

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ

Олейник Т.П., к.т.н., доцент,
Маковецкая Е.А., ассистент

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ximek@ukr.net

Аннотация. Результаты исследований состава подземной воды (2015...2016 гг.) из артезианской скважины (170 м) в Татарбунарском районе характеризуют данную воду как высокоминерализованную, непригодную для питьевого водоснабжения базы отдыха Катранка без дополнительной очистки. Показано, что компактная технология обработки подземной воды, требующая минимальных объемов и расходных материалов, основанная на использовании обратноосмотической установки, обеспечивает требуемое качество очищенной воды независимо от перепадов состава исходной подземной воды. Представлены результаты состава очищенной воды, их обсуждение и заключение о соответствии качества пермеата нормативным документам на питьевую воду по основным показателям.

Ключевые слова: водоподготовка, подземные воды, обратный осмос, пермеат, качество воды.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Олійник Т.П., к.т.н., доцент,
Маковецька О.О., асистент

Одеська державна академія будівництва та архітектури
ximek@ukr.net

Анотація. Результати досліджень складу підземної води (2015...2016 рр.) з артезіанської свердловини (170 м) в Татарбунарському районі характеризують дану воду як високомініралізовану, непридатну для питного водопостачання бази відпочинку Катранка без додаткового очищення. Доведено, що компактна технологія обробки підземної води, що вимагає мінімальних обсягів і витратних матеріалів, заснована на використанні зворотньоосмотичної установки, забезпечує необхідну якість очищеної води незалежно від перепадів складу вихідної підземної води. Представлені результати складу очищеної води, їх обговорення та висновок про відповідність якості пермеата нормативним документам на питну воду за основними показниками.

Ключові слова: водопідготовка, підземні води, зворотний осмос, пермеат, якість води.

MODERN TECHNOLOGY FOR GROUNDWATER CLEANING IN ODESSA REGION

Oliinik T.P., PhD, Associate Professor,
Makovetska O.O., assistant,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ximek@ukr.net

Abstract. There is a shortage of drinking water in the south of the Odessa Region. For Tatarbunary area, groundwater using is the optimal solution of this problem. Purified water from artesian wells (160 m) provides water supply for the recreation center Katranka (Tatarbunary area).

The subject of this research is to study the quality of underground water from these artesian wells. It has been proved that this water has a high salinity ($1,8 \dots 8 \text{ g/dm}^3$), hardness ($9,2 \dots 15,5 \text{ mg/dm}^3$). Therefore, this lowsheet underground water can not be used for drinking without reverse osmosis treatment. The composition of the permeate has been studied. High selectivity of the membranes on the main ions has been demonstrated. Water quality permeate meets the quality requirements for drinking water. Reverse osmosis installation output completely provides the town with qualitative drinking water.

Keywords: water, underground water, reverse osmosis, permeate, water quality.

Введение. Проблема обеспечения качественной пресной питьевой водой всегда являлась актуальной для Одесской области и становится острее год от года. Как показывают расчеты, ресурсы / запасы подземных вод Украины составляют ориентировочно $7\,000\,000\,000 \text{ м}^3/\text{год}$. Одесская область является одним из наименее водообеспеченных регионов Украины. Относительная водообеспеченность населения местным многолетним стоком в Одесской области составляет $0,15 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$, что существенно ниже среднего значения в Украине ($1,145 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$). По прогнозным ресурсам подземных вод Одесская область занимает последнее место в стране – $8,08 \text{ тыс. м}^3/\text{км}^2$ или $0,113 \text{ тыс. м}^3/\text{чел.}$ (по Украине соответственно $37,30 \text{ тыс. м}^3/\text{км}^2$ и $0,492 \text{ тыс. м}^3/\text{чел.}$) [1, 2].

Южный регион Одесской области, в междуречье Днестра и Дуная, наименее обеспечен подземными водами питьевого качества. Наиболее значительными проблемами ресурсной базы водного хозяйства южного региона Одесской области отличаются Татарбунары и Арциз – практически лишенные источников поверхностных вод. Источниками водоснабжения отдельных поселков Татарбунарского района являются подземные солоноватые воды с солесодержанием $8 \dots 12 \text{ г/дм}^3$, высокой жесткостью $12 \dots 25 \text{ мг-экв/дм}^3$, содержанием натрия до 960 мг/дм^3 и магния до 90 мг/дм^3 [2]. Поэтому такую воду необходимо дополнительно очищать. В медико-географическом плане Татарбунары являются неблагоприятным городом из-за распространенности железодефицитной анемии, хронического отита, цереброваскулярных заболеваний.

Залегание и распространение подземных вод Татарбунарского района связано с геологическим строением территории. Докембрийский фундамент перекрыт толщей палеогеновых и неогеновых осадочных отложений мощностью от нескольких метров до $100 \dots 120 \text{ м}$, иногда до 500 м . Причерноморский артезианский бассейн представлен основными водоносными горизонтами в неогеновых породах и включает известняки, мергели, пески и песчаники, переслаивающиеся со слабопроницаемыми глинистыми породами.

Удовлетворение потребности в экологически чистой питьевой воде населения Татарбунарского района является одним из подходов к решению сложной проблемы обеспечения потребителя эпидемически безопасной питьевой водой, соответствующей санитарно-микробиологическим и химическим показателям по нормативным требованиям.

Поиск качественных подземных вод, бурение артезианских скважин в населенных пунктах для водоснабжения в Татарбунарском районе Одесской области наиболее реальный вариант решения дефицита питьевой воды южных областей.

В связи с изложенным, тема данной статьи является актуальной.

Цель настоящего исследования – для оценки эффективности применения мембранных технологий водоподготовки проведены исследования состава и выполнена оценка качества очищенной подземной воды с целью использования ее как источника водоснабжения населенного пункта базы отдыха Катранка, которая расположена в с. Лиман Татарбунарского района Одесской области.

Объекты исследования: пробы воды, отобранные из артезианской скважины с глубины 170 м . и пробы очищенной воды (пермеаты). Период отбора проб $2015 \dots 2016 \text{ гг.}$

Методы исследования – для исследования состава воды использовали арбитражные методы, предусмотренные соответствующими нормативными документами [3, 4].

Результаты исследований и обсуждение. Результаты исследования химического состава подземной воды из артезианской скважины по органолептическим и общесанитарным показателям приведены в табл. 1. В данной статье оценивали состав воды для двух образцов проб воды, отобранных с интервалом один год: проба № 1 (18.05.15) и проба № 2 (8.06.16). Результаты промежуточных исследований в данной статье не приводятся.

Анализ данных состава исходной воды характеризует подземную воду как солоноватую, с повышенной минерализацией (1,81 и 7,16 г/дм³), с высокой щелочностью (16 мг-экв/дм³) и жесткостью (9,2...15,5 мг-экв/дм³). Отмечено десятикратное превышение содержания ионов натрия и хлоридов в образце пробы № 2. Постепенное повышение общей минерализации, содержания ионов натрия и хлоридов было отмечено в течение всего года наблюдений. Общая минерализация колебалась от 4 до 10 г/дм³. Высокое значение показателя перманганатной окисляемости указывает на присутствие органических загрязнений в данной подземной воде, при этом цветность воды была незначительной. Процесс разложения органического вещества в отсутствие кислорода может являться причиной образования сероводорода в подземной воде. Наличие значительного количества сероводорода (4,68...5,2 мг/дм³) в исследуемой воде является типичным для подземных вод данного региона. Причиной образования сероводорода в воде является жизнедеятельность серобактерий, которые восстанавливают различные соединения серы (в основном растворенные в воде сульфиды и сульфаты) до сероводорода. Среди азотсодержащих веществ преобладает ион аммония, что является характерным для минерализованных подземных вод.

Таблица 1 – Состав исследуемой воды

Показатели, единицы измерения	Значения показателей для образцов воды:			
	исходная (проба №1)	пермеат	исходная (проба № 2)	пермеат
Дата отбора пробы	18.05.15		8.06.16	
Водородный показатель, ед. рН	7,7	6,85	7,9	6,6
Цветность, градусы	10	10	10	10
Запах, баллы	3	1	3	1
Вкус и привкус. баллы	4	0	4	0
Мутность, НОК	1,4	0,01	2,5	0,01
Кальций, мг/дм ³	90	5	68	0,8
Магний, мг/дм ³	134	1,2	71	1,9
Натрий, мг/дм ³	246	97	2468	136
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	976	43	970	37
Сульфаты, мг/дм ³	10	8	30	6
Хлориды, мг/дм ³	355	131	3550	190
Общая минерализация, мг/дм ³	1811	285	7157	372
Общая щелочность, ммоль/дм ³	16	0,7	15,9	0,6
Общая жесткость, ммоль/дм ³	15,5	0,35	9,2	0,2
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	16,2	2,5	15,4	1,9
Нитрат-ион, мг/дм ³	0,34	0,34	0,5	0,4
Нитрит-ион, мг/дм ³	0,008	0,008	0,01	0,005
Аммоний-ион, мг/дм ³	10,38	0,48	15,3	0,3
Сероводород, мг/дм ³	4,68	0	5,2	0

Гидрохимическая характеристика исходной воды приведена на рис. 1 и в табл. 2. Соотношение основных катионов и анионов (рис.1), формула гидрохимического состава по О.А. Алекину (табл. 2) относят подземную воду к 1 типу. Первый тип характеризуется

соотношением $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Воды этого типа являются щелочными, образуются при растворении продуктов выветривания изверженных пород, содержащих значительные количества натрия и калия. Они также могут образовываться за счет обменных реакций между кальцием вод и натрием в поглощенном комплексе пород, что соответствует геологическим условиям юга Причерноморского района.

Из формулы солевого состава и индекса О.А. Алекина следует, что проба № 1 относится к гидрокарбонатно – магниевому типу, проба № 2 – к хлоридно – натриевому. За год гидрохимическая характеристика состава подземной воды изменилась полностью. Столь значительное отличие ионного состава артезианской воды можно связать с изменением условий подпитки данного водоносного пласта. Расчеты по формуле Пальмера – Сулина (табл. 2) показали, что среди солей в обоих образцах преобладают гидрокарбонаты магния и кальция (57% и 59 %), отмечается значительное содержание различных солей натрия, но основная масса состоит из хлорида натрия.

% - экв.

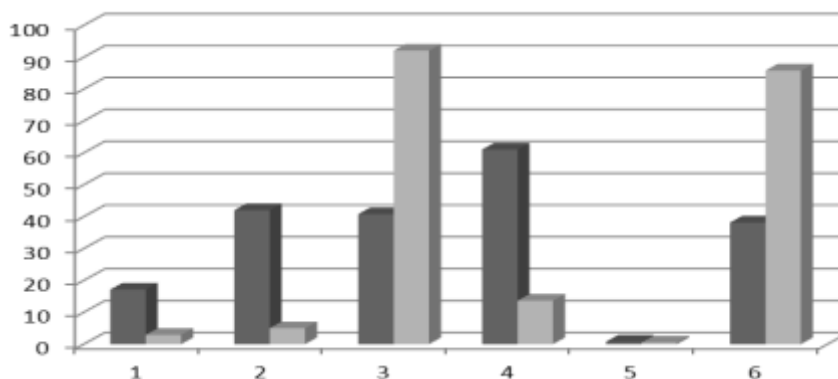


Рис. 1. Гистограмма распределения ионов в % - экв. в пробах № 1, 2 неочищенной подземной воды:
1 – Ca²⁺; 2 – Mg²⁺; 3 – Na⁺; 4 – HCO₃⁻; 5 – SO₄²⁻; 6 – Cl⁻

Таблица 2 – Гидрохимическая характеристика подземной воды

	Исходная подземная вода:	
	проба № 1 (18.05.15)	проба №2 (8.06.16)
Формула Пальмера-Сулина	$\underline{A}_2 S_1 A_1$	$\underline{A}_2 S_1 A_1$
Первая соленость(S ₁)	41% (NaCl, Na ₂ SO ₄)	39% (NaCl, Na ₂ SO ₄)
Первая щелочность(A ₁)	2% (NaHCO ₃)	2% (NaHCO ₃)
Вторая щелочность (A ₂)	57% (Mg(HCO ₃) ₂ , Ca(HCO ₃) ₂)	59% (Mg(HCO ₃) ₂ , Ca(HCO ₃) ₂)
Гидрохимическая фация	HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺ - Na ⁺ - Cl ⁻ - Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻	Na ⁺ - Cl ⁻ - HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺ - Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻
Гидрохимическая формация	HCO ₃ ⁻	Na ⁺
Формула солевого состава (формула Курлова)	$M_{1,81} \frac{HCO_3 \cdot 61 \cdot Cl \cdot 38 \cdot SO_4 \cdot 1}{Mg \cdot 42 \cdot (Na + K) \cdot 41 \cdot Ca \cdot 17}$	$M_{7,16} \frac{Cl \cdot 85 \cdot HCO_3 \cdot 14 \cdot SO_4 \cdot 1}{(Na + K) \cdot 92 \cdot Mg \cdot 5 \cdot Ca \cdot 3}$
Индекс по О.А. Алекину	$C_1^{Mg} 15,5$ 1.8	$Cl_1^{Na} 9,2$ 7.2

Для проведения (неполной) оценки качества исходной подземной воды, как источника централизованного питьевого водоснабжения, рассчитана величина интегрального индекса (I_{интегр.}) по средним величинам двух групповых индексов (органолептическому, общесанитарному), выраженных в классах. Интегральный индекс для проб №1 и №2 составил, соответственно, 2,58 и 2,6. Согласно ДСТУ 4808:2007 неполная оценка (по двум

блокам) качества исследуемых образцов подземной воды позволяет отнести их к 3-му классу – удовлетворительная, приемлемое качество воды; 2-3 подклассу – вода, переходная по качеству от «хорошей», чистой к «удовлетворительной», слабозагрязненной [5].

Таким образом, из вышеизложенного следует, что исследуемая природная подземная вода данной артезианской скважины не может быть использована как источник питьевого водоснабжения без предварительной очистки. Такая вода непригодна не только для питья, но и для применения в бытовых нуждах.

Современные технологии водоподготовки, основанные, как правило, на мембранных методах очистки воды, позволяют получить питьевую воду требуемого качества независимо от состава исходной воды [6].

В частности, для очистки исследуемой подземной воды применяется следующая технологическая схема: исходная вода из скважин подается в резервуар, где подвергается аэрированию, и после механических фильтров-сеток поступает непосредственно на обратноосмотическую установку, где рабочие насосы подают воду в мембранные аппараты (рабочее давление 1,7 МПа). Очищенная вода собирается в баки – гидроаккумуляторы и подвергается обеззараживанию.

Основные стадии водоподготовки:

1. Удаление сероводорода методом аэрации. Резервуар приемник воды оборудован специальной аэрационной системой. Как показывают результаты исследований, приведенные в табл. 2, данный метод позволяет полностью удалить сероводород из исходной воды.

2. Удаление взвешенных веществ путем фильтрации воды через полипропиленовые фильтры. В сетчатых фильтрах в качестве фильтрующего элемента используется сетка с размером ячеек 20 мкм. Данные фильтры обеспечивают высокий уровень удаления взвешенных веществ из исходной подземной воды. Эффективность очистки составила 93%.

3. Удаление растворенных органических и минеральных примесей с использованием мембранной обратноосмотической установки (фирма Vorton, Китай). Основная рабочая характеристика – производительность установки была установлена в диапазоне 2,5...2,8 м³/ч. Установки поставляются готовыми комплектами, включающими все компоненты технологических схем.

Мембранная очистка является эффективной современной технологией очистки минерализованных подземных вод, позволяющая напрямую, без применения реагентов и дополнительных систем очистки в одну ступень добиться высокого качества воды. При этом габариты, стоимость оборудования и эксплуатационные расходы такой технологии значительно меньше. Для обеспечения эффективной работы обратноосмотической установки важно правильно подобрать тип мембран, что влияет на величину эксплуатационных затрат (расход электроэнергии, затраты на профилактические промывки и др.). От характеристик мембран (селективность, материал) зависит не только качество очищенной воды, но и величина рабочего давления, продолжительность непрерывной работы до промывки, интенсивность осадкообразования и другие факторы, определяющие затраты на очистку [7, 8].

Двухгодичный опыт эксплуатации данной мембранной установки для очистки подземной воды показал, что использование обратного осмоса требует проведения тщательной и эффективной предочистки и ряда операций (дозирование реагентов, химические промывки, поддержание заданного гидравлического режима работы и величины выхода фильтрата) для предотвращения опасности осадкообразования на мембранах и быстрого их износа. Ввиду повышенного содержания органических веществ в исходной подземной воде на поверхности мембран к окончанию срока эксплуатации отмечалось образование гелеобразного осадка, снижающего производительность мембран. Селективность мембран по основным ионам приведена на гистограмме 2.

4. Обеззараживание пермеата гипохлоритом натрия.

Для оценки целесообразности применения мембранной фильтрации в схемах очистки воды из артезианской скважины изучали состав образцов пермеатов, отобранных после

обратноосмотической установки. В табл. 1 приведены результаты исследования химического состава пермеатов. Анализ данных показывает, что грубодисперсные примеси удаляются практически полностью. Эффективность снижения мутности воды 99%. Гистограмма селективности мембран по главным ионам, приведенная на рис. 2, свидетельствует о высокой эффективности данных обратноосмотических мембран по всем показателям. Селективность мембран по величине общая минерализация составила 84 и 95%. Обращает внимание тот факт, что селективность мембран была выше (80...99%) при очистке более минерализованного образца воды № 2 по всем ионам. На гистограмме видно, что мембраны по-разному задерживают различные ионы в зависимости от их природы, заряда и валентности.

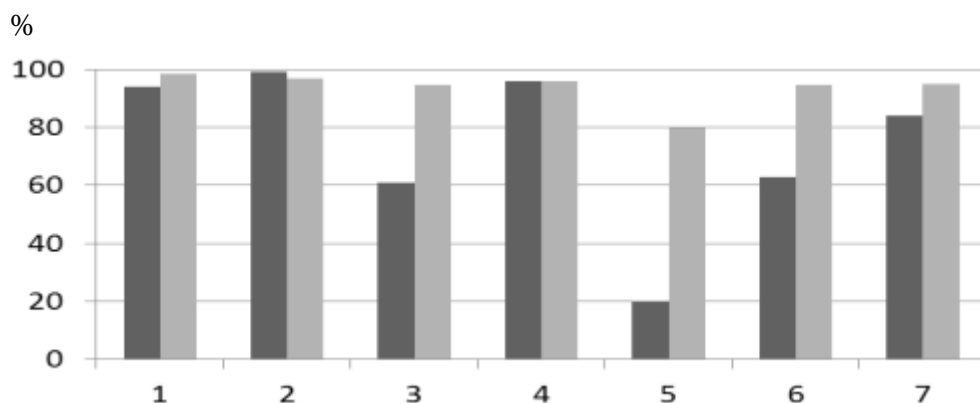


Рис. 2. Гистограмма селективности мембран по ионам для пермеатов проб № 1, 2: 1 – Ca²⁺; 2 – Mg²⁺; 3 – Na⁺; 4 – HCO₃⁻; 5 – SO₄²⁻; 6 – Cl⁻; 7 – минерализация общая

Из данных табл. 2 следует, что обратноосмотические мембраны хорошо задерживают гидратированные ионы солей (кроме сульфатов). Результаты работы мембранной установки показали близкое по химическим показателям качество пермеатов, независимо от состава исходной воды. При этом достигалось полное удаление микробиологических загрязнений, в том числе без предварительного хлорирования. Перманганатная окисляемость снижалась на 85...88%, однако за период наблюдений нестабильность качества поступающей на мембрану воды приводила к разбросу величин окисляемости в очищенной воде. По отношению к цветности, представленной в воде преимущественно низкомолекулярными растворенными органическими соединениями, эффект очистки отсутствовал.

С целью оценки возможности использования очищенной воды для питьевых целей оценивали ее состав по органолептическим и основным общесанитарным показателям качества питьевой воды (табл. 1) по нормативным документам (СанПиН, ДСТУ). Сравнительный анализ показал, что очищенная подземная вода соответствует требованиям, предъявляемым к качеству питьевой воды, предназначенной для водоснабжения, по всем показателям. Исследуемая вода обладает благоприятными органолептическими показателями. Оба образца характеризуются практически одинаковым содержанием главных ионов – минерализация составила 0,29...0,37 г/дм³. Содержание отдельных катионов и анионов также не превышает допустимые значения. Остаточная общая жесткость очищенной воды равна 0,2...0,35 мг-экв/дм³, при том, что СанПиН Украины предусматривает нижнюю границу величины жесткости не меньше 1,5 мг-экв/дм³. Употребление излишне мягкой воды неблагоприятно для организма. Нормативное значение жесткости питьевой воды (1,5...7 мг-экв/дм³) может оказывать защитное действие для сердечно - сосудистой системы.

Из вышеизложенного анализа данных следует, что в условиях высокого разброса величины солесодержания исследуемой подземной воды применение обратноосмотических мембран является одним из надежных технологических процессов подготовки питьевой воды.

Выводы:

1. Исследование химического состава подземной артезианской воды, отобранной из

артезианской скважины с глубины 170 м, которая находится в Татарбунарском районе Одесской области показало, что данная подземная вода не пригодна для питьевых целей согласно гигиеническим требованиям к качеству питьевой воды из-за высокого содержания различных загрязнений: минеральных и органических веществ, хлоридов, натрия. Исследуемая вода является солоноватой, с высокой жесткостью и щелочностью. Как подземный источник питьевого водоснабжения вода относится к 3-му классу – качество воды удовлетворительное, приемлемое; 2 - 3 подклассу – вода, переходная по качеству от «хорошей», чистой к «удовлетворительной», слабозагрязненной.

По гидрохимическим показателям данная подземная вода является хлоридно - натриевой высокоминерализованной водой. Ее состав позволяет рассматривать данную подземную воду как возможный гидроминеральный ресурс, который после соответствующих исследований можно оценивать для бальнеологических целей.

2. Целью данной статьи являлась оценка возможности использования мембранных технологий для обеспечения качественной питьевой воды базы отдыха Катранка. Результаты исследований состава очищенной воды показали, что применяемая технология очистки подземных вод позволяет довести ее качество до гигиенических нормативов по органолептическим и санитарно-химическим показателям независимо от колебаний уровня минерализации исходной воды. Кроме опреснения воды мембранная технология оказывается высокоэффективным методом снижения цветности и окисляемости.

Таким образом, данная технологическая схема водоподготовки на основе мембранной технологии обеспечивает эффективное решение проблем рационального использования минерализованных подземных вод и снабжения населения качественной питьевой водой отдельных населенных пунктов Одесской области, где наблюдается чрезвычайно острый дефицит питьевой воды.

Литература

1. Мисочка И.В. Приоритетные направления в технологии очистки подземных вод от железа / И.В. Мисочка, И.И. Дешко, Н.Н. Кий, Н.Г. Герасименко // Химия и технология воды. – 2009. – т.31, №1. – С. 57 – 73.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2004р. / Державний комітет України з питань житлово-комунального господарства. – Київ, 2005. – 198 с.
3. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості / Мінекономрозвитку України. – Київ, 2014. – 30 с.
4. ДСанПіН 2.2.4.-171-10 Гігієнічні вимоги до води, призначеної для споживання людиною / Наказ міністерства охорони здоров'я України. – Київ, 2010. – 40 с.
5. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні вимоги щодо якості води і правила вибирання / Держспоживстандарт України. – Київ, 2007. – 40 с.
6. Первов А.Г. История и перспективы применения мембранных технологий в области водоснабжения / А.Г. Первов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №7. – С. 4–10.
7. Андрианов А.П. Мембранные методы очистки поверхностных вод / А.П. Андрианов, Д.В. Спицов, А.Г. Первов, Е.Б. Юрчевский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №7. – С. 29 – 37.
8. Первов А.Г. Новые технологии и аппараты на основе методов ультра- и нанофильтрации для системы водоснабжения и теплоснабжения / А.Г. Первов, А.П. Андрианов, Д.В. Спицов, Л.В. Рудакова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №7. – С. 12 – 19.

Стаття надійшла 30.06.2016