

УДК 628.16:546

ВОДОПОДГОТОВКА ПИТЬЕВЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ НА ТУНГУССКОМ ВОДОЗАБОРЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ХАБАРОВСКЕ

© 2016 г. В.В. Кулаков

ФБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного
отделения Российской академии наук», г. Хабаровск, Россия

Ключевые слова: некондиционные подземные воды, водоподготовка питьевых вод в водоносном горизонте, безотходная технология, Тунгусский водозабор, Хабаровск.



В.В. Кулаков

Приведены результаты опытно-промышленной эксплуатации пилотной установки, пуско-наладочных работ и начала эксплуатации Тунгусского водозабора некондиционных подземных вод г. Хабаровска с использованием технологии водоподготовки питьевых вод в водоносном горизонте. Подземные воды характеризуются высоким содержанием железа (до 30 мг/дм³) и марганца (до 3 мг/дм³) на фоне низких значений рН (5,9–6,1) и большого содержания растворенной углекислоты (до 250 мг/дм³).

Безотходная технология водоподготовки для питьевых нужд некондиционных подземных вод в водоносном горизонте широко используется в странах Западной Европы. Эксплуатация пилотной установки на Тунгусском водозаборе продолжалась с 2007 по 2011 гг. Результаты научных исследований на пилотной установке показали, что от железа подземная вода в водоносном горизонте была очищена за одну неделю, тогда как по марганцу достижения нормативных показателей по его содержанию в воде пришлось ждать более года. Выполнен рабочий проект Тунгусского водозабора подземных вод с внутрислоевой очисткой производительностью 106 тыс. м³/сут, первая секция водозабора с подготовкой питьевых вод в водоносном горизонте и с подачей питьевой воды в город введена в эксплуатацию в июле 2012 г. Достигнута стабильная очистка воды от железа и марганца до концентраций ниже ПДК без применения реагентов и сложных наземных сооружений. Безреагентная технология очистки подземных вод в водоносном горизонте по сравнению с традиционной водоподготовкой на наземных сооружениях имеет экономические и экологические преимущества.

ВВЕДЕНИЕ

В области водоподготовки питьевых подземных вод, содержащих избыточные концентрации нормируемых компонентов, единственной безотходной технологией является внутрислоевая очистка некондиционных подземных вод, используемая на ряде водозаборов в России уже более 30 лет, а за рубежом известная более 100 лет [1–6]. Успешное применение данной технологии возможно на новых или реконструируемых водозаборах, запроектированных с учетом всех требований, предъявляемых к системам подземной очистки воды.

Свое развитие в практике обеспечения населения питьевой подземной водой технология водоподготовки питьевых вод в водоносном горизонте получила в 1970-е годы в странах Западной Европы, когда появилась возможность автоматического управления процессом водоподготовки [2, 5, 6]. С начала 1990-х годов в Приамурье на Тунгусском месторождении некондиционных подземных вод выполнялись комплексные исследования качества воды в условиях естественного состояния подземных вод и при техногенных технологических процессах в период работы установок водоподготовки подземных вод в пласте [3, 4, 7–11].

Цель проведенных на пилотной установке исследований – доказать применимость технологии водоподготовки питьевых подземных вод в водоносном горизонте и обосновать устойчивость их получения в период длительной эксплуатации Тунгусского водозабора при очень сложном гидрохимическом составе некондиционных подземных вод.

В 1993–2006 гг. специалисты водоканала г. Хабаровска ознакомились с опытом эксплуатации многих водозаборов с очисткой подземных вод от железа и марганца в пласте в Словакии, Германии, Швеции [12–14] по технологиям VYREDOX и SUBTERRA. По результатам изучения и анализа опыта эксплуатации многих водозаборов с очисткой подземных вод в пласте в 2007 г. была выбрана немецкая технология SUBTERRA для очистки подземных вод в пласте (рис.1). Данные установки, успешно работающие в Германии с 1970-х годов, показали надежность и простоту управления технологическим процессом водоподготовки питьевых подземных вод [2, 7, 9].

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выборе технологии водоподготовки предпочтение было отдано внутрислоевой очистке воды по технологии SUBTERRA на основании результатов специальных технологических исследований, выполненных на месторождении в 1993–1996 гг. [7, 8], а впоследствии апробированных на пилотной установке (рис. 2) строящегося Тунгусского водозабора МУП г. Хабаровска «Водоканал» в 2007–2011 гг. [12–16].

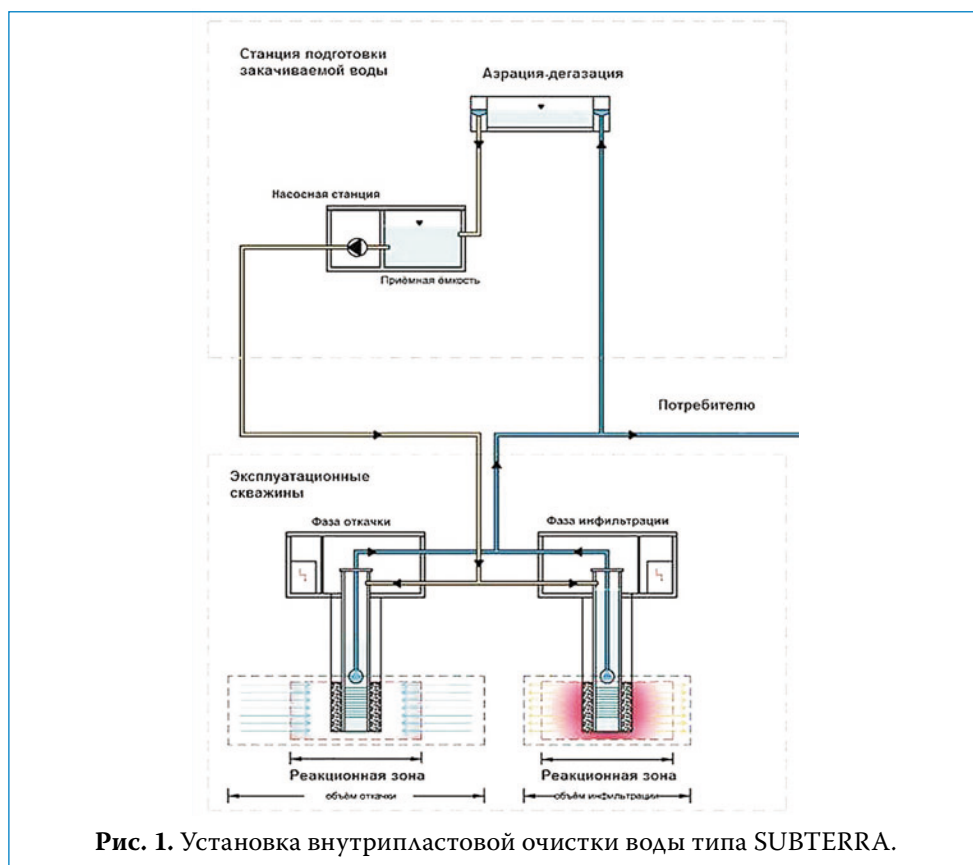
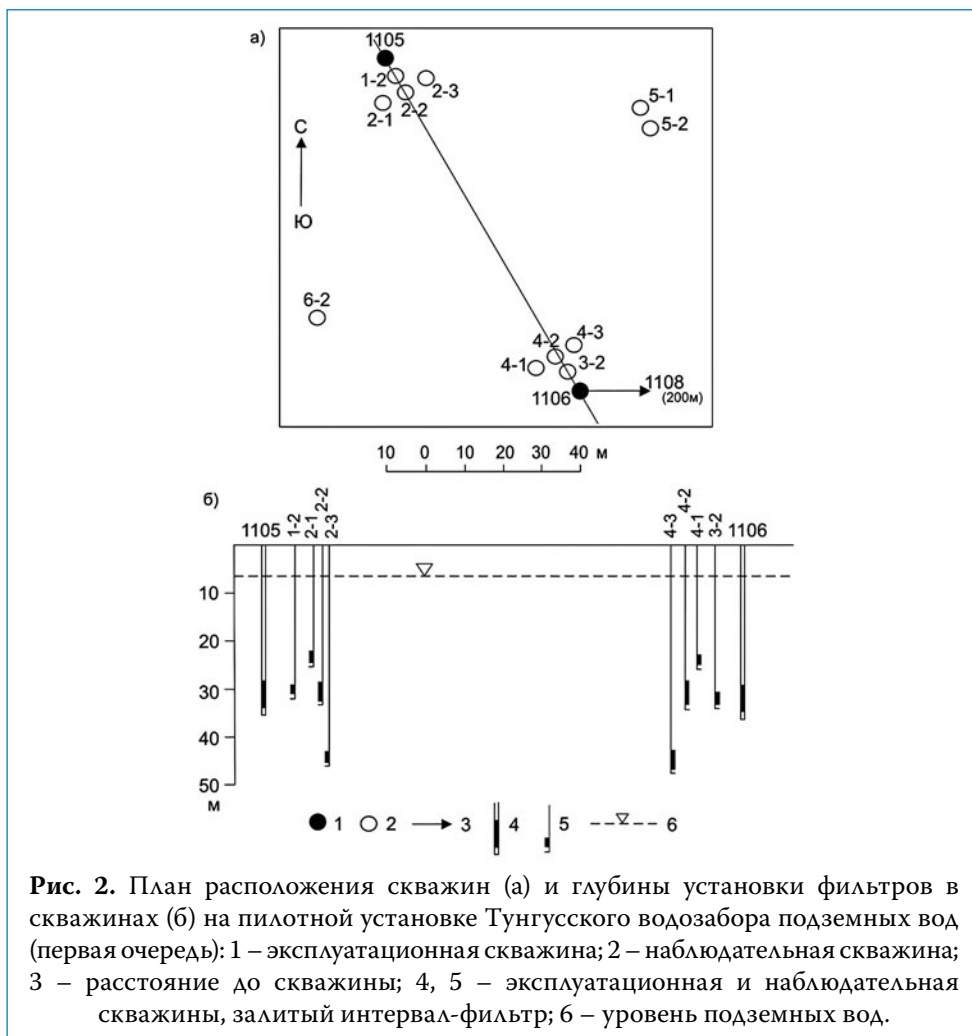


Рис. 1. Установка внутрислоевого очищения воды типа SUBTERRA.

Основным источником питьевого водоснабжения г. Хабаровска являются поверхностные воды р. Амур. В связи с неблагоприятной экологической обстановкой в трансграничных с Китаем районах в бассейне р. Сунгари (притоке Амура) осуществлен выбор альтернативного подземного источника водоснабжения Хабаровска. Ориентация на подземные воды является единственным выходом при создании надежных источников водоснабжения крупных экологически наиболее защищенных городов. Это особенно актуально для г. Хабаровска, учитывая его трансграничное положение.

Средняя концентрация двухвалентного растворенного железа в подземной воде составляет 25–30 мг/дм³, концентрация марганца 2–3 мг/ дм³, величина рН ~ 6. Кроме низкого значения рН и щелочности, подземная вода характеризуется высокой концентрацией углекислоты до 250 мг/дм³. По результатам многолетнего изучения мирового опыта была выбрана биотехнология очистки некондиционных подземных вод непосредственно в водоносном горизонте. Технология очистки подземных вод от железа и



марганца функционирует при насыщении подземных вод кислородом из воздуха в водоносном горизонте.

В историческом плане очистка подземных вод от повышенных концентраций железа в водоносном горизонте при использовании их для питьевых нужд населения впервые была применена в Германии. Первые две установки для подземного обезжелезивания построил в Берлине фон Ёстен в 1898–1899 гг. [2, 3], получивший в 1900 г. патент «Обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте». К настоящему времени технология внутрислоевого очищения воды в достаточной степени апробирована: в мире насчитывается более 150 действующих установок, основанных на технологии SUBTERRA,

производительностью сотни – первые тысячи м³/сут, с исходной концентрацией железа до 37 мг/дм³, марганца до 3,5 мг/дм³. При этом срок эксплуатации отдельных установок в Западной Европе превышает 40 лет.

Опытно-технологические исследования и сооружение опытных установок обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте на водозаборах и разведываемых месторождениях Приамурья выполнялись с 1989 г. (Благовещенск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре и др.) [2, 9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Апробация биотехнологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте для питьевого водоснабжения в условиях Приамурья позволила запроектировать водозабор с данной технологией для водоснабжения г. Хабаровска с производительностью первой очереди 106 тыс. м³/сут, пусковой комплекс которого запущен в эксплуатацию в июле 2012 г. По величине проектной производительности Тунгусского водозабора с технологией водоподготовки питьевых вод в водоносном горизонте ему нет равных в мире.

Проведенными в условиях Приамурья опытно-технологическими исследованиями доказана возможность снижения концентраций железа в откачиваемой воде с 17–28 мг/дм³ и даже с 70 мг/дм³ до 0,04 мг/дм³, марганца с 1,2–2,5 мг/дм³ до 0,03 мг/дм³ и менее.

Значение очистки подземных вод в водоносном пласте возрастает по мере ухудшения природного состава подземных вод в районах площадного техногенного загрязнения (мышьяком, тяжелыми металлами, нитратами и другими компонентами). Главное преимущество технологии внутрислоистой очистки воды заключается в отсутствии негативного воздействия на окружающую среду, что выражается в безотходном производстве, исключении применения реагентов, минимизации занимаемых площадей. Кроме того, данная технология обладает доказанными экономическими преимуществами перед традиционными наземными методами водоподготовки за счет экономии капитальных и эксплуатационных затрат. Технология полностью автоматизирована, влияние «человеческого фактора» исключено.

В основу технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте заложена возможность искусственного создания в нем на участках водозаборных скважин гидрогеохимических зон (биогеохимических барьеров), резко отличающихся по окислительно-восстановительным условиям от природных [2]. В естественных условиях водоносного пласта в Приамурье фиксируется восстановительная обстановка: окислительно-восстановительный потенциал (Eh) изменяется от (–30) mV до 80 mV, pH составляет 5,8–6,5. Содержание СО₂ в воде достигает 200–250 мг/дм³ при отсутствии растворенного кислорода [9–16].

При искусственном насыщении подземных вод кислородом и при удалении H_2S и избыточных концентраций растворенного CO_2 на участках водозаборных скважин происходит изменение состояния среды с восстановительной на окислительную. Увеличивается Eh до 250–400 мВ, повышается рН до 7,0 и более. Водовмещающие породы пласта, окружающие эксплуатационные скважины в районе рабочей части фильтров и размножившиеся в порах водоносного горизонта железо- и марганецпоглощающие бактерии при откачке из скважины начинают работать как медленные фильтры (рис. 3), способствуя окислению железа и марганца и осаждению их нерастворимых соединений в пласте [12, 13, 16].

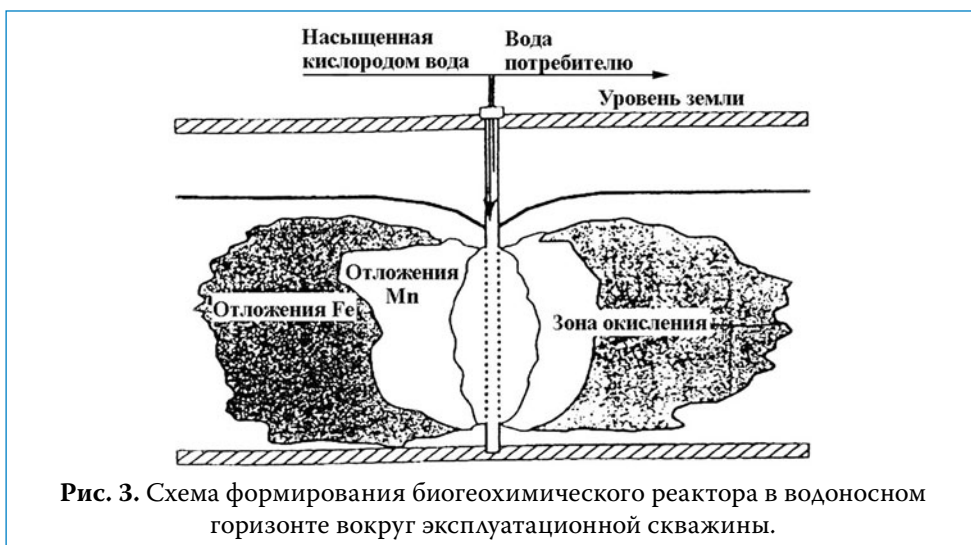


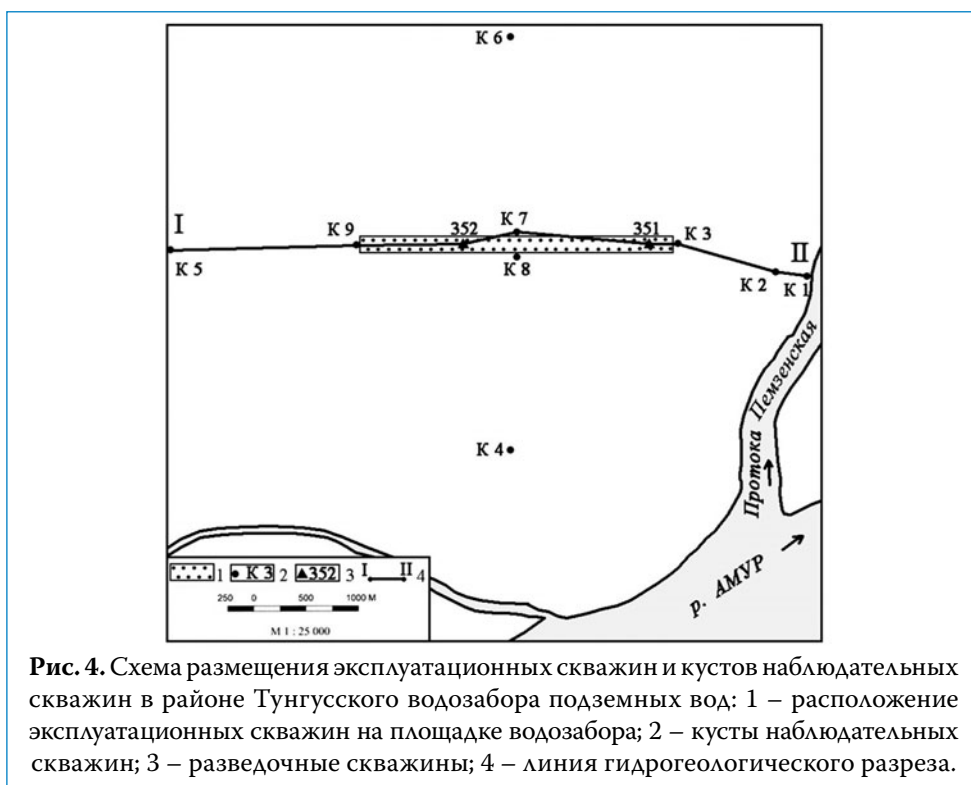
Рис. 3. Схема формирования биогеохимического реактора в водоносном горизонте вокруг эксплуатационной скважины.

Основы биотехнологии деманганизации и обезжелезивания некондиционных подземных вод в водоносном горизонте опираются на естественные природные окислительно-восстановительные процессы и направлены на создание искусственных, активно функционирующих контактных зон вода–порода–бактериальные клетки [12–14]. На поверхности бактериальных клеток осаждаются положительно заряженные мицеллы окислов железа и марганца. Биокаталитическая пленка образуется как результат двух параллельно протекающих гетерогенных процессов: на коллоидных мицеллах в подземной воде порового пространства, а также на поверхности зерен грунта. Отмирая, бактерии заполняют осадком гидроокислов железа и марганца поровое пространство водоносного горизонта, а очищенная от растворенного железа, марганца и других нормируемых компонентов некондиционных подземных вод питьевая подземная вода подается в разводящую сеть водоснабжения.

Подготовка или зарядка водоносного пласта перед эксплуатацией водозабора включает многократное повторение технологических циклов подачи (закачки) в водоносный горизонт растворенного в воде кислорода через рабочую часть фильтров и откачки воды из эксплуатационных скважин.

Таким образом, основы биотехнологии обезжелезивания и деманганации некондиционных подземных вод в водоносном горизонте опираются на естественные природные окислительно-восстановительные процессы и направлены на создание искусственных, активно функционирующих контактных зон вода-порода-бактериальные клетки. Апробация биотехнологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в пласте для питьевого водоснабжения в условиях Приамурья позволила запроектировать водозабор с этой технологией для водоснабжения г. Хабаровска с производительностью первой очереди 106 тыс. м³/сут, пусковой комплекс которого запущен в эксплуатацию в июле 2012 г. [9].

В настоящее время наиболее крупным в мире водозабором, где применяется технология внутрислоевого очищения, является Тунгусский водозабор г. Хабаровска (рис. 4) производительностью 106 тыс. м³/сут [8]. Водозабор уникален по сочетанию производительности, качества воды и методу водо-



подготовки. К концу 2015 г. в процессе пуско-наладочных работ и эксплуатации находились три секции Тунгусского водозабора из пяти проектных.

Несмотря на весьма сложные гидрохимические условия на Тунгусском водозаборе подземных вод, не имеющих аналогов в мире при внутриводопластовой очистке, удалось достичь полной очистки воды до концентраций, существенно ниже нормативных значений: железо – менее 0,1 мг/дм³, марганец – менее 0,05 мг/дм³. При этом не применялись химические реагенты и сложные наземные сооружения водоподготовки.

Несомненным преимуществом технологии внутриводопластовой очистки подземных вод является сформированный в пласте биогеохимический барьер, который является препятствием для поступления к скважинам вредных примесей, транспортируемых вместе с речным фильтратом, поскольку до 65 % проектного расхода водозабора будет поступать из Пемземской протоки р. Амур. При любых негативных ситуациях антропогенного воздействия на поверхностные воды этот барьер из гидроксидов железа и марганца, сформированный в водоносном горизонте, способен аккумулировать большинство микро- и макрокомпонентов подземных вод и органических веществ. Расчетное время поступления речного фильтрата к скважинам при полной производительности водозабора составляет около двух лет.

ВЫВОДЫ

В представленном выше технологическом процессе очистки подземных вод используется кислород воздуха, не требуются реагенты, соответственно отсутствует реагентное хозяйство, нет нужды в транспортировке реагентов и утилизации отходов. Не возникает экологических проблем, связанных с эксплуатацией наземных установок водоподготовки, утилизацией промывных вод, объем которых в зависимости от концентрации железа может достигать 15–20 % от величины водоотбора. Отсутствуют отходы производства и, следовательно, не требуются средства на вывоз шлама-пульпы промывных вод на полигоны складирования твердых промышленных отходов.

Ориентация на подземные воды является единственным выходом при создании надежных источников водоснабжения крупных городов. Это особенно актуально для г. Хабаровска, учитывая его трансграничное положение. Выбор МУП г. Хабаровска «Водоканал» в пользу технологии внутриводопластовой очистки оказался оправданным со всех точек зрения, что доказали результаты опытно-промышленной пилотной установки на Тунгусском водозаборе и ввод водозабора в эксплуатацию [8, 11]. Несмотря на весьма сложные гидрохимические условия, не имеющие аналогов в мире при внутриводопластовой очистке, удалось достичь полной очистки воды от железа и марганца до концентраций ниже ПДК без применения реагентов и сложных наземных сооружений.

Более чем 100-летний опыт применения безреагентной технологии очистки подземных вод в водоносном горизонте показал, что по сравнению с традиционной она имеет ряд экономических и экологических преимуществ. В технологическом процессе водоподготовки используется кислород из воздуха и не требуется применения для очистки подземных вод реагентов, сооружения реагентного хозяйства, постоянной транспортировки различных реагентов и утилизации отходов.

Эксплуатация установок полностью в автоматическом режиме упрощает их техническое обслуживание при минимальном количестве персонала. При более низкой себестоимости воды, подаваемой потребителю по этой технологии, по качеству она превосходит российские и европейские стандарты для питьевой воды. Выполненными работами на пилотной установке Тунгусского месторождения доказана возможность очистки подземных вод от нормируемых компонентов непосредственно в водоносном пласте до существенно более «жестких», чем российские нормативы международных норм: железо – менее 0,1 мг/дм³, марганец – менее 0,05 мг/дм³. Исследованиями доказано, что применение технологии водоподготовки питьевых подземных вод в водоносном горизонте позволяет обеспечить устойчивость их получения в период длительной эксплуатации Тунгусского водозабора при очень сложном гидрохимическом составе некондиционных подземных вод.

Учитывая несомненные преимущества технологии внутрипластовой очистки подземных вод, ее безотходность и экологическую безопасность, есть все основания для рассмотрения данной технологии в качестве приоритетной в проектах водозаборов некондиционных подземных вод для централизованного обеспечения питьевых потребностей населения городов и поселков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Тесля В.Г.* Опыт внутрипластовой очистки подземных вод от железа // Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 5. С. 14–15.
2. Rott Ulrich and Friedle Matthias 25 Jahre unterirdische Wasseraufbereitung in Deutschland // J. Wasser – Abwasser. 2000. No 13. P. 99–107.
3. *Кулаков В.В.* 100 лет технологии очистки подземных вод от железа в водоносном горизонте (in-situ) // Мат-лы VI междунар. конгресса ЭКВАТЭК-2004 «Вода: экология и технология». М., 2004. С. 173–174.
4. *Кулаков В.В., Стеблевский В.И., Домнин К.В., Херлитциус Й., Тесля В.Г.* Опытно-промышленная эксплуатация пилотной установки очистки подземных вод на Тунгусском водозаборе // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 7. С. 29–35.
5. *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.

6. Braester C., Martinell R. The Vyredox and Nytreodox methods of in situ treatment of groundwater // Water Sci. and Techpol. 1988. Vol. 20. No 3. P. 321–337.
7. Стеблевский В.И., Домнин К. В., Архипова Е.Е., Ротанов А.А., Дунаевская Е.В. Разработка комплексной технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод Тунгусского месторождения г. Хабаровска // Экология и безопасность водных ресурсов: Мат-лы II междунар. науч.-практ. конф. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. С. 140–147.
8. Кулаков В.В., Стеблевский В.И. Ввод в эксплуатацию альтернативного источника водоснабжения г. Хабаровска // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 7. С. 41–44.
9. Кулаков В.В. Опытные-технологические исследования в водоносном пласте при поисках и разведке подземных вод для водоснабжения // Мат-лы науч.-метод. конф. «Современные проблемы гидрогеологии. V Толстихинские чтения». СПб.: Изд-во СПГГИ (ТУ), 1996. С. 165–167.
10. Кулаков В.В. Процессы изменения качества подземных вод на участках работы установок обезжелезивания и деманганации в водоносном пласте // Сб. «Проблемы изучения химического состава подземных вод. VI Толстихинские чтения». СПб.: Изд-во Изд-во СПГГИ (ТУ), 1997. С. 95–102.
11. Кулаков В.В. Использование внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца (на примере г. Хабаровск) // Вестник ДВО РАН. 2013. № 2 (168). С. 84–89.
12. Кулаков В.В., Кондратьева Л.М. Биогеохимические аспекты очистки подземных вод Приамурья // Тихоокеан. геология. 2008. № 1. С. 109–118.
13. Kulakov V.V., Fisher N.K., Kondratieva L.M., Grischek T. Chapter 17. Riverbank Filtration as an Alternative to Surface Water Abstraction for Safe Drinking Water Supply to the City of Khabarovsk, Russia // C. Ray and M. Shamruk (eds.) Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries. DOI 10.1007/978-94-007-0026-0_17. Springer Science + Business Media B.V. 2011. P. 281–298.
14. Кулаков В.В., Архипов Б.С., Козлов С.А. Методические рекомендации по опытно-технологическим исследованиям условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте. Хабаровск: Дальгеоцентр, 1999. 60 с.
15. Кулаков В.В., Кондратьева Л.М., Херлитуцус Й., Тесля В.Г. Формирование биогеохимических зон при подготовке питьевых подземных вод в водоносном горизонте // Экология и безопасность жизнедеятельности в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Мат-лы III региональной науч.-практ. конф., Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. С. 49–55.
16. Чайковский Г.П., Кулаков В.В., Сошников Е.В. Обезжелезивание и деманганация подземных вод: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 1998. 89 с.

Сведения об авторе:

Кулаков Валерий Викторович, д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрогеологии, ФБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: vvkulakov@mail. ru