

УДК 628.11(628.16)

DOI 10.52928/2070-1683-2023-33-1-54-62

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЗАКАЧКИ ВОДЫ В ПОДЗЕМНЫЙ ПЛАСТ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЕЕ ОТКАЧКОЙ В СИСТЕМУ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*Е.И. РАШКЕВИЧ*¹⁾, канд. техн. наук *В.Д. ЮЩЕНКО*²⁾, *И.Г. САЛИВОНЧИК*³⁾

^{1), 2)} *Витебское областное коммунальное унитарное предприятие*

водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал»,

³⁾ *Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, Минск)*

¹⁾*selenaruko@gmail.com,* ²⁾*yuvd46@mail.ru,* ³⁾*ukx@mjkx.gov.by*

В статье описываются технология и основные схемы закачки воды в подземный пласт с последующей откачкой в системы водоснабжения, опыт использования этого метода за рубежом и в Республике Беларусь.

Ключевые слова: *скважины и водоносный слой, качество воды, технология и особенности закачки воды в подземный пласт, применение метода за рубежом и в Республике Беларусь.*

Введение. Во многих странах нашей планеты в хозяйственно-питьевых целях используются артезианские подземные воды. Они отличаются, по сравнению с поверхностными водами, более высоким качеством и лучшей защитой от внешних воздействий^{1,2}. Например, их доля в общем водопотреблении в странах Западной Европы составляет порядка 75%, в Азиатском регионе и России – более 30%, в США – 34%^{3,4}.

В Республике Беларусь снабжение водой всех населенных пунктов для удовлетворения различных нужд населения и организаций производится подземной водой (в г. Минске порядка 25% объема водопотребления города – поверхностные воды). Общее годовое водопотребление в 2021 г. составило 1,281 млрд м³, причем в этот объем не включаются расходы воды в системах оборотного и последовательного водоснабжения, транзитная вода, а также повторно используемая сточная и дренажная вода^{5,6}.

Однако во многих случаях в подземной воде наблюдается повышенная концентрация железа, которое может быть в сочетании с другими загрязняющими элементами и веществами, например, с марганцем и аммонийными солями. Особенно это актуально для снабжения водой питьевого качества малых населенных пунктов. Согласно требованиям ВОЗ [1], в том числе и СанПиН 10.124-99 РБ, концентрация железа в воде питьевого качества должна быть не более 0,3 мг/дм³. Высокая концентрация приводит к металлическому привкусу в воде, вызывает отложение в трубах и окраску санитарных приборов, отрицательно влияет на здоровье человека.

Традиционные станции в наземном исполнении по обработке подземных вод *ex-situ* основываются на химическом и биологическом окислении, либо часто на их совместном воздействии на удаляемые загрязнения⁷ [2]. В этом случае вода из скважин подается на поверхность земли, и ее очистка производится в напорном или безнапорном варианте. Причем удаление загрязнений может быть с сочетанием различных методов, исходя из области их применения, технологичной и экономической целесообразности, а также надежности. Немаловажное значение имеют требования по квалификации обслуживающего персонала.

Типовые решения таких установок чаще всего основываются на методе упрощенной или интенсивной аэрации воды с одноступенчатым, реже двухступенчатым фильтрованием. Если достигнуть желаемых результатов невозможно, особенно в случае очень высоких концентраций загрязнений в исходных водах и при наличии различных их биокомплексов, то используются дополнительно методы реагентного окисления или подщелачивания, ионного обмена, обратного осмоса [3].

В настоящее время наиболее универсальным методом удаления железа, марганца и аммонийных соединений считается аэрационное биологическое окисление [4]. В какой-то мере этот метод совмещен с химическим окислением, но преобладающим являются микробиологические процессы бактериального удаления этих веществ. После биообработки вода проходит медленные или скорые фильтры⁸.

¹ Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/>.

² Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Результаты наблюдений 2021 г. Раздел 3. Мониторинг подземных вод. URL: <http://www.nsmos.by/content/menu/print/id/808>.

³ См. сноски 1 и 2.

⁴ Кулаков В.В. 100 лет технологии очистки подземных вод от железа в водоносном горизонте (*in situ*) // Материалы 6-го междунар. конгр. ЭКВАТЭК-2004 «Вода: экология и технология», Москва, 1–4 июня 2004 г. – Ч. 1. – М., 2004. – С. 173–174.

⁵ См. сноски 2 и 4.

⁶ Постановление Совета Министров РБ от 21 апреля 2016 г. № 326 «Об утверждении Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016–2020 годы». – URL: <http://government.by/upload/docs/file8c3586a94739667b.PDF>.

⁷ Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.01.01-2019. – Введ. 31.10.19. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 73 с.

⁸ Болдырев К.А. Геохимическое моделирование процессов внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 2011. – 22 с.

Большинство из этих предлагаемых методов применимо к системам водоснабжения, когда вода от скважин должна быть собрана и обработана на едином централизованном узле в наземном варианте. Но такие решения являются экономически затратными и требуют существенных капитальных и эксплуатационных вложений. Все эти установки нуждаются в периодической промывке фильтров, что требует дополнительного расхода воды на собственные нужды, а также сооружений по сбору и утилизации осадков.

Сейчас водопроводно-канализационным хозяйством Республики Беларусь решаются вопросы подачи надлежащего качества воды к малым населенным пунктам и другим потребителям с оптимизацией затрат на оказание этих услуг, что является *актуальной и значимой* задачей в условиях нынешнего мирового финансового кризиса. Для этого необходимо применять достаточно дешевые, простые, но надежные методы водоподготовки, которые обеспечивают воду с требуемыми нормативными показателями.

С этой точки зрения целесообразно рассмотреть опыт применения метода подготовки воды непосредственно в водоносном пласте скважин *in-situ*, который пока мало изучен в Республике Беларусь [5; 6].

Технология обезжелезивания подземных вод в водоносном пласте. Технология обработки подземных вод в водоносном пласте известна уже более 100 лет^{9,10} [1–5].

Широкое практическое применение в качестве альтернативы классическим наземным устройствам эта технология начала получать порядка 40–60 лет тому назад преимущественно на объектах водоснабжения Финляндии, Швеции, Франции, Германии, России и ряда других стран, где работает достаточно много установок внутрислоевого очистки воды производительностью 0,5–90 тыс. м³/сут^{11,12,13}.

Метод внутрислоевого очистки подземных вод, прежде всего от железа и марганца (если он присутствует в воде), основан на их совместном химическом и микробиологическом окислении с дальнейшим осаждением непосредственно в водоносном пласте вокруг эксплуатационной скважины за счет создания в нем обширной окислительной зоны. Эффективность метода в водоносном пласте зависит в первую очередь от типа и мощности водоносных пластов, конструкции и технологии бурения скважин, используемых как для закачки обогащенной кислородом воды, так и ее для откачки в распределительную сеть системы водоснабжения при подаче к потребителю.

Вода из водозабора, водопроводной сети, отдельных резервуаров насыщается кислородом воздуха посредством эжектора или компрессора, а затем закачивается в водоносный пласт через скважину, вытесняя подземную воду на величину подаваемого объема воды. Одновременно нужно производить удаление не растворившегося воздуха. При этом из воды происходит выделение различных газов, прежде всего углекислого – CO₂, а также аммиака NH₄⁺ и сероводорода H₂S, если последние присутствуют в исходных водах, которые тоже надо удалять из оголовка скважины.

Объем закачиваемой аэрированной воды в подземный пласт $W_{зак}$ определяется химическим составом, мощностью, планируемым объемом ее откачки и многими другими факторами. По окончании процесса закачки необходимо время для закрепления кислорода воздуха на породе этого пласта.

После осуществления процессов закачки и обогащения водоносного пласта водой, содержащей кислород, производят откачку подземных вод в распределительную систему водоснабжения населенного пункта или объекта в объеме $W_{отк}$ до тех пор, пока концентрация, например, железа и марганца не будет превышать 0,3 и 0,1 мг/дм³. Окисление и задержание этих загрязнений в подземном водоносном пласте происходит при величине *pH* свыше 7,0–7,5 с увеличением окислительно-восстановительного потенциала водоносного пласта *Eh*, обычно в интервале – 120–400 мВ. В этой зоне закрепленный в водоносном пласте кислород (O₂) вступает в реакцию с растворенным в подземной воде железом в двухвалентной форме (Fe²⁺), и в результате в породе образуются нерастворимые отложения гидроксида железа – Fe₂(OH)₃, что сопровождается выделением CO₂ и других газов. Например, на окисление 1 мг Fe⁺² необходимо 0,143 мг O₂, при этом образуется 1,6 мг CO₂ [2]. В процессе окисления железа и марганца в пласте, наряду с химическими реакциями, немаловажная роль принадлежит железно-марганцевоокислым бактериям, которые при наличии кислорода синтезируют органические вещества из неорганических для своей жизнедеятельности, получая энергию от окисления этих микроэлементов. Всего 1 мг синтезированного органического вещества таких бактерий (*Liptotrix ochraceae*, *Galionella ferruginea*, *Crenotrix polispora* и др.) может окислять до 279 мг Fe⁺².

Отмечаются следующие основные преимущества данной технологии *in-situ*:

– позволяет обеспечить одноступенчатую безреагентную очистку подземных вод непосредственно в водоносном пласте до нормативных показателей даже с первоначальным высоким содержанием общего железа (возможно, в несколько десятков мг/дм³);

⁹ См. сноски 4, 6, 7 и 8.

¹⁰ Rott U., Meyer C. Residue-free Removal of Arsenic, Iron, Manganese, Ammonia, Nitrate and Colour from Groundwater // Innovations in Conventional and Advanced Water Treatment Processes: Conference Proceedings, Amsterdam, 26–29 Sept. 2000. – P. 8–14.

¹¹ Коммунар Г.М. Внутрислоевая очистка подземных вод для целей водоснабжения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.04 / Г.М. Коммунар. – М., 1987. – 469 л.

¹² Методические рекомендации по опытно-технологическим исследованиям условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте / сост. В.В. Кулаков, Б.С. Архипов, С.А. Козлов; науч.-техн. центр «Дальгеоцентр». – Хабаровск, 1999. – 60 с.

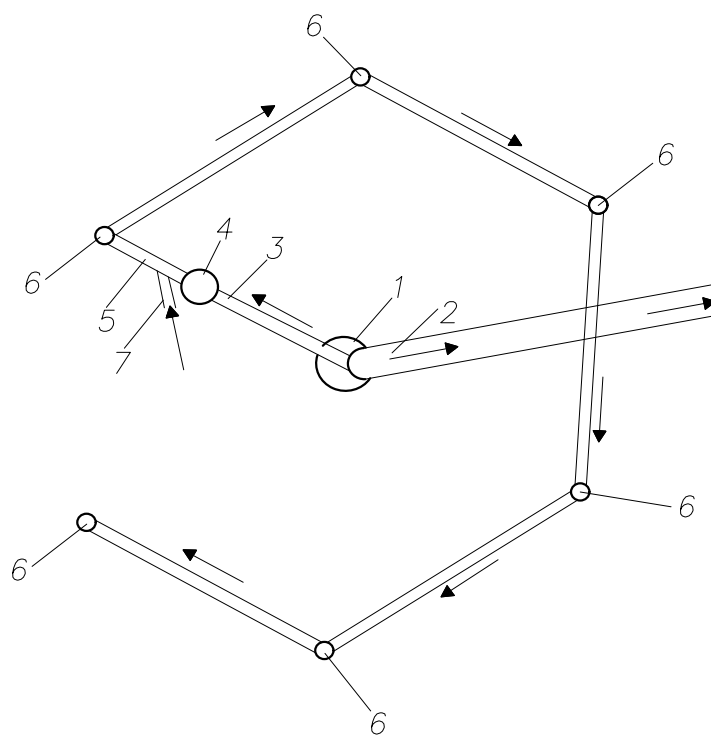
¹³ Коммунар Г.М. Внутрислоевая очистка подземных вод для целей водоснабжения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.04. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1987. – 39 с.

- учитывая, что продукты реакций осаждения остаются в водоносных слоях, такая технология может считаться безотходной и экологически чистой;
- капитальные и эксплуатационные затраты значительно ниже, чем на сооружениях в наземном исполнении аналогичных по производительности;
- отсутствие наземных сооружений оборота промывных вод и утилизации осадка;
- положительным сопутствующим эффектом является тот факт, что выпадающие гидроксиды железа и марганца способны сорбировать на своей поверхности токсичные ионы тяжелых металлов и других вредных веществ, что повышает степень защищенности обработанной воды по санитарным показателям.

Эффективность работы внутрипластовой установки принято оценивать отношением объемов откачки и закачки $W_{отк} / W_{зак}$. В зависимости от химического состава вод и гидрогеологических условий это соотношение составляет от 3 до 100, но может быть и выше^{14,15}.

Основные технологические схемы внутрипластовой обработки подземной воды. В настоящее время широко применяются две системы внутрипластовой обработки подземных вод: *Viredox* и *Subterra*. На основе этих систем установки внутрипластовой обработки выполняются в односкважинных и многоскважинных модификациях.

За рубежом широкое распространение получили многоскважинные установки системы *Viredox* в виде отдельного куста, который состоит из 5–20 скважин для подачи в пласт аэрированной воды на расстоянии по радиусу 5–10 м от одной центральной водозаборной (рисунок 1)¹⁶.



- 1 – водозаборная скважина; 2 – трубопровод подачи воды в разводящую сеть;
3 и 5 – трубопровод подачи воды в поглощающие скважины; 4 – оксигенатор; 6 – поглощающие скважины;
7 – трубопровод от сборного резервуара с обогащенной кислородом водой

Рисунок 1. – Схема одного куста многоскважинной установки системы *Viredox-1* для внутрипластовой обработки подземных вод

Они используются в основном при очистке подземных вод неглубоко залегающих горизонтов до 30 м в системах водоснабжения объектов и могут состоять из нескольких кустов, где водозаборные объединены в единую систему, подающую воду как к потребителю, так и в поглощающие скважины¹⁷. В качестве оксигенатора используются аэрационные устройства, одновременно обеспечивающие глубокое удаление двуокиси углерода CO_2 в водоносном пласте.

Особенностью системы *Viredox-1* является постоянная работа отдельных поглощающих скважин. Также должна быть постоянная работа и центральной скважины. Это же является серьезным недостатком системы, так

¹⁴ См. сноску 11.

¹⁵ См. сноску 8.

¹⁶ См. сноску 13.

¹⁷ См. сноску 8.

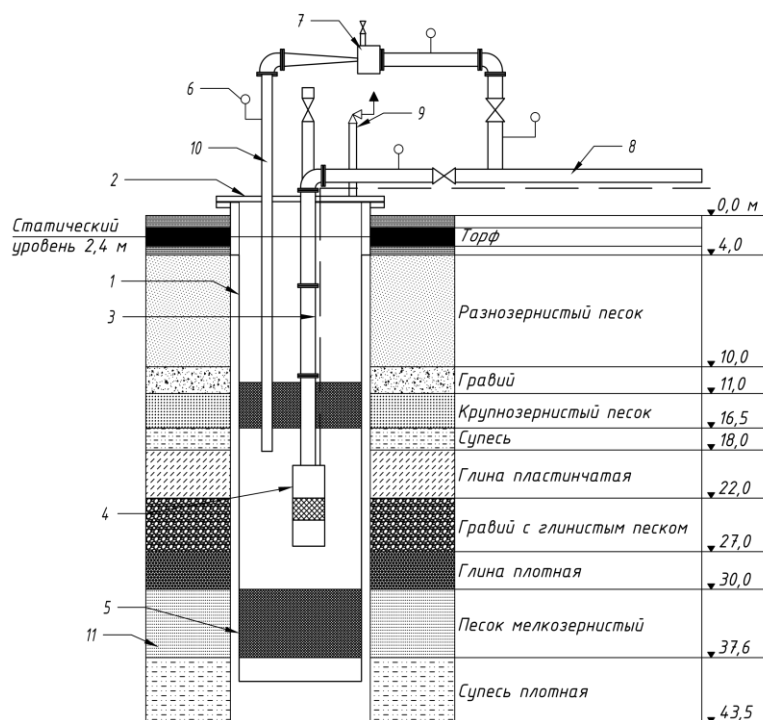
как вода непрерывно подается к поглощающим скважинам. Требуется установка либо дополнительной водо-разборной скважины, либо отдельного резервуара для хранения на ее закачку, что приводит к удорожанию всей системы обработки и подачи подземной воды.

В Великобритании, Финляндии, Швеции и ФРГ имеется достаточно большой опыт эксплуатации таких многоскважинных установок. Фирмой *Vyrmeter AB* (Швеция)¹⁸ [5–7] были разработаны еще 3 типа модификации этого метода. Например, была предложена система *Viredox-2*, которая отличается от других тем, что в каждой из поглощающих скважин дополнительно установлен погружной насос. Причем эжектор для насыщения воды воздухом располагается в наземном напорном трубопроводе поглощающих скважин. Такой насос с одной скважины включается периодически на подачу воды в две соседние (то есть работает в откачивающем режиме), независимо от работы центральной водоразборной. Также необходимо предусматривать отдельный резервуар аварийного хранения объема воды с последующим поступлением в поглощающие скважины при аварийных ситуациях с отключением погружных насосов.

Модификации *Viredox-3* и *-4* отличаются усовершенствованием системы подачи аэрированной воды в водоносный пласт. Аналогично системе *Viredox* может осуществляться внутрипластовое удаление аммонийных соединений, такой способ обработки подземных вод получил название *Nytredox*¹⁹.

Система *Subterra* в настоящее время также применяется во многих странах, но особенно широко в ФРГ и России²⁰ [7]. В отличие от метода *Viredox*, используемого в ряде европейских стран (Швеция, Финляндия, Германия), при котором обогащенная кислородом вода подается в пласт через специальные нагнетательные скважины, сооружаемые вокруг водозаборных, в данной технологии для этих целей используются непосредственно циклические водозаборные сооружения.

Сущность состоит в том, что в скважине (рисунок 2) происходят все стадии обработки подземных вод: закачка обогащенной кислородом воды в водоносный пласт, отстой для создания обширной окислительной зоны, первоначальная прокачка на рельеф местности в специально подготовленные места и последующая откачка в систему водоснабжения населенного пункта или объекта. То есть односкважинная система одновременно является закачивающей и нагнетательной, причем эти стадии разделены друг от друга.



1 – скважина; 2 – герметичный оголовок; 3 – водоподъемная колонна; 4 – погружной насос; 5 – фильтр;
6 – манометр; 7 – эжектор; 8 – трубопровод, подающий воду в сеть; 9 – патрубок для удаления газов;
10 – трубопровод, подающий воду на закачку; 11 – водоносный слой

Рисунок 2. – Скважина, оборудованная для внутрипластовой обработки подземной воды [14]

В стадии закачки скважина выключена из работы на систему водоснабжения и вода, обогащенная кислородом воздуха, подается в нее на закачку от соседних скважин. Если число скважин равняется двум, то они ра-

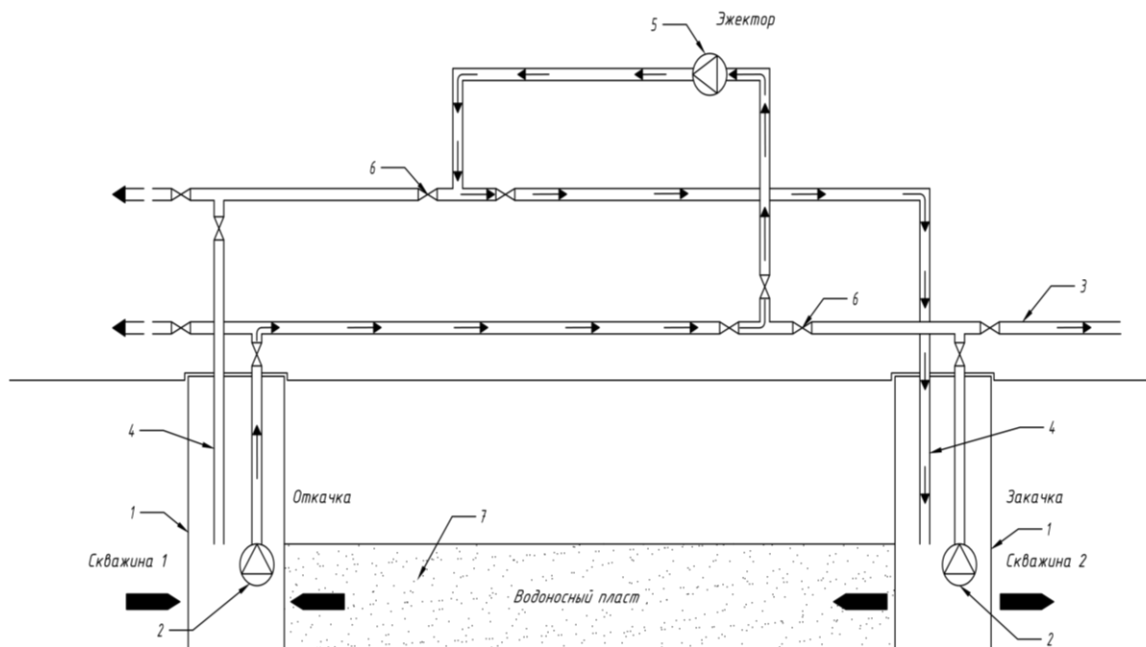
¹⁸ См. сноски 10 и 13.

¹⁹ См. сноску 10.

²⁰ См. сноску 13.

ботаю попеременно (рисунок 3): одна на закачку, вторая на откачку воды. Для обогащения воды кислородом воздуха, как вариант, также можно применить отдельный резервуар, но тогда нужно устраивать дополнительно насосы для ее закачки в подземный пласт. Возможно использование постороннего водопитателя для закачки, например, какого-то поверхностного источника [6].

Для одной скважины обязательно предусматривают отдельный резервуар хранения объема воды на ее закачку, или эта часть должна быть в составе резервуара чистой воды. Так, в ФРГ эксплуатируется более 7 тыс. таких установок, разработанных фирмой *Fermanox* для водопотребления отдельных комплексов зданий и объектов.



1 – скважина; 2 – погружной насос; 3 – трубопровод подачи воды к потребителю;
4 – трубопровод подачи воды в подземный пласт; 5 – эжектор; 6 – запорные устройства; 7 – водоносный пласт

Рисунок 3. – Технологическая схема внутрипластовой обработки воды двух скважин²¹

Опыт использования внутрипластовой обработки подземных вод в Республике Беларусь. В СССР внутрипластовая обработка воды получила распространение в начале 80-х годов прошлого столетия благодаря активным исследованиям и работам сотрудников НИИ ВОДГЕО²² [5; 6]. Данная технология получила достаточно широкое применение на водозаборах Дальнего Востока и Приамурья, например, в районах г. Комсомольск-на-Амуре и г. Хабаровска²³ [5–8].

В Республике Беларусь также в это время начали довольно широко использовать установки обезжелезивания (циклического типа) для обработки подземных вод. Однако незнание гидрогеологических особенностей водоносных слоев и конкретного исходного состава подземных вод, а также часто отрицательное ведение процессов обработки воды привело к многочисленным неудовлетворительным результатам по качеству подаваемой воды потребителю. Также в некоторых случаях из-за неправильного проведения стадии закачки обогащенной воды кислородом воздуха в подземный пласт происходила коагуляция водоносного слоя в прискважинном пространстве или образование неравномерной зоны окисления в скважинах. Все это привело к фактическому отказу данного метода.

Однако есть и такой положительный пример, как водозабор «Малыничи» в г. Чечерск Гомельской области, который работает по данному методу более 20 лет.

Метод внутрипластовой обработки подземных вод водозабора «Малыничи» по системе *Subterra* был применен на трех существующих скважинах глубиной 121,5–123,5 м, для которых произведен монтаж необходимого оборудования, выполнена первичная закачка воды в подземный пласт, и в 2004 г. они приняты в эксплуатацию. В дальнейшем были пробурены еще две, глубиной 111 м, и в 2007 г. водозабор «Малыничи», состоящий из пяти эксплуатационных скважин, вышел на фактическую производительность города 1300 (зимой) и 2000 (летом) при проектной величине в 2500 м³/сут. Материалы представлены КЖУП «Чечерское».

Производительность каждой скважины, оборудованной частотными устройствами, составляет 25–30 м³/ч при дебете в 50 м³/ч. В работе постоянно находятся до 2–3 скважин, остальные две являются резервными или в процессе закачки воды в подземный пласт.

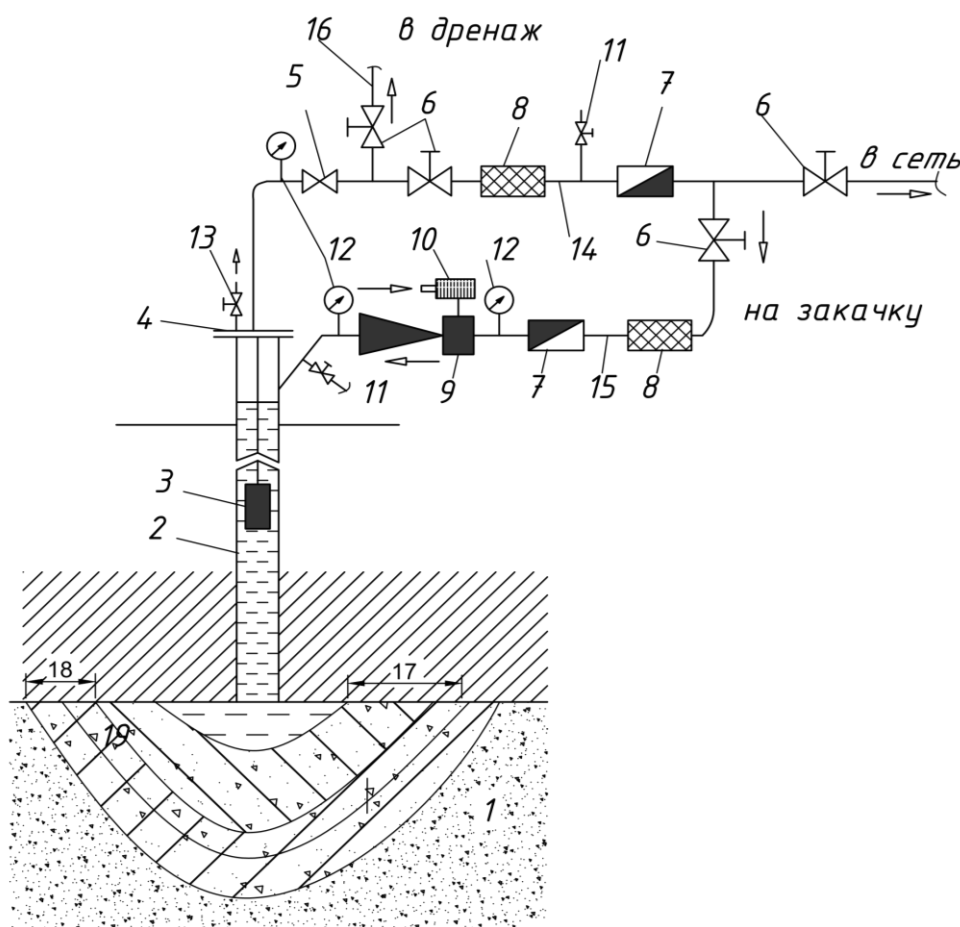
²¹ См. сноску 8.

²² См. сноску 8.

²³ См. сноски 10 и 13.

Все скважины несовершенного типа расположены в один ряд с расстоянием между ними до 300 м, имеют одинаковый основной водоносный слой, состоящий из глауконито-кварцевого средне-мелкозернистого песка мощностью 6,5–17 м, который характеризуется пористостью 30–35%, размером зерен 0,1–0,5 мм и коэффициентом фильтрации 1–20 м/сут.

Выше этого слоя расположен мел плотный, слабо трещиноватый, мягкий, рассыпчатый, тонкопористый с размером зерен менее 0,01 мм. Основу химического состава мела составляет карбонат кальция CaCO_3 с небольшим количеством карбоната магния MgCO_3 , но обычно присутствует и некарбонатная часть, в основном оксиды различных металлов. Формы залегания – слои и мощные слоистые толщи. В водной среде практически не растворим, имеет непостоянную водообильность и вследствие этого ограниченное значение для систем водоснабжения населенных пунктов. Однако наличие трещиноватости, заполненной меловой мукой, свидетельствует о поступлении, хотя и малого количества, воды в скважины водозабора «Малынич» наряду с основным песчаным водоносным слоем. Скважины являются безфильтровыми и пробурены только до основного водоносного песчаного слоя. Поэтому в качестве приемной части каждой скважины в песке были размыты каверны глубиной 1,5–2,0 м. Технологическая схема работы скважин водозабора «Малынич» представлен на рисунке 4.



- 1 – водоносный пласт из средне-мелкозернистого песка; 2 – скважина; 3 – погружной насос; 5 – обратный клапан; 6 – задвижки; 7 – водомер; 8 – осадочный фильтр; 9 – эжектор; 10 – воздушный фильтр; 11 – спускной вентиль; 12 – манометры; 13 – регулировочный вентиль; 14 – линия откачки; 15 – линия закачки; 16 – линия дренажа; 17 – зона адсорбции кислорода на зернах подземного пласта; 18 – зона вытеснения пластовой воды, нагнетаемой с другой скважины; 19 – зона реакции и осаждения железа

Рисунок 4. – Технологическая схема скважины водозабора «Малынич» для внутрипластовой обработки подземных вод

Процесс обезжелезивания каждой скважины представляет собой перечень мероприятий:

- закрывается задвижка на подающей трубе в общий трубопровод скважин, то есть полностью выключается из работы на систему водоснабжения;
- открывается задвижка на трубопроводе с эжектором и воздушным фильтром, соединяющим сборный водовод и обсадную колонну скважины;

- через эжектор (рисунок 5) под давлением не менее 0,15 МПа (желательно 0,2 МПа) вода в требуемом объеме из общего сборного водовода закачивается в обсадную колонну скважины;
- вода в скважину закачивается в течение 48 часов (объем закачки, м³, определяется конкретно для каждой скважины и составляет 600–1000 м³);
- после закачки закрывается задвижка от сборного водовода, и скважина отстаивается 2–3 суток;
- затем открывается задвижка на трубопроводе сброса воды в пруд-отстойник (100 м от скважин), и из скважины выкачивается ее объем $W_{сбр}$, ориентировочно 650 м³, до полного осветления и получения нормативного значения по концентрации железа в 0,3 мг/дм³;
- открывается задвижка на подающей трубе в общий трубопровод, и скважина опять начинает работать в системе водозабора на откачку воды к потребителям.



Рисунок 5. – Эжектор скважины

Зависимость концентрации железа от соотношения $W_{отк}/(W_{зак} + W_{сбр})$ в скважинах водозабора «Малыничи» (по данным КЖУП «Чечерское», ГО ЖКХ Гомельская область) приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Зависимость концентрации железа от соотношения $W_{отк}/(W_{зак} + W_{сбр})$ в скважинах водозабора «Малыничи»

№ скважины	Концентрация железа (мг/дм ³) при соотношении $W_{отк}/(W_{зак} + W_{сбр})$, м ³ /м ³					
	20	40	60	80	100	120
1	0,1	0,15	0,15	0,3	-	-
2	0,1	0,1	0,15	0,15	0,20	0,35
3	0,15	0,15	0,3	0,5	-	-
4	0,1	0,1	0,15	0,15	0,3	-
5	0,1	0,1	0,15	0,35	-	-

Согласно опыту эксплуатации водозабора «Малыничи» было установлено следующее:

- если производить объем откачки более, чем дебет скважины, может происходить пескование водоносного слоя с помутнением воды. Поэтому был уменьшен расход из скважин до 25–30 м³/ч с соблюдением всех правил и порядка пуска и остановки погружного насоса;
- замечено, что после первоначальной закачки воды в скважину с каждым последующим циклами показатели обработки подземных вод незначительно улучшаются, а продолжительность откачки – наоборот увеличивается на 3–5% в связи с ростом каталитической пленки на частицах водоносного пласта и дополнительным осаждением кислорода на нерастворимых веществах загрязнителей;
- давление в городской сети должно обеспечиваться частотным преобразователем скважины, желательно также гидростатическим давлением резервуара чистой воды. При пуске и остановке погружного насоса необходимо обеспечивать мероприятия, препятствующие возникновению гидроудара, в результате чего в призабойной зоне скважины может резко увеличиться скорость фильтрации, нарушающая устойчивость откосов каверны и водоподъемных колонн скважины. Пуск насосов после простоя скважины нужно производить на приоткрытую задвижку с последующим постепенным ее открытием;

– вода, закачиваемая в скважину, а также идущая на сброс, проверяющими инстанциями считается потерями воды, что увеличивает показатель потерь воды по предприятию;

– при возникновении явлений кольтатажа водоносного слоя около скважины или отложений внутри водоподъемных колонн возможна механическая прочистка или использование химических реагентов.

Заключение. Опыт применения внутрипластовой обработки подземных вод за рубежом и в Республике Беларусь свидетельствует о возможности более широкого ее использования в системах централизованного водоснабжения населенных мест. Этот метод (*in-situ*) в реализации и эксплуатации может быть проще и дешевле, чем более распространенное удаление загрязнений непосредственно на станциях и установках водоподготовки наземного расположения (*ex-situ*).

Учитывая актуальность подачи воды питьевого качества для малых населенных пунктов с небольшими значениями суточного водопотребления, желательно рассмотреть применение данного метода для водоносных слоев из песков различной крупности, известняков и доломитов, как наиболее часто встречающихся на территории Республики Беларусь, в частности Витебской области.

Эффективность данного метода оценивается исходя из минералого-литографического состава водоносных слоев, строения этих горизонтов, а также химического состава подземных вод и производительности системы водоснабжения.

Основной задачей технологических исследований и расчетов систем внутрипластовой обработки является определение оптимальных соотношений между объемами закачиваемой и откачиваемой воды (желательно не менее 3–5), при которых обеспечивается непрерывная подача заданного количества очищенной воды потребителю. Также необходимо установить влияние этого метода на возможное изменение гидравлических характеристик водоносного пласта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуринович А.Д. Современное состояние и стратегические задачи водного хозяйства Беларуси // Чистая вода: проблемы и решения. – 2012. – № 1. – С. 111–112.
2. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.
3. Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в Республике Беларусь / В.Д. Ющенко, Е.С. Вельюго, Е.И. Рашкевич и др. // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Стр-во. Приклад. науки. – 2021. – № 16. – С. 124–130.
4. Седлухо Ю.П. Очистка сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine. – 2014. – № 6. – С. 82.
5. Кулаков В.В. Использование внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца (на примере водоснабжения г. Хабаровск) // Вестн. ДВО РАН. – 2013. – № 2. – С. 84–89.
6. Гуринович А.Д., Ваврженюк П., Ельский И. Возможности удаления из воды железа в водоносном пласте на примере существующих водозаборных скважин // Вода и экология: проблемы и решения. – 2013. – Т. 2, № 54. – С. 12–20.
7. Braester C., Martinell R. The Vyredox and Nytrebox method in-situ Treatment of Groundwater // Wat. Sci & Tech. – 1988. – № 20(3). – P. 149–163.
8. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.

REFERENCES

1. Gurinovich, A.D. (2012). *Sovremennoe sostoyanie i strategicheskie zadachi vodnogo khozyaistva Belarusi* [Current state and strategic objectives of the water industry in Belarus]. *Chistaya voda: problemy i resheniya* [Clean Water: Problems and Solutions], (1), 111–112. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Nikoladze, G.I. & Somov, M.A. (1995). *Vodosnabzhenie*. Moscow: Strojizdat. (In Russ.).
3. Yushchenko, V.D., Velyugo, E.S., Rashkevich, E.I., Prosolov, V.P. & Sedlukha, S.V. (2021). *Osnovnye puti i resheniya proektirovaniya sistem vodopodgotovki malykh naseleennykh punktov v Respublike Belarus'* [The main ways and solutions for designing water treatment systems for small settlements in the Republic of Belarus]. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki* [Bulletin of the Polotsk State University. Series F, Construction. Applied Science], (16), 124–130. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Sedlukho, Yu.P. (2014). *Ochistka slozhnykh mnogokomponentnykh vod biokhimicheskimi metodami* [Purification of complex multicomponent waters by biochemical methods]. *Voda Magazine* [Water Magazine], (6), 82. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Kulakov, V.V. (2013). *Ispol'zovanie vnutriplastovoi ochistki podzemnykh vod ot zheleza i margantsa (na primere vodosnabzheniya g. Khabarovsk)* [The use of in-situ purification of groundwater from iron and manganese (on the example of water supply in Khabarovsk)]. *Vestnik DVO RAN* [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], (2), 84–89. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Gurinovich, A.D., Vavrzhenyuk, P. & El'skii, I. (2013). *Vozможности udaleniya iz vody zheleza v vodonosnom plaste na primere sushchestvuyushchikh vodozabornykh skvazhin* [Possibilities of removing iron from water in an aquifer on the example of existing water wells]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions], 2(54), 12–20. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Braester, C. & Martinell, R. (1988). The Vyredox and Nytrebox method in-situ Treatment of Groundwater. *Wat. Sci & Tech.*, 20(3), 149–163. DOI: 10.2166/wst.1988.0093.
8. Plotnikov, N.A. & Alekseev, V.S. (1990). *Proektirovanie i ekspluatatsiya vodozaborov podzemnykh vod*. Moscow: Strojizdat. (In Russ.).

Поступила 29.05.2023

EXPERIENCE OF USING THE METHOD OF INJECTION OF WATER INTO THE UNDERGROUND LEVEL WITH ITS SUBSEQUENT PUMPING INTO THE WATER SUPPLY SYSTEM OF SETTLEMENTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

H. RASHKEVICH¹⁾, V. YUSHCHENKO²⁾, I. SALIVONCHIK³⁾

(^{1), 2)}Vitebsk Regional Municipal Unitary Enterprise of water supply and sewage “Vitebskoblvodokanal”,

³⁾Ministry of Housing and Communal Services of the Republic of Belarus, Minsk)

The article describes the technology and basic features for pumping water into underground reservoirs with subsequent pumping into water supply systems, the experience of using this method abroad and in the Republic of Belarus.

Keywords: *wells and aquifer, water quality, technology and features for pumping water into an underground reservoir, the experience of the method abroad and in the Republic of Belarus.*