пор, или, как говорят, должна обладать химической совместимостью с пластовой [1].

Грунтовые воды характеризуются значительным многообразием химического состава (минерализация 100–200 мг/л), небольшим содержанием взвешенных частиц.

Воды открытых водоемов значительно уступают по качеству для применения в системе ППД, содержат большое количество механических примесей (глины или песка), особенно в период ливней и паводков, снеготаяния, способны вызвать набухание глин.

Воды глубоких водоносных горизонтов в большей степени минерализованы и часто требуют минимальной дополнительной подготовки.

Сточные воды, состоящие в основном из пластовых, добываемых вместе с нефтью, высоко минерализованы (15–3000 г/л) и обладают хорошими нефтевытесняющими свойствами, что способствует увеличению нефтеотдачи пласта. Однако содержат большое количество эмульгированной нефти, механических примесей, а также диоксида углерода и сероводорода [3].

### КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ВОДЫ

Основной задачей системы водоснабжения для поддержания пластового давления является получение необходимого количества воды, пригодной для закачки в пласт, распределение ее между нагнетательными скважинами и закачивание в пласт. Конкретный

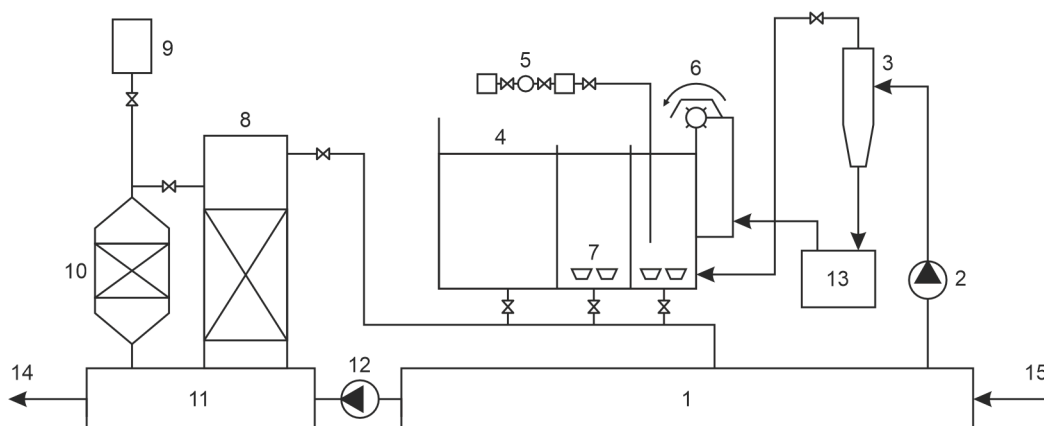


РИС. 3.

Принципиальная схема подготовки производственной воды [8].

1 – бак усреднитель, 2 – грязевой насос, 3 – гидроциклон, 4 – флотатор, 5 – блок подготовки и подачи флокулянта, 6 – лопастной пеносборник, 7 – система фильтрации, 8 – фильтр с текстильно-волоконистой загрузкой, 9 – блок приготовления и подачи гипохлорида натрия, 10 – адсорбер, 11 – бак чистой воды, 12 – насос подачи очищенных стоков, 13 – шламонакопитель, 14 – в систему ППД, 15 – стоки с территории предприятия

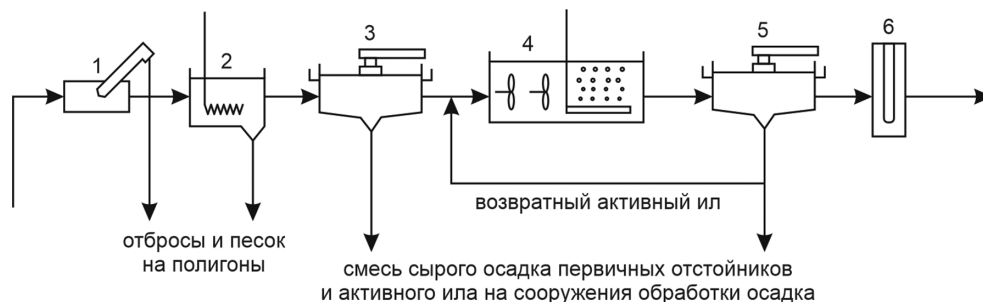


Рис. 4.

Принципиальная схема подготовки хозяйственно-бытовой сточной воды для закачки в систему ППД: 1 – решетки, 2 – песколовки, 3 – первичные отстойники, 4 – аэротенки с технологией удаления биогенных элементов, 5 – вторичные отстойники, 6 – УФ-обеззараживание.

выбор системы водоснабжения также зависит от того, на какой стадии разработки находится данное месторождение.

На первоначальном этапе разработки месторождения необходимо большое количество (практически 100%) пресной воды. Это связано с тем, что добывающие скважины на этой стадии дают практически безводную продукцию. Затем скважины все больше обводняются, появляется больше попутной воды, которая должна быть утилизирована. В связи с этим системы водоснабжения должны видоизменяться и приспосабливаться к конкретным этапам разработки месторождения. Система водоснабжения должна предусматривать рост обводненности продукции скважин и необходимость утилизации всех, промышленных сточных вод, включая ливневые, попутные, воды установок по подготовке нефти и другие.

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду важно предусматривать 100%-ную утилизацию сточных вод и работу всей системы ППД по замкнутому технологическому циклу.

Это усложняет систему водоснабжения, обуславливает необходимость специальной подготовки сточных вод, очистки их от нефтепродуктов и взвеси, борьбы с возрастающей коррозией технологического оборудования и водоводов.

Конкретный выбор системы водоснабжения зависит от потенциально доступных источников воды для закачки в пласт, которыми могут быть:

- открытые поверхностные источники (реки, водохранилища, озера, моря);
- грунтовые, к которым относятся подрусловые воды;
- подтоварная вода, вода, добытая вместе с нефтью;
- производственные сточные воды, которые образуются в результате использования воды в различных технологических процессах;
- хозяйственно-бытовые сточные воды, которые образуются при эксплуатации душевых, санузлов,

прачечных и столовых на территории предприятия;

- атмосферные (ливневые) сточные воды (поверхностный сток с территорий предприятий: дождевая, талая и поливочная вода).

Воды различного генезиса значительно отличаются друг от друга химическим составом и физико-химическими свойствами и, следовательно, эффективностью воздействия на пласт не только для повышения давления, но и повышения нефтеотдачи. Источник воды для системы ППД выбирают на основе данных технико-экономического анализа с учетом технологии водоподготовки.

Основными качественными показателями вод, делающими возможным их применение, являются:

- 1) содержание взвешенных частиц: оценивается характеристикой заводняемого пласта;
- 2) содержание кислорода;
- 3) содержание железа;
- 4) концентрация водородных ионов (рН);
- 5) содержание нефти.

Эти данные различны для каждого месторождения и должны быть пересмотрены при организации ППД в каждом конкретном районе [11].

## Выводы

Рассмотренные схемы подготовки различных типов вод, используемых для поддержания пластового давления, имеют как сходные черты, так и существенные различия. Важным фактором является совместимость закачиваемой воды с пластовыми водами. Выбор источника зависит от целого комплекса факторов. В ряде случаев в различные периоды в процессе эксплуатации нефтегазовых месторождений целесообразно применение вод различных типов.

Вне зависимости от типа применяемых вод необходимым условием является защита окружающей среды. Воздействие процессов заводнения пласта на состояние территории, непостоянство и сложность



состава и свойств вод, применяемых для поддержания пластового давления, повышенный уровень риска возникновения аварийных ситуаций – обуславливают необходимость проведения непрерывного экологического мониторинга в зоне влияния нефтегазового месторождения. В целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду необходимыми требованиями выступают строгое соблюдение технологии, а также соответствующий контроль технического состояния всего комплекса оборудования системы поддержания пластового давления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Водоснабжение систем ППД. [https://studopedia.ru/2\\_36047\\_vodosnabzhenie-sistem-ppd.html](https://studopedia.ru/2_36047_vodosnabzhenie-sistem-ppd.html) (дата обращения: 10.10.2022).
2. Добыча и подготовка нефти. Подготовка вод наземных источников. <https://oilloom.ru/80-dobycha-i-promyslovaya-podgotovka-nefti/423-podgotovka-vod-nazemnykh-istochnikov?ysclid=l4xzmdbvo522602001> (дата обращения: 01.10.2022).
3. Источники закачиваемой воды в пласт. <http://oilloom.ru/77-geologiya-geofizika-razrabotka-neftyanykh-i-gazovykh> (дата обращения: 10.10.2022).
4. Краткий отчет о результатах производственного экологического мониторинга в границах участков недр ПАО «Сургутнефтегаз» на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за 2021 г. <https://www.surgutneftegas.ru/upload/medialibrary/f55/Краткий%20отчет%20ПЭМ%20ЯНАО%202021.pdf> (дата обращения: 01.12.2022).
5. **КУДИНОВ В.И.** Основы нефтегазопромышленного дела. М., Иж.: Институт компьютерных исследований; Удмуртский госуниверситет, 2005. 720 с.
6. **НАЗАРОВ В.Д. и др.** Подготовка подтоварных вод для использования в системе ППД низкопроницаемых коллекторов нефти, Сетевое издание «Нефтегазовое дело», 2017. № 6. С. 35–56.
7. **ПАШКЕВИЧ М.А., ПЕТРОВА Т.А.** Мониторинг и оценка воздействия экологически опасных объектов ТЭК на компоненты природной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 4. С. 176–180.
8. **ПИКОВСКИЙ Ю.И., ИСМАИЛОВ Н.М., ДОРОХОВА М.Ф.** Основы нефтегазовой геоэкологии. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2017. 400 с.
9. Программа локального экологического мониторинга на территории Южно-Песцового лицензионного участка ООО «Газпром добыча Уренгой» на период 2019–2023 годы, утвержденная зам. ген. директора – главным геологом ООО «Газпром добыча Уренгой» Жариковым М.Г. 2018.
10. **РОЕВА Н.Н., РОВИНСКИЙ Ф.Я., КОНОНОВ Э.Я.** Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах // Журнал аналитической химии. 1996. Т. 51. № 4. С. 384–397.
11. Характеристика закачиваемых в пласт вод. // [https://infopedia.su/ URL: https://infopedia.su/10xbfe7.html](https://infopedia.su/URL:https://infopedia.su/10xbfe7.html) (дата обращения: 10.10.2022).

## REFERENCES

1. Water supply of PPD systems. [https://studopedia.ru/2\\_36047\\_vodosnabzhenie-sistem-ppd.html](https://studopedia.ru/2_36047_vodosnabzhenie-sistem-ppd.html) (data obrashcheniya: 10.10.2022). (In Russian).
2. Oil production and treatment. Treatment of water from surface sources. <https://oilloom.ru/80-dobycha-i-promyslovaya-podgotovka-nefti/423-podgotovka-vod-nazemnykh-istochnikov?ysclid=l4xzmdbvo522602001> (accessed: 01.10.2022). (In Russian).
3. Iсточniki zavkazayu voda v plast. <http://oilloom.ru/77-geologiya-geofizika-razrabotka-neftyanykh-i-gazovykh> (data obrashcheniya: 10.10.2022). (In Russian).
4. Brief report on the results of industrial environmental monitoring within the boundaries of the subsoil plots of PJSC "Surgutneftegas" in the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra for 2021. <https://www.surgutneftegas.ru/upload/medialibrary/f55/Краткий%20отчет%20ПЭМ%20ЯНАО%202021.pdf> (accessed: 01.12.2022). (In Russian).
5. **KUDINOV V.I.** Osnovy neftegazopromyslovogo delo [Fundamentals of oil and gas industry]. Moscow–Izhevsk: Institute for Computer Research; Udmurt State University, 2005:720. (In Russian).
6. **NAZAROV V.D. ET AL.** Preparation of produced water for use in the reservoir pressure maintenance system of low-permeability oil collectors, *Neftegazovoe delo Network*. 2017;6:35–56. (In Russian).
7. **PASHKEVICH M.A., PETROVA T.A.** Monitoring and Assessment of the Impact of Ecologically Dangerous Objects of the Fuel and Energy Complex on the Components of the Natural Environment. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008;4:176–180. (In Russian).
8. **PIKOVSKIY Y.I., ISMAILOV N.M., DOROKHOVA M.F.** Osnovy neftegazovoy geoekologii. Tutorial. Moscow:INFRA-M Publ., 2017:400. (In Russian).
9. Program of Local Environmental Monitoring in the Yuzhno-Pestsovoye License Area of Gazprom Dobycha Urengoy LLC for the period 2019–2023, approved by Deputy Director General – Chief Geologist of Gazprom Dobycha Urengoy M.G. Zharikov, 2018. (In Russian).
10. **ROEVA N.N., ROVINSKIY F.YA., KONONOV E.Y.** Specific features of heavy metal behavior in various natural environments. *Zhurnal analiticheskoy khimii*. 1996;51;4:384–397. (In Russian).
11. Characteristics of water pumped into the plast: // [https://infopedia.su/ URL: https://infopedia.su/10xbfe7.html](https://infopedia.su/URL:https://infopedia.su/10xbfe7.html) (accessed: 10.10.2022). (In Russian).

---

**Кильянов Михаил Юрьевич,**

к.х.н., преподаватель ВУЦ ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина»

↪ 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1,  
119991, Moscow, Leninsky Prospekt, 65, 1  
тел.: +7 (903) 562-05-20, e-mail: m.kilyanov@mail.ru

**Игревский Леонид Витальевич,**

к.т.н., доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

↪ 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1  
119991, Moscow, Leninsky Prospekt, 65, 1

**Лавренчук Варвара Анатольевна,**

специалист Управления организации подготовки научных и научно-педагогических кадров ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

↪ 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1,  
119991, Moscow, Leninsky Prospekt, 65, 1

**Мурадов Александр Владимирович,**

д.т.н., профессор ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», директор международного учебно-научного центра «Антикор»

↪ 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1,  
119991, Moscow, Leninsky Prospekt, 65, 1

**Демиров Владимир Иванович,**

начальник Управления ракетного топлива и горючего Департамента ресурсного обеспечения Министерства обороны РФ

↪ 105175, г. Москва, пер. Б. Козловский, д. 6  
1 05175, Moscow, per. B. Kozlovsky, 6