МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОПЫТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ
УСЛОВИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАНАЦИИ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ



gost.e-ecolog.ru

Министерство природных ресурсов Российской Федерации
Комитет природных ресурсов по Хабаровскому краю
Научно-технический центр "ДАЛЬГЕОЦЕНТР"

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОПЫТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ УСЛОВИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАНАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ

Хабаровск, 1999

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПЫТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ УСЛОВИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАНАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ

Рекомендации предназначены для недропользователей, коммунальных служб, проектных организаций и специалистов, занимающимся геологическим изучением, разведкой, проектированием, эксплуатацией и технологией водоподготовки на месторождениях и водозаборах пресных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения.

Разработчик: Научно-технический центр ДАЛЬГЕОЦЕНТР

Исполнители: д.г.-м.н. Кулаков В.В.
Архипов Б.С.
к.г.-м.н. Козлов С.А.

Научный редактор: д.г.-м.н. Кулаков В.В.

Рецензенты: ВСЕГИНГЕО (к.х.н. М.А. Антипов, к.г.-м.н. В.Д. Гродзенский); НИИ ВОДГЕО (д.т.н. Г.М. Коммунар, к.т.н. Е.В. Середкина)

Одобрено Департаментом геологии, гидрогеологии и геофизики МПР РФ (протокол от 27.01.99 г.) для апробации в Дальневосточном регионе России

Адрес: 680000, Россия, Хабаровск, ул.
Л. Толстого, 8
НТЦ Дальгеоцентр
Тел. : (4212) 227624 Факс : (4212) 227501
E-mail : gost.e-ecolog.ru

© НТЦ Дальгеоцентр, 1999

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5
1. Современное состояние использования технологии очистки подземных вод от железа и марганца в водоносном пласте 8
2. Научно-методические основы технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте 13
2.1. Научно-методические основы обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте 13
2.2. Принципиальные технологические схемы установок обезжелезиванияи деманганации подземных вод в пласте 20
2.3 Область применения установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте 26
2.4 О кольматации пород водоносного горизонта 27
3. Методика опытно-технологических исследований условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте 29
3.1. Назначение опытно-технологических исследований 30
3.2 Опытно-технологические исследования в комплексе геологического изучения месторождений подземных вод 33
3.2.1 Выбор вида опытно-технологических исследований 35
3.2.2 Выбор местоположения и схемы опытной технологической установки 36
3.2.3 Характер и степень возмущения . Продолжительность и количество циклов 39
3.2.4 Требования к сооружению скважин и оборудованию установок очистки подземных вод в водоносном пласте 42
3.2.5 Проведение специальных продолжительных групповых откачек для определения исходных гидрохимических параметров 45
3.2.6 Методика изучения динамики подземных вод, периодичность отбора проб воды, выбор комплекса показателей при гидрохимическом и микробиологическом опробовании 46
3.2.7 Выбор специального оборудования, приборов для определе-

ния необходимых гидрохимических параметров, выбор оптимальных методов анализа воды 49
3.2.8 Интерпретация результатов опытно-технологических исследований и выбор технологической схемы очистки подземных вод в водоносном пласте 50
3.3. Опытно-технологические исследования на эксплуатируемых водозаборах подземных вод 53
4. Отчетные материалы 55
Литература 57

Список рисунков

Рис. 2.1 Диаграмма зависимости стабильности ионов железа (а) и марганца (б) от величины pH и Eh раствора
Рис. 2.2 Область, благоприятная для развития железо- и марганецокисляющих бактерий
Рис. 2.3 Принципиальная схема формирования зоны осаждения железа и марганца
Рис. 2.4 Принципиальная схема односкважинной установки НИИ ВОДГЕО, состоящей из 3-х эксплуатационных скважин (а), и схема модуля установки (б)
Рис 2.5 Дуплетные установки обезжелезивания подземных вод в пласте
Рис 2.6 Многоскважинные установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте
Рис. 2.7 Схемы установок VYREDOX I (a), II (b) и III и IV(c)

ВВЕДЕНИЕ

Значение и доля пресных подземных вод в обеспечении питьевого водоснабжения населения постоянно возрастает в связи с обострением экологической ситуации из-за систематического (часто - аварийного) загрязнения поверхностных вод. В то же время подземные пресные воды нередко не удовлетворяют нормативным требованиям к питьевым водам из-за высоких концентраций железа, марганца и ряда других нормируемых компонентов их химического состава. Использование таких пресных подземных вод для удовлетворения хозяйственно - питьевых потребностей людей возможно только после их очистки и доведения содержания всех компонентов в воде до требований ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая" и СанПиН 2.1.4.559-96 перед подачей ее потребителю.

Метод (технология) обезжелезивания и деманганации пресных подземных вод в водоносном пласте впервые нашел применение в Германии. К настоящему времени за рубежом эксплуатируется более 150 установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте. Несмотря на экономические преимущества и снятие экологических проблем по утилизации промывных вод, этот метод еще недостаточно широко применяется. Одной из основных причин такого положения, по - видимому, является отсутствие у гидрогеологов и специалистов, эксплуатирующих водозаборы подземных вод, сведений о процессах и технологии очистки подземных вод в водоносном горизонте. Ключевое место в оценке возможности применения этой технологии на конкретном объекте принадлежит опытно - технологическим исследованиям в период разведки, подготовки к эксплуатации и эксплуатации месторождений пресных подземных вод, когда только соединение специальных знаний гидрогеологов, технологов и эксплуатационников может дать ощутимый успех.

Ввиду особой экономической и экологической значимости упомянутой проблемы опытно - технологические исследования оказываются важ-

ным и необходимым звеном гидрогеологических исследований на стадии геологического изучения (поисково-оценочные работы и разведка) и эксплуатации месторождений пресных подземных вод .

20-30 - летний зарубежный опыт эксплуатации водозаборов подземных вод, где применяется технология обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте, показывает эффективность ее внедрения. Эта технология включена в СНиП 2.04.02-84* (издан.1996 г., Приложение 14, п. 5).

Использование технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте по сравнению с традиционными поверхностными установками экономически предпочтительнее. Капитальные вложения на сооружение установок обезжелезивания в пласте в 3-5 раз меньше по сравнению с поверхностными станциями обезжелезивания, а эксплуатационные расходы не превышают 15% от затрат на стандартных поверхностных станциях обезжелезивания. Кроме того, по сравнению с поверхностными установками снимаются экологические трудности по утилизации смывных вод, количество которых может достигать 15-20% от величины водоотбора.

Специальные опытно-технологические исследования по возможности обезжелезивания и деманганации подземных вод в пластовых условиях могут проводиться для подземных источников водоснабжения 2-го и 3-го класса (ГОСТ 2761-84) после предварительного изучения их качества на поисковой стадии и оформления лицензии недропользователю на право геологического изучения и добычи подземных вод. Эти исследования служат основой для предпроектных и проектных технико-экономических проработок.

Методические рекомендации могут использоваться недропользователями, коммунальными службами, проектными и другими организациями при выборе технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод с содержаниями железа до 15-30 мг/дм^3 и марганца - до 1-3 мг/дм^3.

Назначение рекомендаций - познакомить широкий круг специалистов с особенностями выбора рациональных схем, подготовки и проведения опытно-технологических исследований по обезжелезиванию и деманганa-

ции подземных вод в пласте, получении сведений для альтернативной оценки вариантов водоподготовки на стадии разведки месторождений подземных вод.

Задачи рекомендаций - обеспечить получение достоверных оценочных параметров для сравнения вариантов различных схем обезжелезивания и деманганации подземных вод и разработки проектов технологических схем внутрипластовой очистки. Цель рекомендаций - подготовить специалистов различного профиля к проведению опытно-технологических испытаний в водоносном горизонте.

При подготовке Методических рекомендаций использованы результаты научно-исследовательских и производственных работ по очистке подземных вод в пласте, выполненные в 1990-1998 гг. НТЦ Дальгеоцентр по заданию Администрации Хабаровского края и Хабаровского Горводоканала и для других водопользователей, а также разработки института НИИ ВОДГЕО и зарубежный опыт внутрипластовой очистки от железа и марганца (фирма Vyrmetoder AB, Швеция).

Авторы благодарны М.А. Антипову, В.А. Грабовникову, В.Д. Гродзенскому, Г.М. Коммунару и Е.В. Середкиной за конструктивную критику и замечания, которые учтены при доработке Методических рекомендаций.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ

Впервые метод очистки подземных вод от железа в водоносном пласте нашел практическое применение в Германии в 40-х годах. Затем эта технология стала использоваться в Финляндии и Швеции. Технология очистки подземных вод от железа в пласте была запатентована в Финляндии в 1967 году. В 1970 году в СССР его авторам было выдано авторское свидетельство на изобретение (№ 310442 от 13.02.70г.) Результаты опытных работ по удалению железа и марганца из подземных вод непосредственно в пласте были опубликованы Риттензером в 1962г.

В 1976 году Р.О. Халльбергом и Р. Мартинелом опубликована статья по применению технологии очистки подземных вод в пласте [28], получившей название Виредокс (VYREDOX). Он нашел широкое развитие в последующие 20 лет в Швеции, Англии, ФРГ для очистки подземных вод, используемых для общественного потребления в коммунальных водопроводах. Наряду с методом VYREDOX, который используется для очистки подземных вод от железа и марганца, этими исследователями разработана технология очистки от углеводородного (нефтяного) и нитратного загрязнения, получившая название NITREDOX. Первая промышленная установка по обезжелезиванию подземных вод в пласте в Швеции была сооружена в 1971 году .

К настоящему времени за рубежом эксплуатируется более 150 установок по обезжелезиванию и деманганации подземных вод в пласте. Они работают в Швеции, Финляндии, Австрии, Венгрии, Словакии, Бельгии, Франции, Германии, США и других странах, а в пределах России и СНГ - более 40 предприятий. Предприятия были созданы в Латвии (г.Рига, г.Цесис), в Белоруссии, на Украине (г.Днепродзержинск), в России (г.Уфа, Подмосковье, г.Санкт-Петербург, Тюменская область, Амурская область) и других местах.

Установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте сооружались в разнообразных гидрогеологических и гидрохимических условиях. Но в опубликованной литературе очень мало сведений об опыте их сооружения и эксплуатации .

Словакия. Водозабор Русовце в г.Братислава На этом водозаборе установки обезжелезивания подземных вод в пласте VYREDOX-1 в 1989 - 90гг. сооружены шведской компанией Vyrmetoder AB. Водозабор расположен в 20 км от центра г. Братиславы и обеспечивает ее микрорайон Петржалка, где проживает 150 тысяч человек.

Скважинами водозабора, глубиной 60 - 65 м, вскрыты четвертичные аллювиальные песчано - гравийно - галечные отложения долины р. Дуная. Содержание марганца в воде - 1.2 мг/дм^3, pH - 7.0, железа - менее 0.3 мг/дм^3. Первая очередь водозабора состоит из 12 эксплуатационных скважин, расположенных на расстоянии 100 м. Каждая скважина оборудована фильтром, установленным впотай, с двухслойной гравийной обсыпкой. Диаметр рабочей части колонны - 1620 мм (до глубины 20 м), диаметр фильтровой колонны длиной 35 -40 м - 325 мм. В каждой эксплуатационной скважине установлены погружные насосы производительностью 120 л/с (430 м^3/час). Суммарный водоотбор первой очереди водозабора составляет 1200 л/с (105 тыс. м^3/сутки), из них 200 л/с возвращаются для налива в инжекционные скважины, а 1000 л/с - направляются в разводящую сеть. На водозаборе установки VYREDOX-1 объединяют в группу по 4 эксплуатационные скважины .

Вокруг каждой эксплуатационной скважины на расстоянии 15 м сооружены 8 наливных скважин глубиной 60 - 65 м и диаметром фильтровой колонны 194 мм. На расстоянии 5 м от каждой эксплуатационной скважины сооружена 1 наблюдательная скважина глубиной 60 - 65 м, диаметром 225 мм, в которой установлены зонды для автоматического измерения Eh. В

каждой группе из 4 эксплуатационных скважин смонтирована оксигенераторная станция для насыщения наливаемой воды кислородом.

Работа установок очистки подземных вод в пласте выполняется строго по регламенту в автоматическом режиме. Качество подаваемой потребителю воды полностью соответствует нормативным требованиям Словакии (марганца < 0.05 мг/дм^3).

Швеция.

В г.Ньючепинг эксплуатируются две установки VYREDOX-III (эксплуатационные скважины № 5 и 6). Установки сооружены в водно-ледниковых отложениях мощностью 30-50 м. Ширина долин, заполненных водно-ледниковыми песчано-гравийными отложениями, изменяется от 300 до 2000 м. Днище долин и склоны сложены гранитоидами.

Производительность установки на скв. №5 около 80 л/с (7000 м^3/сутки), а на скв. №6 - около 110 л/с (9500 м^3/сутки) при понижении уровня около 2 м.

Конструктивно установка состоит из эксплуатационной скважины, вокруг которой по окружности располагаются 20 спутниковых (инжекционных) скважин. В здании над эксплуатационной скважиной размещен компрессор и промышленный компьютер по автоматическому управлению установкой.

Эксплуатационные скважины оборудованы фильтровыми колоннами диаметром 300 мм, а наливные - 100 мм. Фильтры опущены на колонне труб, изготовленных из пластмассы высокого давления (PVC).

Первая установка VYREDOX-III на скв. №5 сооружена в 1976 г., а вторая на скв. №6 - в 1982 г. Они работают в автономном автоматическом режиме, процесс откачки воды и работы установки управляется компьютером. Качество отбираемой воды соответствует стандарту Швеции (железо -

менее 0.1 мг/дм^3, марганец - менее 0.05 мг/дм^3) при исходном содержании железа до 8 мг/дм^3 и марганца - до 0,7 мг/дм^3.

В городе Миолби до 1987 года коммунальное водоснабжение осуществлялось из поверхностного источника (реки). Потребность в воде - 100 л/с (около 9000 м^3/сутки). Из-за загрязнения поверхностных вод водоснабжение г. Миолби было переориентировано на подземный источник. Поскольку ресурсы подземных вод в районе ограничены, была сооружена система с искуственным восполнением запасов подземных вод, состоящая из наливных бассейнов и 3-х установок VYREDOX-!V, расположенных на расстоянии около 1 км от бассейнов. Такой водозабор работает с 1988 года и обеспечивает потребности города в воде нормативного качества (железо - менее 0,1 мг/дм^3, марганец - менее 0,05 мг/дм^3).

За рубежом эксплуатируются установки, где содержание железа в подземной воде достигает 38 мг/дм^3.

В пределах бывшего СССР специализированными и проектными институтами многие десятилетия развивалась и совершенствовалась технология очистки воды от железа и марганца на поверхностных станциях и установках обезжелезивания, в том числе и с использованием реагентов. В СССР с 1980 года во ВНИИ ВОДГЕО [1, 14, 20] проводились комплексные гидрогеохимические и технологические исследования по обезжелезиванию подземных вод в пласте. В 1985 году эта технология внутрипластовой очистки была принята межведомственной экспертной комиссией ГКНТ СССР, согласована с Минздравом СССР и рекомендована к широкому внедрению. Технология включена в СНиП 2.04.02-84* (издание 1996 года, Приложение 14, п.5).

Анализ работы поверхностных станций обезжелезивания подземных вод с содержаниями железа до 15 мг/дм^3 на Дальнем Востоке (около 100 установок),проведенный специалистами Дальневосточной государственной академии путей сообщения, показал, что все они работают неудовлетворительно.

В Хабаровском крае и Еврейской автономной области с 1990 года выполнялись опытные работы и сооружались установки обезжелезивания подземных вод в пласте на водозаборах в районе г. Комсомольска - на - Амуре и г. Хабаровска [3, 9, 12, 15, 16].

При опытно-технологических исследованиях в пласте на Мостовом водозаборе г. Комсомольска-на-Амуре в скважине 16 на односкважинной установке достигнуто снижение содержания железа с 27 до 0,05 мг/дм^3, а марганца - с 1-1,5 до 0,5 мг/дм^3.

Опытные технологические исследования по обезжелезиванию и деманганации подземных вод в пласте в районе г. Хабаровска (ст. Приамурская) на односкважинных установках позволили снизить концентрации железа с 20-25 мг/дм^3 до 0,11 мг/дм^3, а марганца - с 1-1,2 до 0,4-0,8 мг/дм^3. На многоскважинной установке на этом же участке содержание железа в воде уменьшилось до 0,16 мг/дм^3, а марганца - до0,04 мг/дм^3.

2. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАНАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ

2.1 Научно-методические основы обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте

В основу технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте заложена возможность создания в водоносном горизонте на участке расположения водозаборных скважин гидрогеохимических зон, резко отличающихся по окислительно-восстановительным условиям от природных.

В естественных условиях водоносного горизонта подземные воды, обогащенные железом и марганцем, имеют pH 5,8 - 7,0, Eh изменяется от (-100) mV до 100 mV. Содержание растворенного CO_2 достигает 200-300 мг/дм^3 при отсутствии кислорода. Основной формой миграции железа и марганца (до 95%) в маломинерализованных бескислородных и бессульфидных подземных водах с pH от 6 до 8 являются простые ионы Fe^{2+} и Mn^{2+}.

При искусственном насыщении подземных вод кислородом и удалении избыточных концентраций CO_2 на участках расположения водозаборных скважин в водоносном горизонте происходит изменение состояния среды с восстановительной на окислительную, Eh воды увеличивается до 250 - 500 mV. Породы пласта, окружающие скважину, и размножившиеся в них железо- и марганецокисляющие бактерии, при откачке воды из скважины начинают работать как медленные фильтры, способствуя окислению железа и марганца и осаждению их нерастворимых соединений в поровом пространстве водоносного горизонта.

Таким образом, основы технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте опираются на природные окислительно - восстановительные процессы при создании искусственных геохимических

барьеров вблизи эксплуатационных скважин за счет насыщения воды кислородом.

При уменьшении концентрации углекислоты, pH подземных вод повышается и происходит гидролиз железа с образованием гидрата закиси. Независимо от того, в какой последовательности протекают реакции окисления и гидролиза, конечным продуктом их всегда является гидроокись железа .

При обогащении подземной воды кислородом окислительно-восстановительный потенциал увеличивается и даже при неизменных значениях pH это вызывает уменьшение содержания железа в воде. Аэрированием воды в пласте достигается смещение химического равновесия в область устойчивости $Fe(OH)_3$. Однако, термодинамическое равновесие при этом не наступает, т.к. концентрация железа во времени непрерывно изменяется.

На поверхности частиц водовмещающих пород, покрытых каталитической пленкой гидроокиси железа, адсорбируется значительное количество кислорода, а в период откачки подземных вод адсорбированный кислород расходуется на окисление ионов Fe^{2+}.

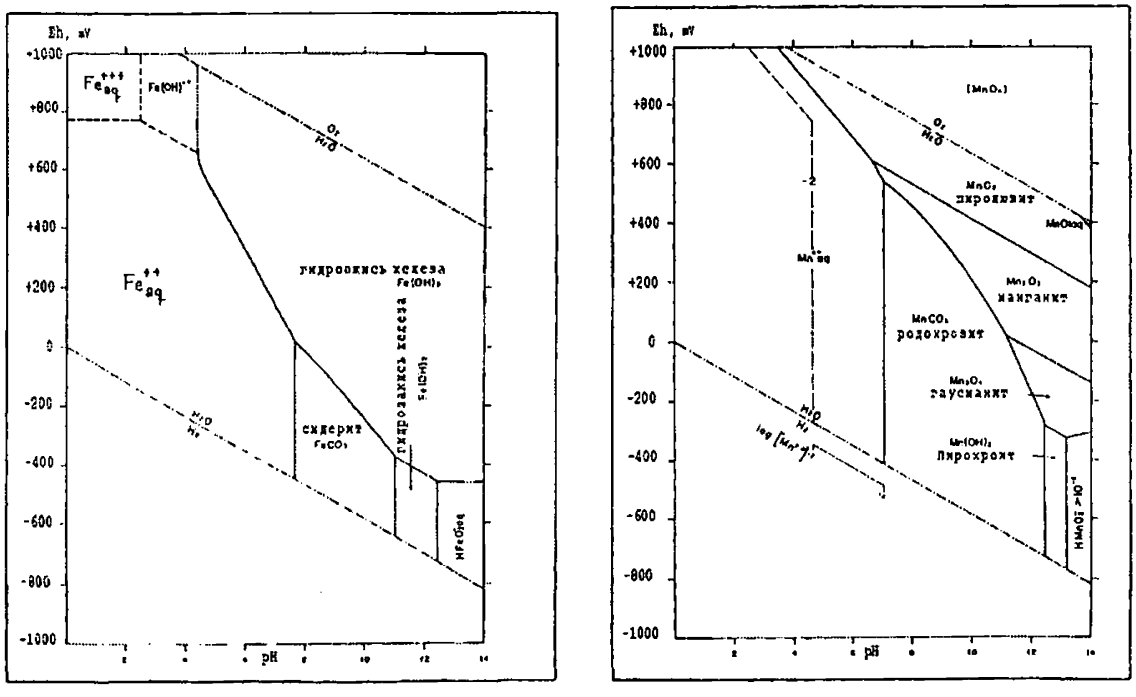
В воде порового пространства в результате гидролиза образуются высокодисперсные положительно заряженные коллоидные мицеллы гидрата закиси железа. Частично адсорбированный кислород расходуется на перевод мицелл гидрата закиси в гидрат окиси железа. Первоначально образовавшиеся мицеллы гидрата закиси-окиси железа адсорбируют на себе продукты реакции, укрупняются и осаждаются на поверхности зерен водовмещающих пород и в межпоровом пространстве. Одновременно с этим кислород из воды адсорбируется также на поверхности оболочек частиц водовмещающих пород и активизируется, вызывая дополнительное обрастание поверхности зерен грунта. Со временем вся поверхность зерен грунта покрывается слоем пленки, состоящей из гидратированных форм железа.

В результате образования гидроокисла железа количество CO_2 в воде будет возрастать: при окислении 1 мг Fe^{2+} выделяется 1.6 мг CO_2. На окисление 1 мг Fe^{2+} расходуется 0,143 мг O_2. При содержании растворенного кислорода в подаваемой в пласт воде порядка 10 мг/дм^3, теоретически

этого количества достаточно для окисления около 70 мг/дм^3 железа, если кислород не будет расходоваться на окисление других компонентов.

На диаграмме - схеме (рис. 2.1) показано при каких значениях pH и Eh растворенные Fe^{2+}(а) и Mn^{2+}(б) могут окислиться в нерастворимую форму. Эти граничные линии нельзя рассматривать как абсолютные, т.к. их положение может изменяться в зависимости от концентраций других веществ в природных водах.

Теоретически окисление Mn в воде кислородом может происходить при pH в пределах 9 - 9,5. При более низких значениях pH скорость окисления Mn^{2+} крайне мала. Вместе с тем данные, представленные в работах зарубежных исследователей, свидетельствуют о том, что при одновременном присутствии в подземных водах железа и марганца осаждение последнего может происходить при более низких значениях pH. Зафиксировано окисление и осаждение марганца в присутствии железа уже при pH равном 5,8-6,5.



а) б)

Рис. 2.1 Диаграмма зависимости стабильности ионов железа (а) и марганца (б) от величины pH и Eh раствора

В природных условиях величины pH и Eh являются недостаточно высокими, поэтому для окисления железа и марганца требуется жизнедеятельность специальных бактерий. Эти железо- и марганцеокисляющие бактерии не образуют однородную систематическую группу, но обладают способностью использовать окисление железа и марганца в качестве источника энергии для обмена веществ. Бактерии, которые в качестве источника энергии могут использовать как железо, так и марганец, должны окислить в 6 раз больше марганца, чем железа для получения того же количества энергии. Чем ярче у бактерий выражена склонность к окислению марганца, тем больше их потребность в органическом углероде (вместо двуокиси углерода), являющимся источником углерода, необходимого для роста и размножения железобактерий.

Биохимические окислительно-восстановительные реакции весьма сходны с химическими, но имеют и отличительные черты. Катализируемые ферментами, вырабатываемыми живой клеткой, они способны протекать в отсутствие высоких температур, в то время как для осуществления ряда химических реакций требуются высокие температуры .

Д.Т. Лацей и Ф. Лаусон (1970), изучая кинетику окисления $FeSO_4$ в оптимальных для развития Thiobacillus ferrooxidans условиях (избыток кислорода, двуокиси углерода, температура 31^0C, pH=2,2), рассчитали, что названный микроорганизм при непрерывном окислении может окислять двухвалентное железо со скоростью, приблизительно в 500000 раз большей, чем скорость его химического окисления .

Известно несколько видов железобактерий, принадлежность которых не вызывает сомнений. Из них только у пяти видов - Leptothrix ochracea , L. trichogenes, Gallionella ferruginea, G. minor, G. Major, достаточно резко выражены все существенные признаки железобактерий (рис 2.2). Эти пять форм принадлежат к автотрофным микроорганизмам, синтезирующим из неорганических веществ необходимые для жизни органические вещества.

Наибольшее значение для железобактерий играет концентрация растворенных в воде закисных соединений бикарбоната железа. Содержание его в воде, где обильно развиваются железобактерии, колеблется от 10 до 30 мг/дм^3. Наиболее благоприятна для развития железобактерий слабокислая среда с pH от 3,5 до 7,6. При нейтральной реакции среды железобактерии могут довольствоваться ничтожным содержанием железа в воде - 2 - 3 мг/дм^3, а при слабокислой реакции для своего развития они требуют уже более высокой концентрации железа (6 - 10 мг/дм^3) .

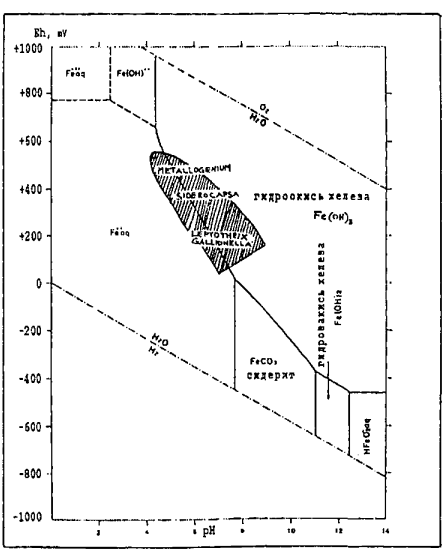


Рис. 2.2 Область, благоприятная для развития железо- и марганецокисляющих бактерий

Железобактерии могут развиваться в среде, не содержащей органических веществ. На 1г синтезированного ими клеточного вещества они окисляют 279 г двухвалентного железа с образованием 534 г $Fe(OH)_3$. Соотношение между окисленным железом и ассимилированным из углекислоты углеродом (500 : 1) показывает, какое большое количество гидроокиси железа образуется при автотрофном росте. Гидроокись железа после отмирания бактерий служит материалом для заполнения порового пространства.

Готовое органическое вещество отмирающих железобактерий используется для синтеза своего организма гетеротрофными марганецокисляющими бактериями .

Наиболее изученным представителем нитчатых бактерий, накапливающих окислы марганца, является Leptothrix (Sphaerolutilus) discofora, но окисление марганца осуществляют также L. Lopholea, L. Pseudoochracea, L. cholodnii, L. sideropus, Crenothrix manganifera, Siderocapsa, Naumanniella .

Окисление марганца способны вызывать разнообразные микроорганизмы и для многих из них образование отложений марганца является скорее реакцией на специфические внешние условия, чем специфической физиологической функцией. Марганецокисляющие микроорганизмы являются типичными гетеротрофами .

Метод очистки подземных вод от железа и марганца в пласте (рис. 2.3) заключается в создании в подземных водах вокруг эксплуатационных скважин на определенном расчетном расстоянии такой величины Eh, которая вызвала бы выпадение в осадок железо и марганец непосредственно в порах водовмещающих пород. Осаждение железа происходит в первой (более удаленной от скважины) зоне. Здесь увеличивается количество железоокисляющих бактерий, соответственно, увеличивается и число мертвых железобактерий. Часть погибших железобактерий, перемещаясь потоком подземных вод по порам водоносного пласта, поставляет органическое вещество, которое является источником углерода для бактерий, имеющих склонность к окислению марганца во второй зоне, приближенной к эксплуатационной скважине.

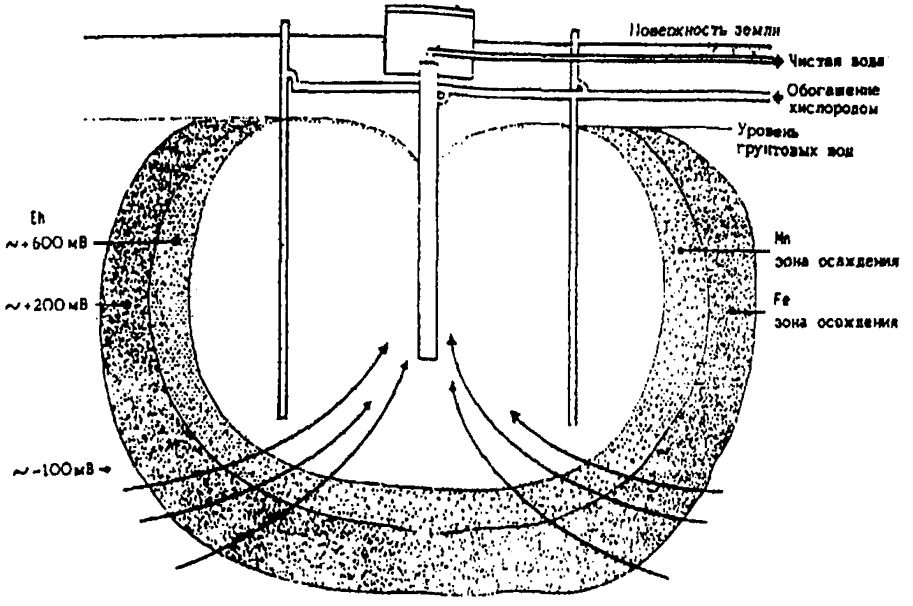


Рис. 2.3 Принципиальная схема формирования зоны осаждения железа и марганца

Смена восстановительной обстановки пласта на окислительную активизирует размножение железо- и марганецпоглощающих бактерий. Эти бактерии имеют щелочную поверхность, на которую осаждаются положительно заряженные мицеллы окислов железа и марганца. Отмирая, бактерии заполняют осадком гидроокислов железа и марганца поровое пространство (немобильные поры) водоносного горизонта в пределах определенной расчетами зоны, что позволяет при соблюдении регламента эксплуатации установок избежать кольматации прифильтровой зоны эксплуатационных скважин в течение столетий их работы.

Таким образом, технология обезжелезивания и очистки подземных вод в пласте соответствует условиям, которые создает сама природа с помощью различных типов бактерий при изменении гидрогеохимической обстановки с восстановительной на окислительную за счет насыщения воды кислородом.

2.2. Принципиальные технологические схемы установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте

Технология обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте обусловлена воздействием кислорода воздуха, которым подземные воды насыщаются на поверхности или непосредственно в водоносном горизонте.

Для обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте применяются **односкважинные** и **дуплетные** (двухскважинные) установки циклического действия, а также **многоскважинные** установки типа VYREDOX циклического или постоянного действия. Процесс обогащения подземных вод кислородом воздуха (или закачки-налива аэрированной воды) может осуществляться как непосредственно через эксплуатационные скважины на односкважинных и дуплетных установках, так и через специальные инжекционные (наливные или спутниковые) скважины, расположенные вокруг каждой эксплуатационной скважины, на многоскважинных установках.

Односкважинные и дуплетные установки рассчитаны на периодическую (циклическую) работу скважин с чередованием циклов закачки в пласт аэрированной воды и отбора очищенной подземной воды. Многоскважинные установки, как правило, обеспечивают непрерывную подачу потребителю воды, очищенной от железа и марганца.

Подача в пласт воды, насыщенной кислородом и освобожденной от избыточного содержания углекислого газа и сероводорода, может производиться с:

- естественной аэрацией воды за счет инжекции воздуха (эжектором) на поверхности;

- *принудительной аэрацией воды в стволе скважины за счет подачи* воздуха от компрессора.

Для аэрирования подземных вод и удаления избыточного CO_2 используются также эжекторы, дегазаторы и аэраторы, построенные по типу градирен.

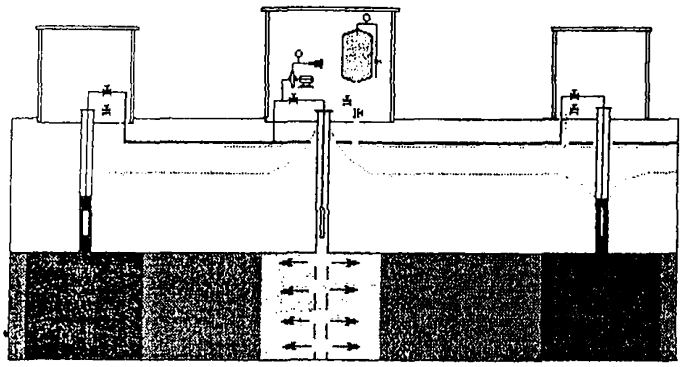
Односкважинные установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте представляют из себя объединенную систему эксплуатационных скважин, оборудованную приспособлением для дегазации от углекислого газа и сероводорода и насыщения кислородом воды перед ее наливом (нагнетанием) в водоносный горизонт. Минимальное количество эксплуатационных скважин - одна, максимальное количество скважин определяется потребностью в воде.

Односкважинные установки выполняются в двух модификациях: со свободным наливом и принудительной закачкой в пласт аэрированной воды . В установках со свободным наливом концентрация растворенного кислорода в воде составляет 8 - 10 мг/дм^3. В случае принудительной закачки аэрированной воды в пласт достигается более высокая концентрация кислорода - до 20 мг/дм^3. Односкважинные установки, разработанные во ВНИИ ВОДГЕО [1, 14, 20] наиболее часто применяются в России и ближнем зарубежье.

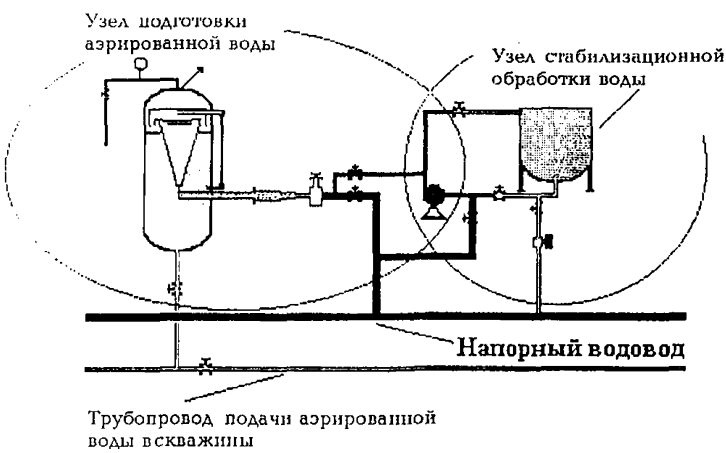
В случае односкважинной установки вода для налива берется из накопительного резервуара или соседней эксплуатационной скважины.

В процессе периодически повторяющихся циклов окисления подземных вод в пласте и откачки воды из скважины отмечается следующее. Вокруг эксплуатационной скважины образуется зона (пояс) выпадения железа, которое связывает значительное количество кислорода. Для создания такой зоны требуется время на зарядку пласта, т.к. разового обогащения кислородом недостаточно.

Так называемое полезное соотношение - коэффициент эффективности (отношение количества откачиваемой из скважины воды к количеству наливаемой, обогащенной кислородом) увеличивается с ростом числа циклов аэраций. Это полезное соотношение зависит от качественного состава подземной воды на каждом объекте, литологического состава водовмещающих пород и наличия благоприятных условий для развития железо- и марганецокисляющих бактерий.



а)



б)

Рис. 2.4 Принципиальная схема односкважинной установки НИИ ВОДГЕО, состоящей из 3-х эксплуатационных скважин (а), и схема модуля установки (б)

Дуплетные установки (спаренные скважины) обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте применяются в ФРГ - фирма «Субтерра» (SUBTERRA). Принцип их действия следующий. Из первой скважины (рис. 2.5) откачивается вода, большая часть которой поступает в водопровод, а оставшаяся часть после обогащения кислородом закачивается во вторую скважину. Закачка ведется в течение 20 часов, затем в течение 4 часов контактного времени налив в скважину прекращается и в водоносном пласте идут окислительные процессы. После этого начинают отбор воды из второй скважины с подачей большей ее части в сеть и закачкой остальной предварительно аэрированной воды в первую скважину.

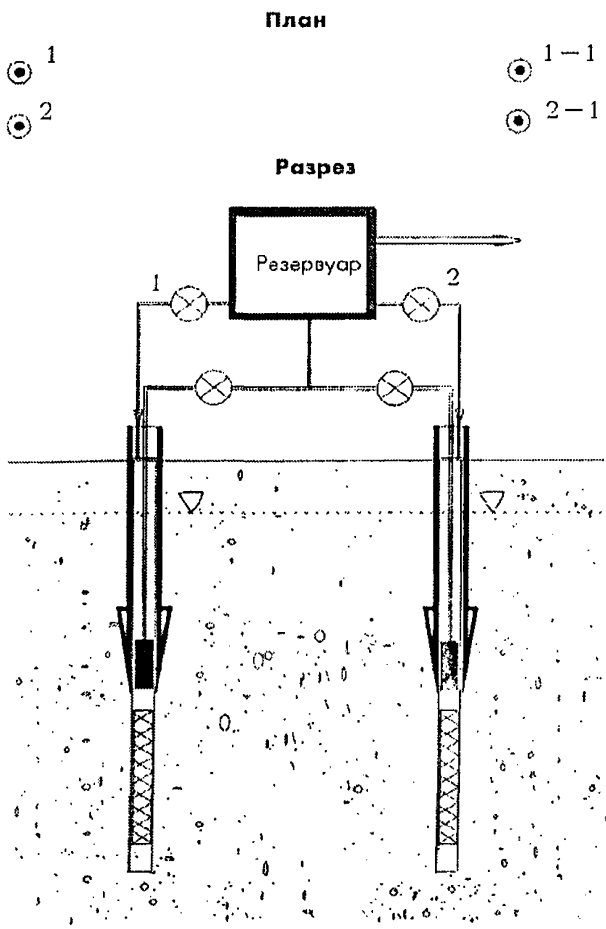


Рис 2.5 Дуплетные установки обезжелезивания подземных вод в пласте

Многоскважинные установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте (VYREDOX) распространены в дальнем зарубежьи. В настоящее время известны 4 модификации установок обезжелезивания и деманганации в пласте VYREDOX, разработанные шведской фирмой VYRMETODER AB - мирового лидера в сооружении этих установок [27 - 30].

При многоскважинной установке возможны несколько вариантов забора воды для аэрации: из резервуара, из соседних эксплуатационных скважин и использования для налива части воды, отбираемой непосредственно из эксплуатационной скважины (рис. 2.6), а также - осуществление аэрации воды непосредственно в инжекционных скважинах.

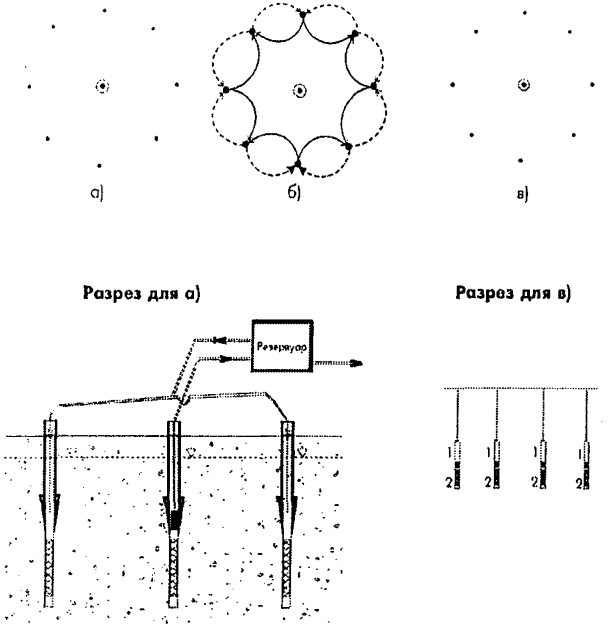


Рис 2.6 Многоскважинные установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте (VYREDOX-1 - а; VYREDOX-2 - б; VYREDOX-3, 4 - в)

На установках VYREDOX (рис. 2.7) вокруг каждой эксплуатационной скважины по окружности, радиусом 5-25 м, располагаются от 5 до 20 и более наливных (инжекционных) скважин. Зона осаждения железа и марганца в пласте формируется при закачке в наливные скважины воды (VYREDOX I и II) или подаче воздуха в инжекционные скважины для внутрискважинной эрлифтной откачки (VYREDOX III и IV).

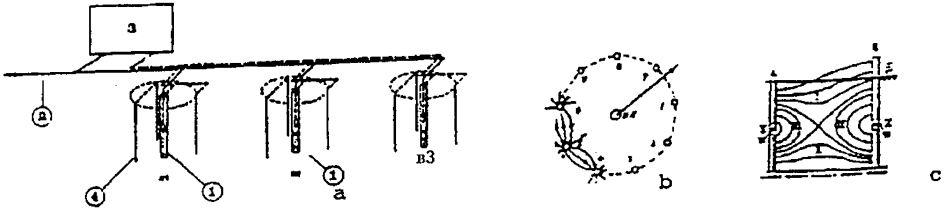


Рис. 2.7 Схемы установок VYREDOX I (a), II (b) и III и IV(c)

VYREDOX I (рис.2.7 a) - вода откачивается из двух эксплуатационных скважин (1) к потребителю (2) и частично направляется на установку насыщения воды кислородом (3). От этой установки (эжектор, аэратор) обогащенная кислородом вода направляется в наливные скважины (4) вокруг третьей эксплуатационной скважины (ВЗ). Очистка затем происходит на границе между окисленным объемом и окружающим восстановительным объемом пород снаружи окисленного объема. В течение налива обогащенной кислородом воды, откачка из эксплуатационной скважины не производится. Насыщенная кислородом вода должна находится вокруг каждой эксплуатационной скважины и добавка для каждой скважины воды для поддержания окислительного процесса может производиться примерно в течение 20 часов, например, еженедельно.

VYREDOX II (рис.2.7 b) при этом методе процесс откачки потребляемой воды может производиться в течение 24 часов независимо от окисления, потому что насосы устанавливаются и в наливных скважинах. Работа установки заключается в следующем: откачка в течение 2-4 часов из наливных скважин 1 и 3 через эжектор (оксигенератор) и налив в скважину 2. При

этом наблюдается поток между наливными скважинами. Через 2-4 часа процесс автоматически переключается на три следующие наливные скважины и т.д.

Окисление в таком случае производится циклически и не зависит от откачки из эксплуатационной скважины.

VYREDOX III (рис.2.7 с). Глухая труба со специальным насосом и окси-генераторным оборудованием устанавливается примерно посередине рабочей части фильтра в инжекционных (спутниковых) скважинах. Это означает, что вода может откачиваться из нижней части фильтра скважины - с притоком воды из водоносного горизонта - в верхнюю часть - с оттоком воды в водоносный горизонт. Когда вода откачивается одновременно с насыщением кислородом из нижней части в верхнюю и из верхней части в нижнюю соответственно в каждой второй инжекционной скважине, сетка потока формируется между двумя этими скважинами без выхода откачиваемой воды на поверхность. Эти операции с 2-4 часовыми интервалами откачек из нижнего интервала в верхний и из верхнего в нижний соответственно продолжаются 24-48 часов в неделю и тангенциальный поток насыщенной кислородом воды между инжекционными скважинами достигается.

VYREDOX IV дополняет модификацию VYREDOX III тем, что в инжекционных скважинах наряду с дуплетинжекторами устанавливаются дегазаторы для удаления сероводорода и избыточного содержания углекислого газа.

2.3 Область применения установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте

Установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте используются в подавляющем большинстве в водоносных горизонтах, сложенных песками, песчаниками, гравийно-галечными отложениями. За рубежом и в России известны установки, оборудованные на трещиноватые, преимущественно терригенные породы. В последнем случае важна величина пористости скальных и полускальных пород.

Предпочтительнее применение установок очистки подземных вод в пласте для неглубокозалегающих водоносных горизонтов. Но, например, в Мексике глубина скважин установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте составила 300 м.

Установки сооружаются как для очистки грунтовых безнапорных подземных вод, так и для напорных подземных вод. Более благоприятны условия для работы установок при наличии четких литологических контактов в разрезе водоносного горизонта (глины - пески), или при ее сооружении на первый от поверхности водоносный горизонт вблизи от уровня грунтовых вод.

Процесс обезжелезивания и деманганации в водоносном пласте протекает наиболее активно при гидрокарбонатном кальциевом составе подземных вод с минерализацией 0,3-0,8 г/дм^3. Если подземные воды ультрапресные и их щелочность менее 1 мг/дм^3, а также в них отмечаются высокие концентрации органических веществ (фульво- и гуминовые кислоты), насыщение подземных вод кислородом может не привести к полному удалению трудноокисляемых форм железа в течение длительного времени. Сульфатный или хлоридный анионный состав не позволяет осуществить обезжелезивание и деманганацию подземных вод в пласте.

2.4 О кольматации пород водоносного горизонта

Вопрос кольматации пород водоносного горизонта и прифильтровых зон эксплуатационных скважин нерастворимыми соединениями железа и марганца в ходе эксплуатации установок очистки подземных вод в пласте, поднимается каждым специалистом, начинающим знакомиться с технологией внутрипластовой очистки.

Поэтому для примера приведем расчет степени кольматации. Условия, принимаемые в расчет:

- мощность водоносного горизонта - 10 м,
- содержание железа в подземной воде - 20 мг/дм^3,
- содержание железа в откачиваемой воде - 0 мг/дм^3,

- дебит эксплуатационной скважины - 1000 $м^3$/сутки,

- радиус зоны осаждения нерастворимого железистого осадка вокруг скважины - 10м,

- пористость - 0,2 (в т.ч. активная пористость - 0,1, неактивная пористость - 0,1),

- объемная плотность осадка (лимонита) в порах пласта - 5 $г/см^3$, отложение осадка соединений железа и марганца происходит в неактивных порах пласта,

- расчетный срок эксплуатации водозабора (скважины) - 10000 суток (27,5 лет).

1. Определяем количество железа, которое будет отложено в водоносном пласте и объем этого осадка.

   $1000*10000*20 = 2*10^8$г =200 тонн.

   200 т : 5 =40 $м^3$.

2. Определяем объем пор (пустот) в водоносном горизонте вблизи скважины.

   $3,14*(10)^2*10*0,2$ =628 $м^3$, из них активных (мобильных) пор - около 300 $м^3$,а неактивных (немобильных) пор - около 300 $м^3$.

Вывод: в течение расчетного срока эксплуатации будет заполнено 13% объема неактивных пор водоносного горизонта (40 : 300). При данных условиях установка обезжелезивания подземных вод в водоносном горизонте без снижения величины водоотбора из скважины может функционировать более 200 лет.

Проблема декольматации фильтров и прифильтровых зон на односкважинных установках обезжелезивания подземных вод в пласте решена НИИ ВОДГЕО, которым разработана технология регенерации фильтров и этих зон соляной кислотой. На многоскважинных установках очистки подземных вод в пласте эта проблема отсутствует.

3. МЕТОДИКА ОПЫТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСЛОВИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАНАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ

В практике гидрогеологических исследований и подготовки месторождений пресных некондиционных подземных вод к эксплуатации, опытно - технологические исследования в большинстве случаев не выполняются, несмотря на их важную роль в обосновании способа очистки и обеспечении устойчивого качества подаваемой потребителю питьевой воды при эксплуатации.

Опытно-технологические исследования правомерно рассматривать в качестве специального и нередко (когда геологическое изучение и разведка месторождения подземных вод завершена) - самостоятельного вида гидрогеологических работ . Их рекомендуется выполнять, начиная с поисково-оценочной стадии геолого-разведочных работ. Основной объем опытно-технологических исследований условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте следует выполнять при разведке месторождения, а также до разработки проекта строительства водозабора подземных вод, когда разведка завершена.

Постановка и проведение опытно-технологических исследований включают : 1)обоснование необходимости выполнения этих исследований на конкретном объекте, 2) разработку схемы размещения точек и пунктов (эксплуатационных скважин) проведения исследований , а также конструктивных особенностей опытных установок или конструктивных особенностей оборудования эксплуатационных скважин, 3) обоснование количества и последовательности бурения опытных (эксплуатационных), инжекционных и наблюдательных скважин, подборку и проектирование специального оборудования для обеспечения производства опытно технологических исследований, 4) бурение и оборудование скважин, изготовление и монтаж необ-

ходимого оборудования, 5) изучение изменения качества подземных вод на участке водозабора в период проведения специальной продолжительной групповой откачки с водоотбором близким к эксплуатационному 6) назначение продолжительности циклов опытных работ, методики гидрохимического опробования и лабораторных исследований, 7) систематическое изучение в процессе проведения опытных работ динамики подземных вод на участке расположения водозаборных скважин и качества подземных вод по физическим, химическим и микробиологическим показателям, 8) проведение индикаторных опробований, а также специальных лабораторных и полевых исследований и экспериментов.

Важную определяющую роль при проведении опытно-технологических исследований приобретает изучение качественных характеристик подземных вод и их изменения при создании искусственного геохимического барьера на экспериментальной или пионерной установке обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте. Поэтому перед полевыми и лабораторными исследованиями качества подземных вод ставится ряд взаимосвязанных задач, заключающихся в определении основных параметров состава, выявлении физико-химической природы процессов преобразования подземных вод при насыщении их кислородом, оценке параметров и скорости протекания этих процессов в пласте .

Анализ и количественная интерпретация физико-химических и микробиологических процессов протекающих в пласте, используются для корректировки продолжительности циклов и подбора технологического регламента работы установки эмпирическим или расчетным путем .

3.1 Назначение опытно-технологических исследований

Решение задач по очистке подземных вод непосредственно в водоносном горизонте, а также по эффективному и устойчивому управлению их качеством в пределах нормативных требований при рациональном использовании в процессе эксплуатации зависит от надежности исходной инфор-

мации о системе вода - порода на каждом объекте, а также - от прогноза о характере протекающих процессов. Главную роль в такой информации (наряду с данными о фильтрационных параметрах водоносного горизонта и природном составе подземных вод) занимают сведения о механизмах, процессах и параметрах скорости изменения (уменьшения) концентраций нормируемых компонентов - железа, марганца и других, получаемые в результате опытно-технологических исследований. Эти опытно-технологические исследования включают полевые исследования и натурные наблюдения, а также сопутствующие лабораторные определения. Ввиду значительной экологической и экономической значимости из-за проблемы утилизации смывных вод на поверхностных установках обезжелезивания, опытно-технологические исследования в пласте оказываются важным и необходимым звеном в комплексе гидрогеологических работ .

Опытно-технологические исследования в водоносном горизонте являются достаточно новым видом работ, не получившим еще достаточного обоснования и сравнительно мало освещенным в литературе. Рассмотрение незначительного количества публикаций по этой проблеме, а также полученного авторами даже ограниченного полевого экспериментального материала представляется полезным для практических исследований, поскольку растет число объектов гидрогеологических изысканий, требующих обоснованного решения вопроса по схеме очистки подземных вод .

Под опытно-технологическими исследованиями в водоносном горизонте нами понимаются специальные гидрогеологические работы, выполняемые при поисках, разведке и эксплуатации месторождений подземных вод хозяйственно-питьевого назначения, нацеленные на выбор и обоснование технологической схемы и способа очистки некондиционных подземных вод до нормативных требований.

Основная задача исследований - подобрать оптимальную схему установки и разработать технологический регламент, позволяющий гаранти-

рованно удалять из некондиционных подземных вод железо и марганец за счет их осаждения в пласте.

Аналогичный вид работ выполняется при разведке месторождений твердых полезных ископаемых - технологические исследования по обогащению руд, в процессе которых исследуются и подбираются технологические схемы обогащения. Однако задача этих исследований - подобрать регламент, при котором будет достигнуто максимальное извлечение полезного компонента (как и в случае с технологией подземного выщелачивания) в отличие от опытно-технологических исследований и технологий очистки подземных вод в водоносном пласте, когда требуется наоборот - оставить максимальное количество нормируемого компонента в горизонте , не извлекая его вместе с водой питьевого качества на поверхность .

Опытно-технологические исследования в водоносном пласте могут начинаться на поисково-оценочной стадии геологоразведочных работ, а основной их объем следует выполнять при разведке месторождений подземных вод. Если разведочные работы на месторождении завершены ранее, то опытно-технологические исследования по обезжелезиванию и деманганации подземных вод в водоносном пласте необходимо выполнить в начальный период проектирования водозабора для технико-экономического сравнения и обоснования вариантов водоподготовки при строительстве водозабора первой очереди .

Внедрение на водозаборах технологии очистки подземных вод от железа и марганца и других компонентов в водоносном пласте, а соответственно, и выполнение опытно-технологических исследований для выбора схемы установки и уточнения технологического регламента позволяет существенно уменьшить затраты на сооружение и эксплуатацию водозаборов и решить экологические проблемы .

Опытно-технологические исследования условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте, как правило должны выполняться под руководством гидрогеологов, которые знакомы с бурением

и опробованием гидрогеологичесикх скважин, привлекая специалистов по технологии водоподготовки.

Важнейшим этапом изучения технологических характеристик является планирование опытно-технологических исследований, т.е. предварительное обоснование величины налива (нагнетания) в инжекционные (наливные) скважины и дебита (водоотбора) из опытной (эксплуатационной) скважины, расстояния до инжекционных и наблюдательных скважин, продолжительность опыта и др. Эти показатели подбираются таким образом, чтобы в процессе опыта воспроизводилась та или иная расчетная технологическая схема, причем в оптимальном варианте она должна отвечать уровню проектируемого водоотбора и степени очистки, либо позволять оценивать параметры, допускающие дальнейшую расчетную экстраполяцию. В тоже время применимость конкретной технологической схемы определяется вероятными значениями параметров установки и технологического регламента. Это предполагает стадийность проведения опытно-технологических исследований и проверку правильности расчетної схемы на основе фильтрационных и миграционных параметров, определяемых на первых этапах опробований.

3.2 Опытно-технологические исследования в комплексе геологического изучения месторождений подземных вод

Опытно-технологические исследования необходимы и обязательны при решении задач по выбору оптимальной схемы очистки подземных вод от загрязняющих или нормируемых компонентов непосредственно в водоносном горизонте.

Методика опытно-технологических исследований при геологическом изучении месторождений подземных вод определяется стадией гидрогеологических исследований, а также сложностью гидрогеологических и гидрогеохимических условий разведуемого объекта. Эта методика включает обоснование следующих основных вопросов .

1. Выбор вида опытно-технологических исследований (специальные полевые и лабораторные гидрогеохимические исследования на разведочных скважинах, пробное применение технологии на разведочных скважинах, сооружение специальных одиночных, дуплетных и многоскважинных установок и проведение на них пробного, опытного и опытно-эксплуатационного технологического опробования) .

2. Выбор местоположения и схемы опытной технологической установки - количества опытных, наблюдательных и инжекционных скважин, системы их расположения, расстояния между скважинами .

3. Характер и степень возмущения (постоянство и величина дебита при откачке - наливе или нагнетании).

4. Продолжительность и количество циклов откачки - налива или нагнетания аэрированной воды , а также схема последовательности этих циклов в скважинах.

5. Оборудование разведочных , инжекционных и наблюдательных скважин .

6. Обоснование проведения специальной продолжительной групповой откачки с водоотбором близким к водоотбору проектируемого водозабора для определения исходных гидрохимических параметров перед началом опытных работ на технологической установке.

7. Обоснование методики изучения динамики подземных вод на участке расположения водозаборных скважин, периодичности отбора проб воды, комплекса показателей при гидрохимическом, и микробиологическом опробовании в каждом цикле опытно-технологических исследований.

8. Выбор и обоснование применения специального оборудования и приборов для определения необходимых гидрохимических параметров, выбор оптимальных методов анализа вода.

9. Интерпретация результатов опытно-технологических исследований и выбор эксплуатационной технологической схемы очистки подземных вод в водоносном пласте.

3.2.1 Выбор вида опытно-технологических исследований

Выбор вида опытно-технологических исследований - определяется стадией поисково-разведочных работ и зависит в первую очередь от сложности гидрогеологических и гидрогеохимических условий изучаемого объекта. Специальные полевые и лабораторные гидрогеохимические исследования на скважинах проводятся на всех стадиях гидрогеологических исследований. На поисковой стадии их основной целью является получение сравнительных характеристик качества подземных вод на отдельных участках и для разных водоносных горизонтов, что позволяет выбрать объект для разведки с наилучшими гидрохимическими параметрами. На поисково-оценочной и разведочной стадиях данные полевых и лабораторных гидрохимических исследований позволяют корректировать продолжительность и количество технологических циклов в процессе опытных работ с целью предварительного определения возможного технологического регламента на промышленных установках обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте .

Пробное применение технологии очистки подземных вод в водоносном пласте на разведочных скважинах проводится, начиная со стадии поисково-оценочных работ. Обычно на участках изучаемого месторождения с наиболее повышенными концентрациями нормируемых элементов необходимо соорудить дуплетную разведочную установку, на которой следует выполнить пробное обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте . Пробное обезжелезивание и деманганацию подземных вод в водоносном пласте именно на поисково-оценочной стадии необходимо провести в случае высоких концентраций железа, превышающих 10 мг/дм^3, или его нахождения в виде органо-минеральных комплексов, а также в случае сульфатно-гидрокарбонатного или хлоридного анионного состава подземных вод .

Сооружение специальных одиночных, дуплетных и многоскважинных установок и проведение на них пробного, опытного и опытно-

эксплуатационного технологического опробования осуществляется на разведочной стадии, чтобы определить схему и технологический регламент эксплуатации установок на проектном водозаборе подземных вод. Эти установки сооружаются с целью определения опытным путем возможной технологии очистки подземных вод от железа и марганца в водоносном пласте и для установления технологического регламента при эксплуатации их на водозаборе. При неблагоприятном гидрохимическом составе подземных вод именно на разведочной стадии выполняются основные объемы опытно-технологических исследований в водоносном пласте.

На стадии разведки месторождения опытные одиночные и дуплетные установки обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте сооружаются при содержаниях железа, не превышающих 10 мг/дм^3, и при концентрациях марганца менее 0,5 мг/дм^3. При больших концентрациях этих элементов требуется сооружать опытные многоскважинные установки для выполнения опытно-технологических исследований .

3.2.2 Выбор местоположения и схемы опытной технологической установки

Выбор местоположения и схемы опытной технологической установки - количества опытных, наблюдательных и инжекционных скважин, системы их расположения, расстояния между скважинами - целесообразно производить таким образом, чтобы получить по - возможности полную и надежно обоснованную характеристику технологического регламента очистки подземных вод в водоносном пласте при уверенном контроле за изменением качества подземных вод в процессе эксплуатации .

Опытные установки для проведения обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте целесообразно располагать на участках проектируемых водозаборов первой очереди в местах с наиболее высокими концентрациями железа и марганца. Подобрав технологический регламент очистки подземных вод в водоносном пласте для неблагоприятных гидрохимических условий, можно с большой вероятностью утверждать, что такая

технология позволит получить воду нормативного качества на других участках проектного водозабора, где гидрогеохимические условия (содержание железа и марганца и других компонентов в подземных водах) более благоприятные для устойчивой работы технологических установок .

Составление схемы опытной установки заключается в обосновании количества опытных (разведочных), наблюдательных и инжекционных (наливных) скважин и их взаимного расположения как в плане, так и в разрезе опробуемого водоносного горизонта. Под примерной схемой расположения скважин на опытной установке понимается такое количество скважин разного назначения и такое их взаимное расположение, которое при заданной степени возмущения (водоотбора и налива -инжекции) позволит достоверно прослеживать изменение гидрохимических параметров подземных вод водоносного горизонта на опытном участке в плане и в разрезе в реальном масштабе времени продолжительности опытного цикла (3-20 суток).

На односкважинных опытных установках, сооружаемых в песчаных и песчано-гравийных отложениях, в зависимости от проектного дебита и концентраций в воде нормируемых компонентов расстояние от опытной до первой наблюдательной скважины составляет 5 - 8 м , а до второй наблюдательной - 10 - 15 м, чтобы была возможность в процессе опытных работ проследить за формированием зоны, где породы (и подземные воды) насыщаются кислородом при повторяющихся циклах откачки -налива в опытной скважине. В точке расположения ближайшей наблюдательной скважины желательно иметь ярусный куст, состоящий из 3-х или более скважин. Осевые горизонтальные плоскости центров фильтров в наблюдательных скважинах необходимо располагать у верха, в центре и в нижней части интервала фильтра в опытной скважине .

На дуплетных опытных установках расстояние между опытными скважинами изменяется от 10 - 15 до 30 - 40 м . Расстояние от одной из опытных до первой наблюдательной скважины принимается равным 5 - 8 м, а вторая наблюдательная - располагается посередине между опытными скважинами. На дуплетной опытной установке в точке заложения первой

наблюдательной скважины, также как и на односкважинной установке, желательно иметь несколько ярусных наблюдательных скважин.

На односкважинной или дуплетной установке необходима наблюдательная скважина за пределами зоны влияния внедряемых в пласт аэрированных вод. Это позволит проводить сравнение природного состава подземных вод с изменяющимся составом откачиваемых вод в процессе опытно-технологических исследований .

Схема куста скважин на опытной многоскважинной установке должна обеспечить получение не только необходимой информации о процессах изменения гидрохимического состава подземных вод, но и исключить неконтролируемое подтягивание некондиционных вод к опытной скважине при водоотборе из нее. Опытные многоскважинные установки, сооружаемые при высоких концентрациях железа и марганца в подземных водах (более 15 и 1 мг/дм^3 соответственно), состоят из опытной (центральной), инжекционных (наливных) и наблюдательных скважин .

Инжекционные скважины располагаются по окружности вокруг опытной на расстоянии не менее 10 -15 м . При концентрациях железа, превышающих 20 мг/дм^3, это расстояние увеличивается до 20 - 30 м . Количество инжекционных скважин обычно не менее 6, и только на опытных установках типа VYREDOX -1 их количество может быть уменьшено до 3 -4.

Расстояние от опытной до первой наблюдательной скважины составляет 3 - 5 м, а вторая наблюдательная - располагается посередине между инжекционными скважинами. Желательно, чтобы в этих обеих точках расположения были сооружены по три ярусные наблюдательные скважины, по которым можно проводить исследования за изменением гидрохимических характеристик подземных вод на разных интервалах водоносного пласта . Как и в случае с односкважинными и дуплетными установками, за пределами зоны изменения водовмещающих пород и вод рекомендуется иметь наблюдательную скважину для контроля за естественным составом подземных вод водоносного горизонта .

3.2.3 Характер и степень возмущения. Продолжительность и количество циклов

Подготовка к проведению опытно-технологических исследований требуют предварительного изучения водоносного пласта по данным бурения скважин, опытно-фильтрационных работ, полевых и лабораторных определений гидрохимического состава подземных вод, лежащих в основе предварительных расчетов по обоснованию схемы опытной установки, характера и степени возмущения пласта на участке этой установки. Характер возмущения определяется типом установки и схемой расположения скважин на опытной установке .

На односкважинных и дуплетных установках непосредственно на опытных скважинах производятся и откачки и наливы (нагнетания) воды. Один цикл опытных работ состоит из налива аэрированной воды в скважину, выстойки в течение нескольких часов и откачки воды из скважины. В течение первых 2 - 5 циклов происходит первичная "зарядка" водоносного пласта вблизи фильтра опытной скважины . В этот период первых опытных циклов при первичной "зарядке" пласта объем налитой в скважину и откачанной воды, чаще всего, должны быть примерно равными. В зависимости от проектного дебита определяется этот объем из расчета, чтобы во-первых, радиус зоны изменения водовмещающих пород вблизи фильтра скважины был не менее 5 - 10 м, а во-вторых, в пласте должно аккумулироваться аэрированной воды после налива не менее 4 - 6 суточных объемов ее при откачке .

При возможности выполнения более 4 циклов опытных работ, оставляя в последующем цикле объем наливаемой аэрированной воды примерно постоянным, увеличивают продолжительность откачки и объем отбираемой воды. Это позволяет опытным эмпирическим путем установить степень подготовленности пласта к очистке подземных вод в конкретных природных условиях и подобрать технологический регламент, рекомендуемый в дальнейшем при эксплуатации установки.

Общая продолжительность одного цикла (налива - откачки из каждой опытной скважины) составляет 4 - 10 суток с учетом времени на выстойку . Общая продолжительность опытно - технологических исследований с учетом времени, необходимого для выхода на эксплуатационный технологический регламент, может составить от 3 до 6 месяцев на каждой опытной односкважинной установке, а в отдельных случаях – до 12 месяцев.

Таким образом, при выполнении опытно-технологических исследований на односкважинных или дуплетных установках необходимо стремиться к постоянству величины объема наливаемой (нагнетаемой) аэрированной воды .

На многоскважинных опытных установках характер возмущения водоносного пласта на первом этапе (этапе "зарядки") отличается от второго этапа - опытных пуско - наладочных работ .

На первом этапе необходимо создать в водоносном пласте зону измененных пород, охватывающую как опытную, так и инжекционные скважины. Для этого осуществляется периодическая откачка подземных вод из одной или нескольких скважин опытной установки (как из опытной так и из инжекционных) и одновременный налив этой воды после аэрации в остальные скважины установки. Определив расчетным путем объем пород (точнее - объем пустот) в водоносном пласте в радиусе расположения инжекционных скважин, задается объем извлеченной на поверхность при откачке из одних скважин и объем наливаемой в остальные скважины воды. В этом случае продолжительность цикла определяется, исходя из этого расчетного объема и суммарного дебита воды, откачиваемой из скважин на установке . На каждой скважине опытной установки на этапе "зарядки" пласта откачка и налив должны быть выполнены не менее 4 раз для формирования устойчивого гидрогеохимического барьера - зоны измененных пород в водоносном пласте.

Продолжительность цикла составляет 2 - 4 суток с учетом времени на выстойку. Общая продолжительность первого этапа может достигать 2 - 4 месяцев. Для ускорения процесса зарядки водоносного горизонта на последних циклах налива (закачки) воды в скважины установки можно ис-

пользовать в качестве катализатора-ускорителя добавление в воду щелочи или кальцинированной соды.

На втором этапе опытно-технологических исследований на многоскважинной установке (этапе пуско - наладочных работ) в зависимости от типа проектируемой установки (VYREDOX-1 или VYREDOX -2, 3, 4) принимается характер возмущения при откачке из опытной скважины - периодический или постоянный.

При периодическом характере возмущения (установки VYREDOX - 1) циклы откачки воды из опытной скважины чередуются с циклами налива воды в инжекционные скважины . Опытным путем подбирается продолжительность откачки из опытной скважины и определяется объем извлекаемой воды, а также продолжительность налива и объем наливаемой воды в инжекционные скважины. Как правило, объем извлеченной при откачке воды превышает объем наливаемой в несколько раз . По мере увеличения количества циклов это соотношение возрастает с 3 -5 до 10 и более раз .

На установках типа VYREDOX -2, 3, 4 устанавливается постоянный характер возмущения, когда из центральной опытной скважины производится откачка, а через инжекционные скважины осуществляется аэрирование подземных вод. Характер этого двойного постоянного возмущения должен обеспечить устойчивое нормативное качество откачиваемой воды и не допустить подтягивания природных некондиционных подземных вод. Параметры технологического регламента (дебиты опытных скважин при откачке и наливах - аэрировании в инжекционных скважинах) подбираются таким образом, чтобы движение аэрированных вод между инжекционными скважинами проходило в объемах и со скоростью, не допускающей прорыва некондиционных подземных вод в направлении опытной скважины установки, с одной стороны, а время движения воды и длина пути воды по пласту к опытной скважине, с другой стороны, позволяли завершиться физико-химическим и микробиологическим процессам, приводящим к осаждению железа и марганца в водоносном горизонте .

Продолжительность опытных работ на втором этапе исследований на многоскважинных установках может составить около 1 - 3 месяцев при

условии получения стабильных результатов по нормативному качеству откачиваемой воды в течение 10 -15 дней .

Общее время опытно-технологических исследований на многоскважинных установках, включая работы первого и второго этапов, достигает 3 - 6 месяцев и по своей продолжительности они сопоставимы с опытно - эксплуатационными откачками из скважин .

3.2.4 Требования к сооружению скважин и оборудованию установок очистки подземных вод в водоносном пласте

Эффективность и достоверность опытно-технологических исследований , а также надежность очистки подземных вод в пласте на уже действующих установках обезжелезивания и деманганации определяется прежде всего качеством сооружения (бурения) и оборудования скважин. Существующие конструкции эксплуатационных, разведочных, инжекционных и наблюдательных скважин не всегда позволяют достигнуть необходимой детальности и качественных результатов при проведении опытно-технологических исследований на новых объектах и опытно-эксплуатационных работ на действующих водозаборных скважинах. Если иметь в виду наиболее оптимальный вариант, максимально исключающий негативные последствия от недостатков при бурении и оборудовании скважин, то основные требования к бурению и оснащению скважин сводятся к следующему:

Оптимальная конструкция эксплуатационных скважин должна обеспечивать надежную изоляцию от перетоков подземных вод по затрубному пространству при эксплуатации установки по очистке подземных вод в пласте. Желательно при бурении устанавливать “кондуктор” длиной 10-20 м (а в отдельных случаях и более), производить его надежную изоляцию путем затрубной цементации и только после этого производить бурение в интервале установки рабочей части фильтров, устанавливать фильтр на колонне труб и производить его качественную гравийную обсыпку.

Рабочая часть фильтров в эксплуатационной скважине должна обеспечить заданную производительность (дебит при максимальной величине водоотбора) при возможно минимальной длине фильтра .

Опытно-технологические исследования на действующих эксплуатационных скважинах в Амурской области, в которых фильтры были установлены в нескольких интервалах ("в разбежку"), не позволили достичь необходимой степени удаления железа в откачиваемой воде. Поэтому одно из главных условий - расположение рабочей части фильтра в одном интервале разреза водоносного горизонта . В безнапорных водоносных горизонтах небольшой мощности низ фильтра желательно располагать у его подошвы. При значительной мощности безнапорного водоносного горизонта фильтры располагаются на глубине, позволяющей обеспечить проектный водоотбор, но при этом динамический уровень в процессе эксплуатации не должен опускаться ниже верхней части фильтра. Предпочтительнее в таком случае, если верх или низ фильтра находятся у контакта со слабопроницаемыми прослоями или линзами водонепроницаемых пород .

В напорных водоносных горизонтах небольшой мощности желательно, чтобы длина фильтра равнялась мощности водоносного горизонта . При значительной мощности напорного водоносного горизонта рабочая часть фильтра должна располагаться у кровли или подошвы водоносного горизонта.

К разведочным скважинам в период проведения опытно-технологических исследований по очистке подземных вод в пласте должны применяться такие же ограничения, как и к эксплуатационным скважинам при определении конструкции и выборе интервала установки рабочей части фильтра .

Специальные инжекционные (наливные или спутниковые) скважины, применяемые на многоскважинных установках типа VYREDOX, имеют свои особенности. Для предотвращения перетока некондиционных вод из выше- и нижезалегающих слоев водоносного горизонта основное требование - это необходимость установки фильтра таким образом, чтобы его рабочая часть была длиннее рабочей части фильтра в эксплуатационной (разве-

дочной) скважине на 6 -10 м. Верх фильтра в инжекционной скважине устанавливается на 3 - 5 м выше верха фильтра в эксплуатационной скважине, а низ - на 3 -5 м ниже его при условии достаточной мощности водоносного горизонта .

Наблюдательные скважины в период опытно-технологических исследований сооружаются и оборудуются таким образом, чтобы была возможность прослеживать гидрохимические процессы в водоносном горизонте и на различных его интервалах, то есть фильтры в них устанавливаются, как в плоскости по центру фильтра в разведочной скважине, так и в верхней и нижней части исследуемого горизонта .

Общее требование ко всем типам скважин при отработке и использовании технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте - из конструкции **ИСКЛЮЧАЕТСЯ** сооружение отстойников фильтров. Отстойники фильтров являются местом, где создаются благоприятные условия для вторичного развития железо- и марганецокисляющих бактерий. Это в свою очередь может привести к вторичному обогащению воды (уже в водопроводной сети) железом и марганцем.

Диаметр фильтровой колонны эксплуатационных и разведочных скважин выбирается в зависимости от проектного или эксплуатационного дебита и марки (диаметра) погружного насоса. В зависимости от этого диаметры фильтровых колонн изменяются от 168 до 426 мм.

Минимально необходимый диаметр фильтров инжекционной скважины составляет 100 мм, но лучше, если он будет равен 150 -200 мм.

Диаметр фильтров наблюдательных скважин определяется возможностью отбора водных проб насосом типа "Малыш" и измерения уровней и физико-химических параметров подземных вод непосредственно в стволе скважины в интервале рабочей части, обычно он равен –108-127 мм.

При использовании технологии очистки подземных вод в водоносном горизонте важную роль приобретает материал, из которого изготовлены фильтры и надфильтровые колонны скважин, предпочтительнее применение пластмассовых или других инерционных материалов (типа PVS) .

В условиях низких наружных температур воздуха и многолетнемерзлых пород должны быть проведены мероприятия, исключающие замерзание воды в инжекционных и наблюдательных скважинах.

В состав специального оборудования, применяемого для насыщения подземных вод кислородом воздуха и удаления избыточных концентраций углекислого газа и сероводорода, входят: аэраторы, эжекторы, дегазаторы. Имеются самые различные модификации этих приспособлений и разные схемы их обвязки (монтажа) на скважинах установок очистки подземных вод в пласте. Это специальное оборудование монтируется или на поверхности вблизи от установки, или внутри ствола скважин (см. Раздел 2.2).

3.2.5 Проведение специальных продолжительных групповых откачек для определения исходных гидрохимических параметров

Эксплуатационный водоотбор вызывает увеличение содержаний железа и марганца в подземных водах. Наиболее интенсивно эти процессы происходят в течение первых месяцев с начала эксплуатации. Так, например, содержание железа в скважинах Мостового водозабора (г. Комсомольск-на-Амуре) возросло в течении 1-3 месяцев от начала эксплуатации с 5-10 мг/дм^3 до 20-30 мг/дм^3, а по отдельным скважинам - до 50 мг/дм^3. Содержание марганца изменилось от 0,2-0,4 мг/дм^3 до 1,0-2,0 мг/дм^3. Зона максимальных преобразований химического состава подземных вод около водозаборных скважин может ограничиваться радиусом 10-15 м. Содержания железа (и марганца) в водозаборных скважинах расположенных на расстоянии 30 м друг от друга, в отдельных случаях, могут отличаться в несколько раз.

Эффективность работы установок по очистке воды существенно зависит от правильности выбора исходных концентраций этих химических элементов при проектировании. Проектирование и строительство установок по обезжелезиванию подземных вод, базировавшееся на определении содержаний железа, полученных при проведении одиночных и кратковременных опытных откачек (до 10 суток), часто не решало проблемы доведения

качества воды до норм ПДК из-за резкого увеличения содержаний железа и марганца с началом эксплуатации водозабора. Для правильной интерпретации результатов опытно-технологических исследований и выполнения технологических расчетов важным является точное определение в подземных водах конкретных скважин опытного участка исходных концентраций железа и марганца.

В связи с этим, необходимо проведение специальных групповых откачек с водоотбором, близким к водоотбору из эксплуатационных скважин проектируемого водозабора. Для выполнения таких откачек могут использоваться, как разведочные гидрогеологические скважины, так и специально оборудуемые эксплуатационные скважины для опытно-технологических исследований. Продолжительность откачек определяется при проведении этих откачек по времени стабилизации содержаний железа и марганца, чаще всего, она может составлять 1-3 месяца. Суммарный водоотбор во время таких откачек должен приближаться к водоотбору проектируемого водозабора на данном участке, а производительность опытных скважин должна быть близка к производительности эксплуатационных скважин водозабора.

3.2.6 Методика изучения динамики подземных вод, периодичность отбора проб воды, выбор комплекса показателей при гидрохимическом и микробиологическом опробовании

Полевые наблюдения в достаточно длительный период опытно-технологических исследований условий очистки подземных вод в пласте заключаются в периодических измерениях и определениях всех гидрогеологических и гидрогеохимических параметров процессов - дебитов (объемов) откачки и налива (нагнетания), динамических уровней, температуры. Однако, качественное опробование подземных вод по физико- химическим и микробиологическим показателям при этих исследованиях является главенствующим видом гидрогеологического (гидрогеохимического) опробования. Именно результаты гидрогеохимических исследований позволяют дать ответ на вопрос о принципиальной возможности и практической применимо-

сти очистки подземных вод в пласте при эксплуатации конкретного месторождения. Решая задачу информативности наблюдений, следует определить оптимальную частоту наблюдений и измерений параметров .

Наблюдения за изменением уровня подземных вод рекомендуется осуществлять через 2 - 4 часа .

Для измерения дебита (водоотбора или налива) предпочтительнее использовать водомеры соответствующей производительности, т.к. при опытно-технологических исследованиях важное значение имеет учет баланса количества извлеченной и налитой воды в каждом цикле. Измерения производятся с той же частотой , как и уровней подземных вод. Однако, применение водомеров позволяет уменьшить погрешность при определении объемов воды, используемых в опытном технологическом регламенте и увеличить точность определений .

Наиболее существенные и основные свойства подземных вод - химические, физико-химические и микробиологические, которые следует определять в процессе опытно-технологических исследований, это - температура, pH, Eh, электропроводность, железо, марганец, гидрокарбонат-ион, сульфат-ион, растворенные углекислый газ и кислород, кремнекислота, щелочность, окисляемость и стабильность. Эти показатели качества подземных вод до и после ее обработки в водоносном пласте определяются систематически на всех циклах опытных работ на установке .

Непосредственно на участке работ через 4 - 12 часов (2 - 6 раз в сутки) определяются температура, pH, Eh, электропроводность как откачиваемой, так и наливаемой (нагнетаемой) воды. Определения выполняются на всех скважинах, из которых проводится откачка, на наблюдательных скважинах, а также в наливаемой воде после ее аэрирования .

Один раз в сутки по этим же скважинам производятся определения железа, марганца, гидрокарбонат-иона, сульфат-иона, растворенного углекислого газа и кислорода, кремнекислоты, щелочности, окисляемости, электропроводности и стабильности.

Общий химический анализ воды производится только из опытной скважины в конце откачки через 2 - 4 цикла, а также из наблюдательной скважины, расположенной вне зоны влияния опытно-технологических исследований.

Микробиологические исследования выполняются по специальной программе, цель которой не только зафиксировать появление и размножение в водоносном пласте железо- и марганецокисляющих бактерий, но и корректировать интенсивность откачки воды из опытной скважины для предотвращения нежелательного выноса этих бактерий на поверхность. Микробиологические исследования подземных вод проводятся во всех скважинах (опытной, инжекционных и наблюдательных) . Желательно эти исследования выполнить не менее 3-х раз (на 2-4 цикле, в середине и в конце проведения опытных работ).

Для измерения уровня, дебита, температуры воды и физико-химических ее показателей лучше всего использовать специальные приборы и датчики для непрерывной записи изменений этих показателей. В настоящее время уже разработано много систем сбора и передачи (или запоминания) информации от удаленных объектов контроля: система " Водолей " фирмы Геолинк, система, разработанная институтом ВСЕГИНГЕО, автоматизированные системы Санкт-Петербургского горводоканала, Харьковкоммунпродвода и др.; для замеров гидрохимических параметров непосредственно в скважинах могут применяться гидрологические зонды типа "Ротан", выпускаемые НПЦ ПАЛС (г.Самара) и др. Применение таких автоматизированных систем и приборов позволит управлять проведением длительных опытно-технологических работ из специально оборудованной диспетчерской, значительно повысить качество этих работ и снизить затраты на их проведение.

3.2.7 Выбор специального оборудования, приборов для определения необходимых гидрохимических параметров, выбор оптимальных методов анализа воды

Степень и скорость изменения содержания отдельных компонентов и показателей в водных пробах зависят как от типа воды, так и от условий хранения. Важнейшими показателями состояния подземных вод являются водородный показатель (pH) и окислительно-восстановительный потенциал (Eh). Оба этих показателя, особенно Eh, величина которого во многом определяется составом и содержанием растворенных газов, также являются неустойчивыми и быстро меняют свое значение в отобранной пробе. Все эти обстоятельства требуют особенно внимательного подхода к отбору проб подземных вод при выполнении опытно-технологических работ, чтобы: во-первых, полученная вода (проба) по своим свойствам соответствовала пластовой воде в точке опробования и, во-вторых, чтобы качество этой воды в отобранной пробе не изменялось до начала анализа этой пробы.

Хранение проб без изменения их качества возможно только для ограниченного числа показателей и только в течение определенного времени, поэтому некоторые показатели необходимо определять непосредственно на месте отбора проб (pH, Eh, O_2, CO_2своб., NH_4^+, NO_2^-, Fe^{3+}, органолептические показатели). Для других показателей необходимо производить герметичный отбор проб при помощи резинового шланга на неустойчивые компоненты (сокращенный химический анализ, спектральный анализ, растворенные газы), некоторые пробы необходимо консервировать (железо общее, марганец и другие компоненты).

По существующим требованиям, минимальная концентрация определяемого показателя химического состава должна быть не менее, чем в 2 раза ниже установленных предельно допустимых концентраций (ПДК).

Железо общее может определяться в лаборатории по унифицированной методике с сульфосалициловой кислотой [25, 26]. Содержание марганца должно определяться в лаборатории по методике ГОСТа 4974-72 [5] или другой методике, принятой в ГОСТ 8.563-96. Для оперативного контроля изменений содержаний железа и марганца в воде в процессе проведения

опытных работ предпочтительно использовать портативные приборы (иономеры) Существующие методы определения и модели этих приборов позволяют оперативно на точке опробования определять концентрации в воде железа с разрешением - 0,01 мг/дм3 и марганца – 0,1 мг/дм3.

Показатели Eh и pH и концентрацию растворенного в воде кислорода необходимо определять непосредственно на точке опробования специальными портативными приборами.

Определение других компонентов ($CO_{2своб.}$, NH_4^+, NO_2^-, Fe^{3+}) на точке опробования может производиться при помощи полевого комплекта оборудования [22]. Остальные показатели общего химического анализа воды должны определяться в лаборатории по общепринятым методикам [21].

В соответствии с СанПиН 2.1.4.559-96 (пункт 5.10) для проведения лабораторных иссследований (измерений) качества питьевой воды допускаются метрологически аттестованные методики, соответствующие ГОСТ 8.563-96 и ГОСТ 8.556-91,установленные значения показателей погрешности которых не превышают норм погрешности по ГОСТ 27384-87, а также методики, утвержденные или допускаемые к применению Госстандартом России или Госсанэпидслужбой России. Отбор проб воды для анализа проводят в соответствии с требованиями Государственных стандартов.

3.2.8 Интерпретация результатов опытно-технологических исследований и выбор технологической схемы очистки подземных вод в водоносном пласте

Постановка и интерпретация опытно-технологических исследований требуют достаточно ясных представлений о процессе миграции и переработки некондиционных природных подземных вод в водоносном пласте при создании искусственных геохимических барьеров в условиях конкретного объекта и о возможных теоретических моделях, описывающих этот процесс . В противном случае могут быть допущены серьезные просчеты даже в качественном понимании тенденций процессов очистки подземных вод, а следовательно, и в принципиальных схемах рекомендуемых устано-

вок обезжелезивания и деманганации в водоносном пласте и выборе технологического регламента.

Интерпретация результатов опытно-технологических исследований проводится в несколько этапов: 1) качественный анализ графиков изменения концентраций отдельных компонентов химического состава и физико-химических параметров; 2) непосредственное вычисление параметров зарядки водоносного пласта согласно намеченным на первом этапе расчетным моделям; 3) оценка достоверности полученных результатов для выбора технологического регламента с использованием параллельных независимых оценок, вытекающих, в частности, из литолого-структурного анализа и полевых гидрохимических и лабораторных определений состава подземных вод, а также анализа чувствительности или инерционности системы вода - порода к внешнему воздействию на каждом цикле опытных работ.

Обработку данных, полученных при опытно-технологических исследованиях, рекомендуется проводить графоаналитически. Для этого строятся основной временной график изменения физико-химических параметров и концентраций определяемых компонентов в воде в зависимости от режима опыта (дебит откачки - налива) и вспомогательные графики, характеризующие процессы зарядки (подготовленности) пласта на разных циклах опытных работ в зависимости от объема и качества налитой (аэрированной) воды и извлеченной из водоносного горизонта при откачке. Анализ результатов и интерпретация полученных графиков дают возможность выбрать вариант технологической установки, наиболее соответствующей условиям конкретного объекта.

В случае выбора односкважинной или дуплетной установки, расчет этих установок, вычисление параметров зарядки водоносного пласта и подбора технологического регламента ее эксплуатации производится в соответствии с рекомендациями, разработанными Г.М. Коммунаром и др. [20] . Работа этих установок наиболее эффективна и технологический регламент наиболее оптимален при достаточно низких концентрациях железа, не превышающих 5 мг/дм^3. В расчетах обосновывается и определяется продолжительность защитного действия зоны “зарядки” водоносного горизонта и

осуществляются расчеты односкважинных или дуплетных установок, исходя из заданной производительности или заданного объема водосборного резервуара.

Более подробно о технологических расчетах систем водоснабжения с односкважинными и дуплетными установками обезжелезивания циклического действия, используя натурные опытные исследования по обезжелезиванию подземных вод в водоносном пласте, можно ознакомиться в работе [20] на стр. 244 - 253.

В отдельных случаях по результатам опытных работ целесообразно выполнение численного моделирования процессов “зарядки” кислородом водовмещающих пород и процесса окисления железа в зоне "зарядки" пласта и сравнение полученных результатов с опытными данными. Вопросы численного моделирования процессов “зарядки” кислородом водовмещающих пород и процесса окисления железа в зоне "зарядки" пласта на сегодняшний день уже имеют серьезную научную проработку, как в России, так и за ее пределами.

Недостатком многих программ является то, что они не могут учитывать развитие окислительной зоны вследствие каталитического действия самих осажденных окислов и гидроокислов на окислительный процесс. В то время , как по исследованиям ряда авторов и по нашим наблюдениям, данный фактор при обезжелезивании и деманганации подземных вод в пласте - является решающим. В целях оперативного прогнозирования процессов обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте в период опытных работ и при интерпретации полученных данных после их окончания представляется более целесообразным выполнение моделирования изменений зоны “зарядки” пласта в рамках $C_{Fe2+} < 0{,}3$ мг/дм^3 ($C_{Mn2+} < 0{,}1$ мг/дм^3), в процессе опытных циклов, на основе одномерных и многомерных методов статистического анализа. Такое моделирование, основанное на реальных (опытных) данных, будет уже учитывать и развитие окислительной зоны вследствие каталитического действия самих осажденных окислов и гидроокислов на окислительный процесс.

Конечной задачей интерпретации результатов опытно-технологических исследований является выбор эксплуатационной технологической схемы очистки подземных вод в водоносном пласте и разработка такого регламента их работы, при котором обеспечивается непрерывная подача воды потребителю в требуемом количестве и с требуемым качеством.

3.3 Опытно-технологические исследования на эксплуатируемых водозаборах подземных вод

На действующих водозаборах подземных вод опытно-технологические исследования по пробному обезжелезиванию воды в пласте проводят непосредственно на эксплуатационных скважинах.

До начала опытно-технологических исследований следует обобщить и проанализировать материалы по геолого-гидрогеологическим условиям и гидрогеохимическому составу подземных вод на участке водозабора. Оценить схему расположения скважин, их конструктивные особенности и техническое состояние, схему сбора и подачи воды в водоводы или резервуары. При обследовании водозабора уточняются фактические дебиты скважин, измеряется положение статического и динамического уровней воды в каждой скважине, проводится отбор проб воды для определения химического состава (в первую очередь для определения железа и марганца) и измеряется pH и Eh воды, концентрация растворенного кислорода и двуокиси углерода непосредственно у скважины.

Анализ всех этих данных позволяет наметить схему опытно-промышленной установки обезжелезивания подземных вод в пласте, используя имеющиеся эксплуатационные скважины.

Отличие и сложность опытно-технологических исследований на действующих водозаборах подземных вод от выполняемых в комплексе геологического изучения месторождений подземных вод заключается в том, что работы проводятся при уже сложившейся системе расположения скважин и коммуникаций, а конструкции скважин нередко недостаточно приемлемы для успешного применения технологии очистки подземных вод в пла-

сте (фильтры расположены в нескольких интервалах, пропускная способность фильтров недостаточна и др.).

На начальном этапе исследований одна из эксплуатационных скважин оборудуется распределительной системой, позволяющей производить откачку и налив, а также насыщение воды кислородом и удаление из нее углекислого газа с помощью аэратора (эжектора) или дегазатора. Методика и технология опытных работ должна соответствовать рекомендуемой для односкважинных или дуплетных установок очистки подземных вод в пласте (см. Раздел 3.2).

Для ускорения производства опытных работ при наливе в скважину желательно использовать уже очищенную от железа воду (возможно - из накопительного резервуара), которая прошла через аэратор (эжектор).

Продолжительность цикла выбирается, исходя из эксплуатационного дебита скважины, и возможности ее принять при наливе от 1 до 5 суточных объемов откачки. Желательно выполнить не менее 3 циклов откачки - налива. Результаты этих опытно-технологических исследований или позволят принять схему односкважинных (дуплетных) установок очистки подземных вод в пласте, или докажут необходимость перехода к многоскважинным установкам обезжелезивания и деманганации.

В последнем случае вокруг одной из эксплуатационных скважин, максимально удовлетворяющей требованиям к конструкции ее для установок по очистке подземных вод в пласте, сооружаются несколько инжекционных (спутниковых) скважин. Оборудуется система по насыщению подземных вод кислородом воздуха (эжектор, дегазатор) и выполняются опытно-технологические исследования в режиме полупромышленной эксплуатации установки (см. Раздел 3.2) : то есть после зарядки водоносного горизонта и снижения концентраций железа и марганца до нормативных требований вода подается потребителю.

При проведении опытно-технологических исследований по обезжелезиванию подземных вод в пласте на водозаборах Приамурья отмечалось снижение концентраций кремнекислоты. Хотя специальных исследований и экспериментов не проводилось, теоретически возможно удаление (соосаждение в пласте) на гидрооксидах железа и марганца тяжелых металлов.

4. ОТЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы опытно-технологических исследований условий обезжелезивания и деманганации подземных вод на объекте могут помещаться в виде главы (или отдельной книги) в отчете по геологическому изучению недр месторождения подземных вод, а также - в виде самостоятельного отчета по выполненным работам. Последнее касается в первую очередь опытно-технологических исследований, выполненных на действующих водозаборах подземных вод.

Отчетные материалы представляются в соответствии с Инструкцией о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ и ТКЗ материалов по подсчету эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод, но в более сжатом виде.

Текстовая часть отчета по опытно-технологическим исследованиям условий очистки подземных вод в пласте составляется по схеме:

Введение.

Общие сведения о месторождении подземных вод или участке водозабора.

Оценка природного качества подземных вод и техногенного загрязнения.

Методика, виды и объемы выполненных работ; принципиальная схема опытной технологической установки .

Результаты исследовательских и опытных работ.

Моделирование зарядки пласта, интерпретация результатов опытных работ и прогноз процесса обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте.

Рекомендации по выбору технологической схемы обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте.

Заключение.

В приложения к отчету входят следующие основные таблицы:

- результатов опытных работ;

- результатов определений содержания компонентов химического состава , pH и Eh подземных вод.

Графические приложения к отчету должны содержать:

Гидрогеологическую (гидрогеохимическую) карту с разрезами;

Схему (план) опытной установки;

Результаты опытных работ (графики) с данными по водоотбору и наливу, и ходом изменения гидрохимических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Тесля В.Г. и др. Опыт внутрипластовой очистки подземных вод от железа // Водоснабжение и санитарная техника, N 5, 1989г.- с.14-15.

2. Антонов В.В. Гидрогеологические проблемы недропользования (прикладные аспекты). ПАНГЕЯ, Санкт-Петербург, 1997.95 с

3. Архипов Б.С., Козлов С.А., Кулаков В.В. Опытно-технологические исследования и пуско-наладочные работы на установках обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте. Тез.докл. 3 междунар. конгресса "Вода: экология и технология", М.,25-30.05.98 г, с.156.

4. ГОСТ 4011-72. Вода питьевая. Методы определения общего железа. М.: Госстандарт СССР, 1973.

5. ГОСТ 4974-72. Вода питьевая. Методы определения содержания марганца. М.: Госстандарт, 1973.

6. ГОСТ 8.450-81. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкала окислительных потенциалов водных растворов. М.: Госстандарт СССР, 1981, 7с.

7. ГОСТ 8.135-74. РН-метрия. Стандарт-титры для приготовления образцовых буферных растворов 2-го разряда. Технические условия. М: Госстандарт СССР, 1977, 5 с.

8. ГОСТ 27384-87. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств. М. Госстандарт, 1987, 14 с.

9. Козлов С.А. ., Архипов Б.С. Опыт внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца на водозаборах г. Комсомольска-на-Амуре // Матер. 2-го Международн. Конгресса "Вода : экология и технология " (ECWATECH - 96). М., 1996 , с. 206-207

10. Козлов С.А., Архипов Б.С. Современные требования к методике гидрогеохимических исследований при ведении мониторинга подземных вод в Хабаровском крае // Результаты мониторинга подземных вод на Дальнем Востоке России за 1945 - 1995 гг. и задачи по обеспечению гидрогеологических и геоэкологических прогнозов в регионе. Матер. науч. практ. конф. Отв. ред. Кулаков В.В. Хабаровск, 1995. - с.63.

11. Козлов С.А., Архипов Б.С. Изменение химического состава пресных подземных вод Средне-Амурского артезианского бассейна в начальный период эксплуатации водозаборов // Проблемы изучения химического состава подземных вод. Шестые Толстихинские чтения: Материалы научно-методической конференции / Санкт-Петербургский горный институт. Спб, 1997, с. 99-102.

12. Козлов С.А., Архипов Б.С. Перспективы использования новых методов обезжелезивания и деманганации подземных вод Приамурья. // Тезисы докладов 3-го Международного конгресса "Вода: экология и технология". Москва, 26-30 мая 1998 года (ECWATECH-98). Москва, 1998, с. 261.

13. Козлов С.А., Архипов Б.С. Экономическая оценка перспектив строительства и эксплуатации собственных водозаборов подземных вод на промышленных предприятиях. // Тезисы докладов 3-го Международного конгресса "Вода: экология и технология". Москва, 26-30 мая 1998 года (ECWATECH-98). Москва, 1998, с. 589.

14. Коммунар Г.М., Середкина Е.В., Тесля В.Г. Опыт внутрипластовой очистки подземных вод от железа в трещиноватых пластах. Тез.докл. 3 междунар. конгресса "Вода: экология и технология", М.,25-30.05.98 г, с.262.

15. Кулаков В.В. Опытно-технологические исследования в водоносном пласте при поисках и разведке подземных вод для водоснабжения //Соврем. Пробл. Гидрогеол. Пятые Толстихинские чтения. Горн. Ин-т . Санктпетербург .1996 . с.165-167.

16. Кулаков В.В. Процессы изменения качества подземных вод на участках работы установок обезжелезивания и деманганации в водоносном пласте//Пробл. изучен. химическ. состава подз. вод.Шестые Толстихинские чтения .Горн. ин-т , Санктпетербург , 1997 ,с. 95 -102.

17. Методические рекомендации по отбору, обработке и хранению проб подземных вод. Составители: С.Г. Мелькановицкая, М.С. Галицын, В.П. Закутин и др. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990, 37 с.

18. Методические рекомендации по геохимическому изучению загрязнения подземных вод. Составители: С.Р.Крайнов, В.П. Закутин, В.Н. Кладовщиков, С.Г. Мелькановицкая. - М., ВСЕГИНГЕО, 1991, 106 с.

19. Обзорная информация "Обезжелезивание подземных вод в водоносных пластах", 1982, № 6, с. 1 - 52 (ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1982).

20. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. -М.: Стройиздат, 1990.256 с.

21. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970, 404 с.

22. Резников А.А., Соколов И.Ю. Полевая лаборатория для общего анализа воды (ПЛАВ-2). Паспорт ПЛАВ-200.000ПС. Щирец: завод "Стеклоприбор", 1984, 43 с.

23. Рейонен И., Рейонен В. Способ очистки грунтовых вод. Пат. СССР, кл. С 02b 1/20, № 310442, заявл. 13.02.70, опубл. 26.07.71; Пат.США, кл. 210-50, № 3649533, заявл. 4.02.70, опубл. 14.03.72; Патент Франции, кл. С 02b 1/100, Е 03 в 3/00, N 203/386, заявл. 11.09.69, опубл. 20.11.70.

24. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1 : 50 000 - 1 : 25 000. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990, 128 с.

25. Труфанов А.И. Рекомендации по унификации методов исследований пресных железистых вод. Хабаровск : Хабаровский комплексный НИИ ДВНЦ АН СССР, 1980, 56 с.

26. Унифицированные методы анализа вод СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1978.

27. Braester C., Martinell R. The Vyredox and Nytredox methods of in situ treatment of groundwater // Water Sci. an and Techpol.1988. Vol.20, №3, Stockholm, p. 321-337.

28. Hallberg R.O., Martinell R. Vyredox - in situ purification of ground water. //J. Ground water. Vol. 4, № 2. 1976.

29. Martinell R. Controlled water treatment in the soil - in situ removal of iron and manganese according to the Vyredox method.// Paris, IWSA, 1980, p. 1-10.

30. Martinell R. Operating experiences from in situ removing of iron and manganese according to Vyredox-method //DVWK Bulletin 13, Artificial Groundwater Recharge. Dortmund,1979. Hamburg/Berlin,1982, p. 239-252.

31. Rittendregh L.M. Use of chemical injection wells to suppress biological activity and to stabilize iron and manganese in ground water. 1962

32. Seifried C.F., Olthoff R. Underground removal of iron and manganese //Water Supply,1985.Vol. 3, № 2.

Кулаков Валерий Викторович
Архипов Борис Сергеевич
Козлов Сергей Анатольевич

Методические рекомендации по опытно-технологическим исследованиями условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте

Компьютерная верстка Тухватуллин Р.А.

Препринт
Лицензия ЛР № 040118 от 15.10.91

Подписано к печати 11.03.99 г.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,9. Тираж 200 экз.
Заказ № 266.

Офсетно-ротапринтный цех ИВЭП ДВО РАН
680063, г. Хабаровск, ул. Ким-Ю-Чена, 65
Издательство "Дальнаука"
690041 г. Владивосток, ул. Радио, 7

gost.e-ecolog.ru