

**А.К. СТРЕЛКОВ**  
**Е.Е. КОТОВСКАЯ**  
**С.Ю. ТЕПЛЫХ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ Г. СИМФЕРОПОЛЯ**

**SURFACE SOURCES OF CENTRALIZED DRINKING WATER SUPPLY: THEIR PURIFICATION FROM BIOCONTAMINATION AND PURIFICATION EFFICIENCY DETERMINATION (WITH THE CITY OF SIMFEROPOL TAKEN AS AN EXAMPLE)**

*Представлены результаты статистического анализа появления в воде водохранилищ централизованного водоснабжения города Симферополя Республики Крым органических загрязнений, определенных по показателю перманганатная окисляемость. Выявлена закономерность распределения содержания органических загрязнений и ее аналитическое описание для четырех источников централизованного водоснабжения. Получены модели распределения данного показателя для воды, прошедшей очистку на водопроводных очистных сооружениях Симферополя Республики Крым (в резервуаре чистой воды). Рассчитана эффективность работы двухступенчатой схемы очистки воды (горизонтальные отстойники – скорые фильтры) от органических загрязнений. Определена вероятность превышения нормативных значений перманганатной окисляемости для питьевой воды относительно норм Всемирной организации здоровья и требований на питьевую воду по данному показателю для Российской Федерации. Определена требуемая степень удаления органических загрязнений на водопроводных очистных сооружениях для обеспечения соответствия качества питьевой воды нормам Всемирной организации здоровья.*

**Ключевые слова:** органические загрязнения, хлороорганические загрязнения, перманганатная окисляемость, степень очистки, закон распределения, граничное значение, источники централизованного питьевого водоснабжения

Одним из показателей, определяющих качество воды в поверхностном источнике централизованного водоснабжения в процессе ее подготовки, а также после очистки на водопроводных очистных сооружениях (ВОС), является содержание природных органических соединений (ПОС). Наличие в воде ПОС оказывает влияние прямым или косвенным образом на кинетику агрегации коллоидных примесей [1–5]. Кроме первичных природных органических соединений, в поверхностных водах присутствуют продукты жизнедеятельности микроорганизмов – растворимые органические соединения разной природы. Они приводят к образованию нежелательных вторичных продуктов окисления, когда при водо-

*The paper demonstrates statistical analysis results of biocontamination of Simferopol water reservoirs of centralized drinking water supply sources. The biocontamination results were obtained by permanganate oxidizability factor. The analysis revealed a consistent pattern of biocontamination distribution and its analytical description for four sources of centralized water supply. The paper also introduces models of this factor distribution for water purified in water-purification plants of the city of Simferopol (in clean-water reservoirs). The effectiveness of two-step water purification scheme (horizontalstrainer chamber – high-rate trickling filter) from biocontamination is calculated. The research demonstrates a probability of exceeding permanganate oxidizability normative values for drinking water according to WHO and EU standards and according to drinking water requirements for this indicator in the Russian Federation. The required degree of permanganate oxidizability disposal at water treatment plants which will make the quality of drinking water meet WHO and EU standards is also defined.*

**Keywords:** Biocontamination, organochlorine contamination, permanganate oxidizability, degree of purification, distribution law, boundary value, sources of centralized drinking water supply

подготовке используют предварительную, промежуточную и заключительную стадии хлорирования [2]. Вторичные продукты хлорирования являются токсичными хлороорганическими соединениями, опасными для здоровья человека. Хлороорганические соединения практически не удаляются на последующих стадиях водоподготовки и увеличивают токсичность питьевой воды [3].

Оценку качества источников питьевого водоснабжения, т.е. воды, прошедшей очистку на ВОС и эффективность их работы по удалению органических соединений, выполним по показателю перманганатной окисляемости (ПО), который является одним из параметров, характеризующих эффективность техноло-

гического процесса водоподготовки. Если показатели мутности, цветности и взвешенных веществ находятся в пределах регламентирующих нормативных документов РФ (СанПиН 2.1.4.10704-01), а перманганатная окисляемость превышает допустимое значение, то при определении дозы коагулянта ее следует учитывать согласно п.9.15 СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Определение перманганатной окисляемости является не только способом установления концентрации органических веществ, но в сочетании с другими показателями, например с цветностью, может использоваться при установлении их природы [6]. Представление относительно характера органических соединений, содержащихся в воде, можно получить при сравнении отношения цветности и окисляемости [7].

Остаточное содержание органических загрязнений способствует образованию комплексных соединений с металлами, взаимодействующими с водой, что также оказывает негативное влияние на здоровье человека [3].

В опубликованных работах многих исследователей проведена оценка эффективности водоподготовки на основе выявленных закономерностей

по перманганатной окисляемости и изменения качества исходной воды в процессе ее очистки. Так, в работе Л.И. Кантора эффективность очистки по показателю ПО Северного ковшового водопровода МУП «Уфаводоканал» составила от 40,8 до 47 %. При этом, используя анализ временных рядов, были выделены из данных аналитических наблюдений тренд-циклическая, сезонная и случайная составляющие показателя ПО [8]. В исследованиях А.О. Родиной представлены эмпирические формулы для расчета эффективности работы отдельных сооружений ВОС г. Вологды по основным показателям качества обрабатываемой воды [9].

Для определения влияния того или иного показателя необходимо иметь представление и о других не менее значимых качественных показателях питьевых источников централизованного водоснабжения (ИЦВ) и резервуаров чистой воды (РЧВ).

В табл. 1 приведены данные качественного состава воды по показателям мутность, цветность, рН из ИЦВ и РЧВ г. Симферополя за период с 2001 по 2009 гг., а также нормативные требования СанПиН 2.1.4.1074-01 по этим показателям.

Таблица 1

Данные качественного состава воды из ИЦВ и РЧВ г. Симферополя

Показатель	Содержание в исходной воде				Содержание в РЧВ			Требования СанПиН 2.1.4.1074-01 к питьевой воде
	Симферопольское водохранилище	Партизанское водохранилище	Межгорное водохранилище	Аянское водохранилище	РЧВ Симферопольского гидроузла	РЧВ Партизанского гидроузла	РЧВ Межгорного гидроузла	
Мутность, мг/л	1–27	2,4–78	4–30	0,25–9,5	0,25–2	0,5–2,2	0,5–1,5	Не более 1,5 (2)
Цветность, град	1–40	7–70	20–40	2–25	5–11,4	5–13	7–15	Не более 20 (35)
рН	7,2–8,7	7,75–8,25	7,9–8,3	7,28–8,3	7,1–8,5	7,44–8,15	7,6–7,8	6–9

Данные, приведенные в табл. 1, графически представлены на рис. 1, где показаны диапазоны изменения качественного состава (мутность, цветность, ПО) в ИЦВ, указана производительность и схема очистки воды на ВОС разных гидроузлов (ГУ) г. Симферополя.

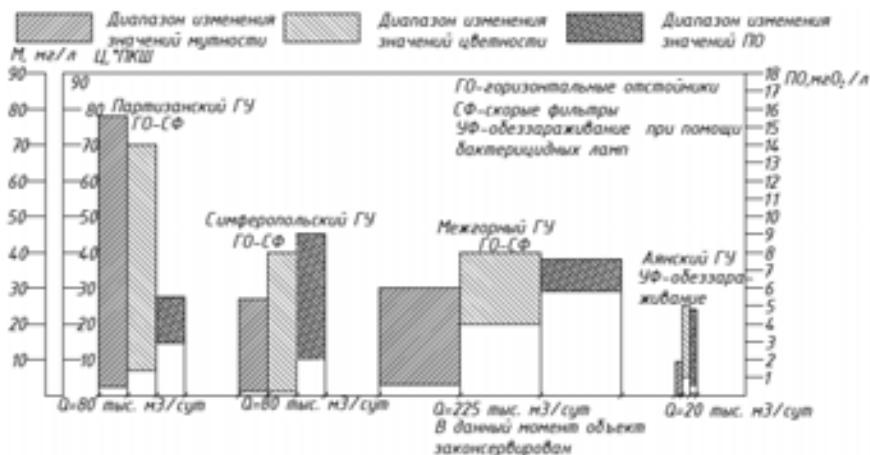


Рис.1. Источники водоснабжения г. Симферополя

Проанализировав данные, представленные в табл. 1 и на рис. 1, можно заключить следующее: воды Симферопольского и Межгорного водохранилищ являются маломутными и средней цветности, воды Партизанского водохранилища – средней мутности и средней цветности, а воды Аянского водохранилища – маломутные и малоцветные. Показатели качества воды (табл. 1) по мутности, цветности после очистки (вода в РЧВ) соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

Очистные сооружения Симферопольского, Партизанского, Межгорного гидроузлов представляют собой двухступенчатую схему очистки: горизонтальные отстойники и скорые фильтры с применением коагулянтов (сернокислый алюминий) и флокулянтов (полиакриламид). Для обеззараживания воды применяется хлорирование (установки гипохлорита Na, бактерицидные лампы). Вода Аянского гидроузла очистке не подвергается, применяется только обеззараживание при помощи бактерицидных ламп, и подается на ВОС Симферопольского гидроузла, по пути следования вода отбирается для водоснабжения населенных пунктов Салгирской Долины. В летний период вода до Симферопольских ВОС не доходит, так как полностью отбирается населенными пунктами Салгирской долины.

В нормативных документах Всемирной организации здоровья (ВОЗ) [10] и Европейского Союза (ЕС) [11] требования к питьевой воде более строгие, чем требования нормативных документов РФ, которые регламентирует СанПиН 2.1.4.10704-01. Требо-

вания по содержанию органических соединений, определенных по перманганатной окисляемости, в воде источников централизованного питьевого водоснабжения в РФ определены ГОСТ 2761-84\* (табл. 2).

Для воды, прошедшей очистку на ВОС, содержание органических соединений, определенных по перманганатной окисляемости, приведено в табл. 3.

Содержание органических загрязнений по показателю перманганатная окисляемость в воде четырех источников централизованного водоснабжения г. Симферополя: Симферопольское, Партизанское, Межгорное и Аянское водохранилища, а также в резервуарах чистой питьевой воды гидроузлов на этих водохранилищах за период с 2002 по 2013 гг. было определено при помощи стандартных статистических методов с применением законов распределения, которые связывают возможные значения ПО с вероятностью их появления.

В качестве примера (табл. 4) приведены данные по содержанию органических загрязнений в воде Межгорного водохранилища.

Полученные результаты обработки статистических данных сведены в табл. 5, в которой представлены минимальные ( $ПО_{min}$ ) и максимальные ( $ПО_{max}$ ) значения, среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{ПО}$ , математическое ожидание  $M(ПО)$  и аналитический закон распределения органических загрязнений для четырех источников централизованного водоснабжения г. Симферополя.

На рис. 2 – 5 представлены функции плотности распределения для четырех источников централизо-

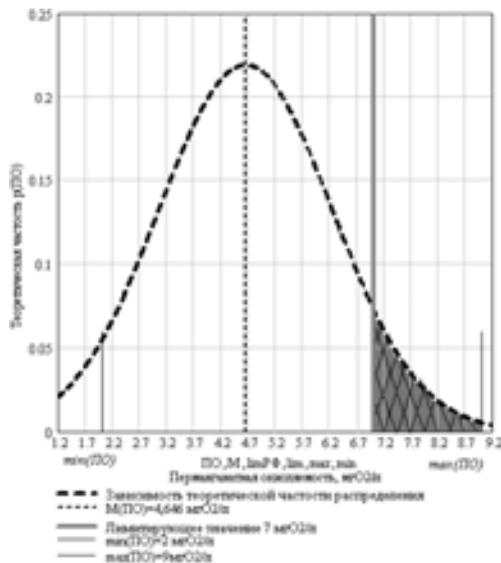


Рис. 2. Функции плотности распределения значений ПО для воды из Симферопольского водохранилища, предельное значение  $ПО_{lim} = 7 \text{ мг/л}$

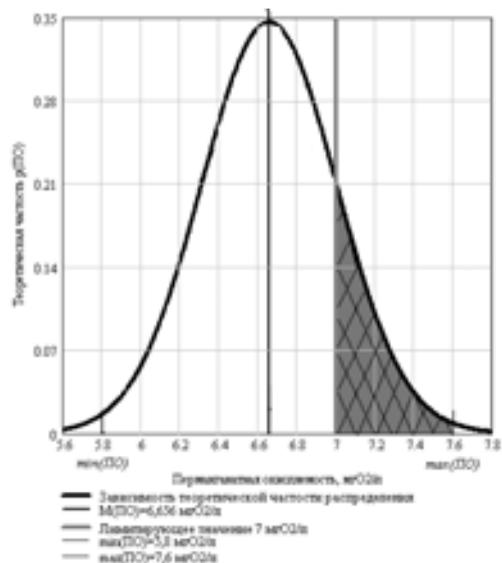


Рис. 3. Функции плотности распределения ПО для воды из Межгорного водохранилища, предельное значение  $ПО_{lim} = 7 \text{ мг/л}$

Условные обозначения



Область значений ПО, превышающих лимитирующее значение на уровне  $7 \text{ мг/л}$

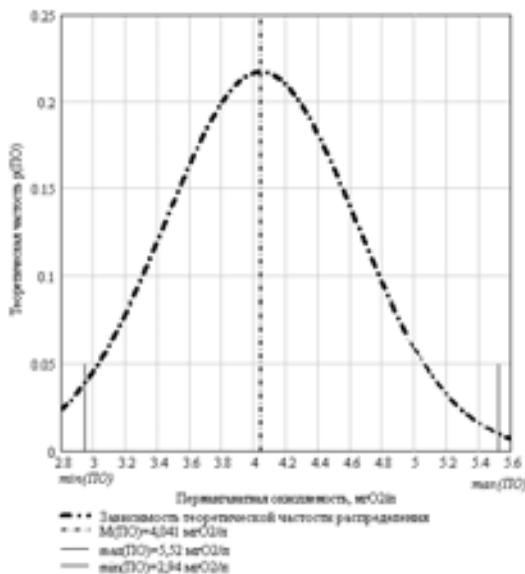


Рис. 4. Функции плотности распределения ПО для воды из Партизанского водохранилища

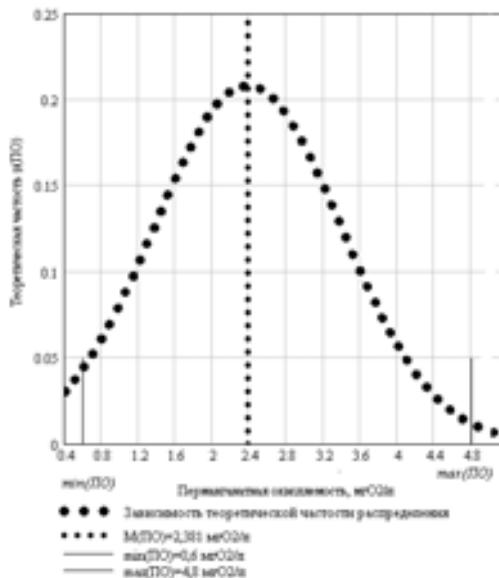


Рис. 5. Функции плотности распределения ПО для воды из РЧВ Аянского водохранилища

Таблица 2

Классификация качества воды поверхностных источников централизованного питьевого водоснабжения по ГОСТ 2761-84\*

Показатель	Класс качества		
	I	II	III
Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	7	15	20

Таблица 3

Требования нормативных документов для питьевой воды

Показатель	Нормативный документ	
	СанПиН 2.1.4.10704-01	ВОЗ и ЕС
Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	≤5	≤2

Таблица 4

Значения содержания перманганатной окисляемости в воде Межгорного водохранилища

Месяц	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Январь	6,4	6,6	6,6	7	7	7	6,4	6,4
Февраль	6,4	6,6	6,7	7	7	6,7	6,4	6,8
Март	6,6	6,7	6,7	7	6,8	6,7	6,3	6,4
Апрель	6,3	6,4	6,7	7,1	7	6,6	6,4	7,6
Май	6,4	6,4	6,7	7	7,2	6,5	6,3	7
Июнь	6,7	6,4	7	7	7,2	6,5	6	7
Июль	7,6	6,4	7	7,2	7	6,6	6	7
Август	7	6,5	7	7	7,3	6,6	6,3	7,12
Сентябрь	6,6	6,4	7,1	7,2	7	6,8	5,8	7
Октябрь	6,7	6,6	6,7	7,2	6,7	6,6	6	7,12
Ноябрь	6,4	6,5	6,8	7,1	6,8	6,5	6	7,12
Декабрь	7	6,8	6,8	7	7	6,4	6,4	7,1

Примечание. Данные центральной производственной лаборатории Симферопольского филиала ГУП РК «Вода Крыма».

Таблица 5

Сводная таблица результатов обработки значений ПО для четырех источников централизованного водоснабжения г. Симферополя

$ПО_{min}$	$ПО_{max}$	$M(ПО)$	$\sigma_{ПО}$	Закон распределения
Симферопольское водохранилище				
2	9	4,646	1,591	$f(ПО) = 0,219 \cdot \exp[-0,198 \cdot (ПО - 4,646)^2]$
Партизанское водохранилище				
2,94	5,52	4,041	0,592	$f(ПО) = 0,217 \cdot \exp[-1,43 \cdot (ПО - 4,041)^2]$
Межгорное водохранилище				
5,8	7,6	6,656	0,346	$f(ПО) = 0,346 \cdot \exp[-0,4167 \cdot (ПО - 6,656)^2]$
Аянское водохранилище				
0,6	4,8	2,381	1,009	$f(ПО) = 0,208 \cdot \exp[-0,491 \cdot (ПО - 2,381)^2]$

ванного водоснабжения г. Симферополя, представлено математическое ожидание для каждого распределения, а также указаны предельные значения для  $ПО_{lim}$ , соответствующие I классу по ГОСТ 2761-84\*. По аналитическим выражениям распределения построены кривые распределения значения ПО в источниках централизованного водоснабжения г. Симферополя.

Из рис. 2–5 следует, что значение теоретической частоты распределения содержания органических загрязнений Межгорного и Симферопольского водохранилищ превышает предельное значение для источника I класса ( $7 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ). Содержание органических загрязнений для Партизанского и Аянского водохранилищ не превышает предельное значение.

Вероятности превышения предельного значения содержания органических веществ в воде Симферопольского и Межгорного водохранилищ составляют:

- для Симферопольского водохранилища – 6,94 %, что графически соответствует заштрихованной площади (рис. 2);

- для Межгорного водохранилища – 16,1 % (рис. 3).

Наибольшая вероятность превышения предельного значения содержания органических веществ соответствует воде из Межгорного водохранилища (16,1%). Аналогичный комплекс параметров был определен для воды из РЧВ, т. е. воды, прошедшей очистку на водопроводных очистных сооружениях.

Результаты расчетов по обработке значений органических загрязнений для очищенной воды четырех гидроузлов сведены в табл. 6.

На рис. 6 – 9 представлены плотности распределения содержания органических загрязнений для воды четырех гидроузлов г. Симферополя, а также указаны лимитирующие значения содержания органических веществ (стандарты ВОЗ, ЕС и СанПиН), соответственно  $ПО_{lim} = 2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$  и  $ПО_{lim} = 5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ .

Также была рассчитана вероятность превышения содержания органических загрязнений предельного значения ( $5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ) для воды:

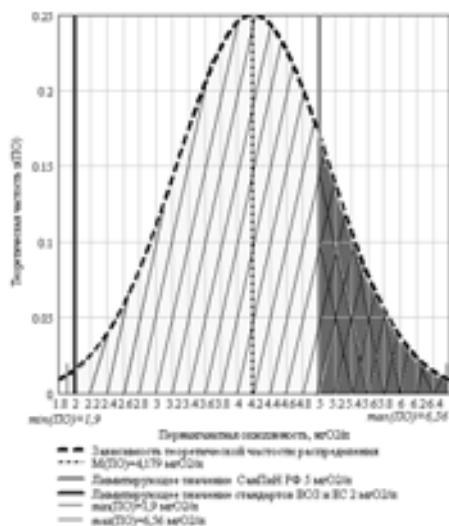


Рис. 6. Функции плотности распределения значений ПО для воды из РЧВ Симферопольского гидроузла, предельное значение ПО (стандарты ВОЗ, ЕС и СанПиН)

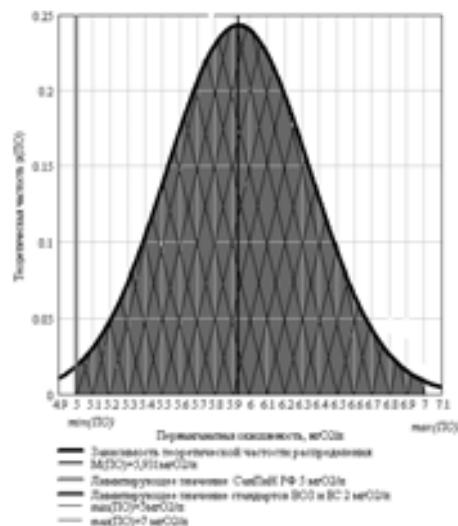


Рис. 7. Функции плотности распределения значений ПО для воды из РЧВ Межгорного гидроузла, предельное значение ПО (стандарты СанПиН)

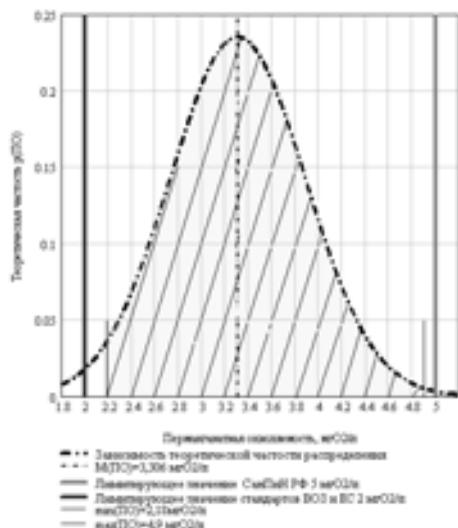


Рис. 8. Функции плотности распределения значений ПО для воды из РЧВ Партизанского гидроузла, предельное значение ПО (стандарты ВОЗ, ЕС и СанПиН)

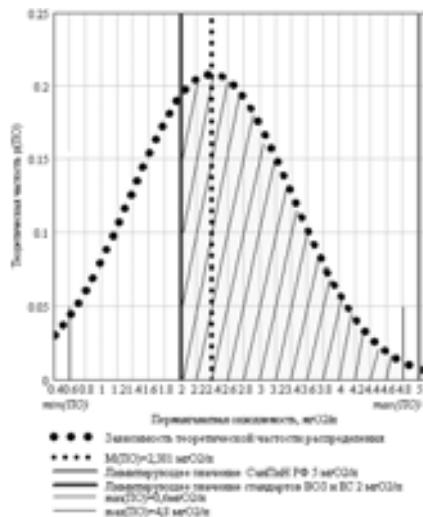


Рис. 9. Функции плотности распределения значений ПО для воды из Аянского водохранилища, предельное значение ПО (стандарты ВОЗ, ЕС и СанПиН)

Условные обозначения



Область значений ПО, в воде РЧВ, превышающих лимитирующее значение стандартов ВОЗ и ЕС на уровне 2 мгО<sub>2</sub>/л



Область значений ПО, в воде РЧВ, превышающих лимитирующее значение СанПин РФ на уровне 5 мгО<sub>2</sub>/л

Таблица 6

Сводная таблица результатов обработки значений ПО для воды из четырех резервуаров чистой питьевой воды

PO <sub>min</sub>	PO <sub>max</sub>	M(PO)	σ <sub>PO</sub>	Закон распределения
Симферопольский гидроузел				
1,9	6,56	4,179	0,928	$f(PO) = 0,25 \cdot \exp[-0,581 \cdot (PO - 4,179)^2]$
Партизанский гидроузел				
2,18	4,9	3,306	0,577	$f(PO) = 0,235 \cdot \exp[-1,502 \cdot (PO - 3,306)^2]$
Межгорный гидроузел				
5	7	5,931	0,411	$f(PO) = 0,243 \cdot \exp[-2,959 \cdot (PO - 5,931)^2]$
Аянский гидроузел				
0,6	4,8	2,381	1,009	$f(PO) = 0,208 \cdot \exp[-0,491 \cdot (PO - 2,381)^2]$

- из РЧВ Симферопольского гидроузла – 18,8 %;
- из РЧВ Партизанского гидроузла – 0,17 %;
- из РЧВ Межгорного гидроузла – 98,8 %;
- из РЧВ Аянского гидроузла – 0,47 %.

Вероятность превышения значений органических соединений граничного значения на уровне 2 мгО<sub>2</sub>/л норм ВОЗ и ЕС составила для воды:

- из РЧВ Симферопольского гидроузла – 99,05 %;
- из РЧВ Партизанского гидроузла – 98,76 %;
- из РЧВ Межгорного гидроузла – 100 %;
- из РЧВ Аянского гидроузла – 64,72 %.

Если принять математическое ожидание концентрации органических загрязнений в воде РЧВ на

уровне 2 мгО<sub>2</sub>/л и математическое ожидание концентрации органических загрязнений в воде источника централизованного водоснабжения, которые были представлены в табл. 5 и на рис. 2 – 6, и найти процент снижения показателя ПО до значения 2 мгО<sub>2</sub>/л, тогда требуемая степень удаления органических загрязнений на водопроводных очистных сооружениях для обеспечения соответствия качества питьевой воды нормам ВОЗ и ЕС должна составлять: Симферопольские ВОС – 57 %; Партизанские ВОС – 51,25 %; Межгорные ВОС – 69,95 %.

Все результаты расчетов сведены в табл. 7.

Представленная методика определения эффективности работы ВОС по удалению органических

Таблица 7

Сводная таблица результатов обработки значений перманганатной окисляемости

Источник водоснабжения	Вероятность превышения предельного значения содержания перманганатной окисляемости			Существующая степень очистки по снижению перманганатной окисляемости ВОС, %	Требуемая степень очистки по перманганатной окисляемости ВОС, %
	по Г ОСТ 2761-84* (7 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ), %	по СанПиН 2.1.4.10704-01, (5 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ), %	по ВОЗ и ЕС (2 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> ), %		
Симферопольское водохранилище	6,94				
Межгорное водохранилище	16,10				
РЧВ Симферопольского гидроузла		18,80	99,05	10,50	57,00
РЧВ Партизанского гидроузла		0,17	98,76	18,18	51,25
РЧВ Межгорного гидроузла		98,80	100,00	10,89	69,95
РЧВ Аянского гидроузла		0,47	64,72		

загрязнений, определенных по показателю ПО на примере г. Симферополя Республики Крым, может использоваться и для других объектов водоснабжения Российской Федерации и иных показателей загрязнений.

Анализ представленных данных позволяет говорить о необходимости повышения эффективности работы ВОС.

К методам, позволяющим удалять органические соединения и, как следствие, исключить возможность появления сложных хлорорганических соединений, относятся: введение в контактные камеры порошкообразных активированных углей; применение биоцидных реагентов; метод преаммонизации; метод электрокаталитической деструкции гуминовых кислот; предварительное окисление озоном и сорбция, комплексное использование различных окислителей и сорбция. Выбор того или иного метода определяется характеристикой качества воды, действующих схем обеззараживания на ВОС и конструктивных возможностей очистных станций.

Требований СанПиНа (5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) можно достичь при использовании устройства для очистки воды (рис. 9), принцип работы которого описан в [4], за счет применения сорбционного фильтра на основе активированного угля.

Для выполнения основных задач исследования в работе была использована установка для очистки природных вод, позволяющая очистить их от взвешенных веществ и органических загрязнений и, как следствие, исключающая возможность появления сложных хлорорганических соединений.

Проект установки выполнен в соответствии с патентом Украины [4]. Схема крупномасштабной фильтровальной установки (рис. 10) состоит из первой ступени, включающей в себя осветлитель-рециркулятор

осадка и слой плавающей пенополистирольной загрузки, и второй ступени – фильтровальной колонны, загруженной активированным углем марки АГ-3.

Установка для очистки воды (рис. 10) работает следующим образом. Очищаемая вода подается в корпус

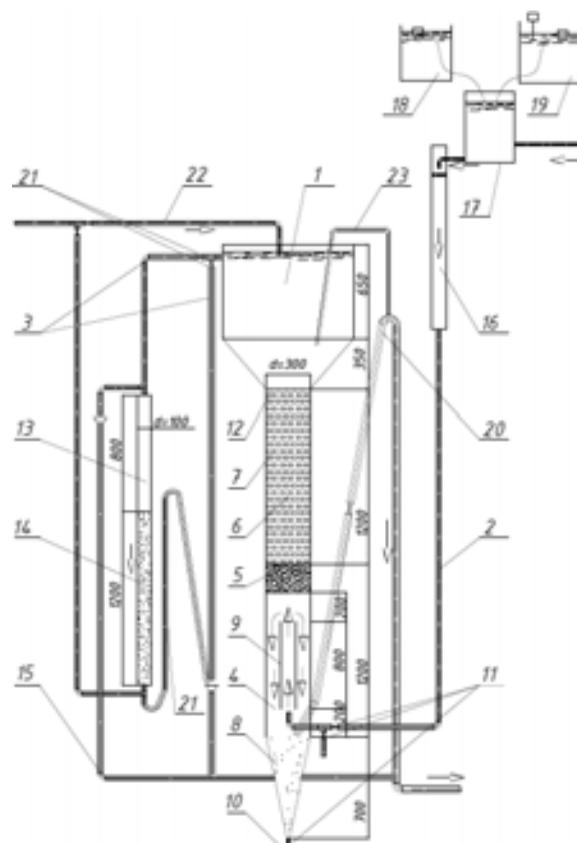


Рис. 10. Фильтровальная установка

установки 1 через трубопровод подачи воды 2. Также в трубопровод 2 дозируется коагулянт и по потребности – замутнитель (раствор бентонита). При прохождении воды через нижнюю камеру 4, при добавлении коагулянта, происходит образование скоагулированных частиц, которые благодаря прохождению через рециркулятор осадка 9 образуют слой взвешенного осадка 5. При прохождении воды сквозь плавающую грубозернистую загрузку 6 происходит окончательное очищение от загрязнений в верхней камере 7. Очищенная вода выходит из верхней камеры через трубопровод отвода очищенной воды 3 при открытии задвижки 11. Излишний осадок 5 из нижней камеры 4 для взвешенного осадка поступает в рециркулятор осадка 9, затем в сгуститель шлама 8 и удаляется из него при поступлении сигнала от пьезометров 12 и после открытия задвижки 11 на трубопроводе для отвода шлама 10 во время регенерации. Далее вода, очищенная от взвешенных веществ, по трубопроводу 3 поступает в фильтровальную колонну 13 и фильтруется через загрузку 14, затем отводится по трубопроводу 21 в сток. Подача воды на промывку загрузки осуществляется по трубопроводу 22. Промывка плавающей фильтрующей загрузки осуществляется при открытии задвижки 11 на сифоне 20.

Корпус установки выполнен из трубы круглого сечения D=300 мм и имеет общую высоту 4300 мм.

Высота плавающей фильтрующей загрузки 1200 мм, крупность зерен 1,5–3,0 мм. По высоте фильтрующего слоя в корпус врезаны штуцеры (dш=3 мм), к которым подключены пьезометры для контроля потерь напора в слоях загрузки. Для наблюдения за состоянием верхнего слоя загрузки и качеством ее промывки в корпусе предусмотрено окно из прозрачного пластика. Загрузка удерживается от всплытия сеткой. Выше загрузки расположен бак вместимостью 0,4 м<sup>3</sup> для сбора осветленной воды. Ниже фильтрующей загрузки в установке находится нижняя камера с осветлителем-рециркулятором осадка высотой 1200 мм.

Предварительно была проведена серия опытов на воде Межгорного и Симферопольского водохранилищ с различными коагулянтами: сернокислый алюминий Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O, хлорное железо FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, сульфат окиси железа Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, сульфат закиси железа FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, раствор гидроксихлорида алюминия Полвак-40 Al<sub>2</sub>(OH)<sub>n</sub>·Cl<sub>6-n</sub>, ПолиДАДМАХ; флокулянтами: полиакриламид, MagnaFloc LT27 с целью определения наиболее эффективных и оптимальных доз в статических условиях методом пробного коагулирования.

На установке была выполнена серия опытов реактентного фильтрования с предварительно выбранными коагулянтами: сернокислый алюминий, хлорное железо, Полвак-40. Результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

Технологические показатели очистки воды от взвешенных веществ на первой ступени установки

Продолжительность фильтроцикла, ч	Скорость фильтрования, м/ч	Доза реагента, мг/л	Исходная концентрация взвешенных веществ на входе в установку I ступени, мг/л	Концентрация взвешенных веществ до ФПЗ, мг/л	Конечная концентрация взвешенных веществ на выходе из установки, мг/л
<b>При обработке коагулянтом сернокислый алюминий</b>					
4	7	35	130	49	7
22	4,7	20	75	33	5,1
14	5,1	20	75	40	3,2
15	5,5	24	90	27	2,7
13	5,2	25,2	97	51	7,60
14	5,5	30	114	60	7
10	5,5	19,3	74	33	5,1
<b>При обработке коагулянтом хлорное железо</b>					
106	4,6	28,1	87	50	3,3
66	7,7	15,8	105	45	5
16	6,8	15,5	90	44	9,40
14	5,4	31	114	49	8,70
13	6,9	16	108	50	8,30
<b>При обработке коагулянтом Полвак-40</b>					
27	5,5	55,6	123	56	3,4
40	7,6	60,3	80	37	4,7
16	6,1	58	67	35	5,30
14	6,7	64	96	52	7,50
15	6	63	121	69	4,80

Проанализировав данные табл. 9, можно заключить следующее: продолжительность фильтроцикла изменялась в диапазоне  $t=4-22$  ч, скорость фильтрования  $v_f=4,7-7$  м/ч, доза реагента  $d=19,3-35$  мг/дм<sup>3</sup>; исходная концентрация взвешенных веществ  $C_0=74-130$  мг/дм<sup>3</sup>, концентрация взвешенных веществ до ФПЗ,  $C_p=27-60$  мг/дм<sup>3</sup>; для коагулянта хлорное железо:  $t=13-106$  ч,  $v_f=4,6-7,7$  м/ч,  $d=16-31$  мг/дм<sup>3</sup>;  $C_0=87-114$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_p=44-50$  мг/дм<sup>3</sup>; для коагулянта Полвак-40:  $t=14-27$  ч,  $v=5,5-7,6$  м/ч,  $d=55,6-64$  мг/дм<sup>3</sup>;  $C_0=67-123$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_p=35-69$  мг/дм<sup>3</sup>. Конечная концентрация взвешенных веществ на выходе из фильтрующей части установки при применении коагулянта сернокислый алюминий находится в диапазоне  $C=3,2-8,3$  мг/дм<sup>3</sup>, хлорное железо –  $C=3,3-9,4$  мг/дм<sup>3</sup>, для коагулянта Полвак –  $C=3,4-7,5$  мг/дм<sup>3</sup>.

Далее представлены результаты экспериментов на установке с применением высокомолекулярного

коагулянта «ПолиДАДМАХ», который имеет молекулярную массу от 10 тыс. до 1 млн., характеризуется высоким катионным зарядом и невысокими дозами относительно неорганических коагулянтов. Реагент «ПолиДАДМАХ» получил широкое распространение в химической промышленности и на водопроводах Российской Федерации. Результаты исследований реagentного фильтрования с применением данного коагулянта на установке приведены в табл. 9.

Проанализировав данные табл. 9, можно сделать вывод о том, что в серии опытов при использовании коагулянта «ПолиДАДМАХ» продолжительность фильтроцикла изменялась в диапазоне  $t=11-23$  ч, скорость  $v_{\phi}=4,1-7,6$  м/ч, доза реагента  $d=0,01-0,13$  мг/л; исходная концентрация взвешенных веществ  $C_0=8,5-20$  мг/л, конечная концентрация взвешенных веществ  $C=0,7-3,25$  мг/л.

Таблица 9

Технологические показатели очистки воды от взвешенных веществ в фильтровальной установке с применением коагулянта «ПолиДАДМАХ»

Продолжительность фильтроцикла, ч	Скорость фильтрования, м/ч	Доза реагента, мг/л	Исходная концентрация взвешенных веществ, мг/л	Остаточная концентрация взвешенных веществ, мг/л
11	6,8	0,1	15	1,8
12	6,4	0,1	16	1,4
13	6,4	0,09	14	1,5
14	6,8	0,09	18	1,5
15	6,6	0,08	13	1,4
16	6,7	0,08	18	1,4
17	6,7	0,08	17	1,3
18	6,5	0,08	17	1,2
11	4,6	0,04	20	0,7
12	4,2	0,05	20	0,9
14	4,3	0,08	18	1,2
16	4,3	0,08	15	1,1
18	4,2	0,09	20	1,1
20	4,1	0,08	17	1
22	4,2	0,08	18	1
23	4,33	0,07	15	0,9
10	6,8	0,01	17	1,5
12	6,8	0,09	18	1,5
14	6,7	0,09	17	1,4
16	6,6	0,1	19	1,2
18	6,8	0,08	18	1,4
20	6,8	0,09	17	1,2
22	6,9	0,08	9	1,2
13	7,5	0,11	8,5	3,25
14	7,6	0,13	9	2,75
16	7,5	0,11	9,2	4,5
19	7,4	0,1	9,5	3
21	7,5	0,11	9	2,25

Результаты по удалению органических загрязнений в первой ступени установки (осветлитель-рециркулятор установки и плавающая фильтрующая загрузка) и второй ступени (сорбционная колонна) представлены в табл. 10 с применением коагулянта «ПолиДАДМАХ».

Проанализировав данные табл. 10, можно сделать вывод о том, что в серии опытов при использовании коагулянта «ПолиДАДМАХ» продолжительность фильтроцикла изменялась в диапазоне  $t=4-22$  ч, скорость фильтрования  $v=4-6,9$  м/ч, доза реагента  $d=0,071-0,162$  мг/л, исходное содержание органических веществ по показателю перманганатная окисляемость  $ПО_0=6,4-6,7$  мгО<sub>2</sub>/л, содержание органических веществ по показателю перманганатная

окисляемость после установки I ступени  $ПО_I=5,2-5,6$  мгО<sub>2</sub>/л, содержание органических веществ по показателю перманганатная окисляемость после сорбционного фильтра – II ступень  $ПО_{II}=3,1-4,35$  мгО<sub>2</sub>/л, эффект очистки на I ступени –  $\mathcal{E}=13,8-34,3$  %, суммарный эффект очистки на двух ступенях  $\mathcal{E}=32-54,9$  %.

Примерно половина очистки от органических веществ приходится на I ступень, включающую в себя рециркулятор-осветлитель и плавающую фильтрующую загрузку.

Представленная технология является одной из доступных технологий, которая может быть реализована в условиях Республики Крым с использованием технологических сооружений существующих ВОС.

Таблица 10

Технологические показатели очистки воды от органических веществ в установке с применением коагулянта «ПолиДАДМАХ»

Показатель	Номер фильтроцикла						
	1	2	3	4	5	6	7
Скорость фильтрования в сорбционном фильтре, м/ч	6,9	4,0	4,0	4,0	5,03	5,10	4,06
Производительность установки, м <sup>3</sup> /ч	0,08	0,045	0,045	0,045	0,06	0,057	0,046
ПО на входе в фильтровальную установку, мгО <sub>2</sub> /л	6,4	6,5	6,5	6,7	6,55	6,43	6,57
ПО на входе в сорбционный фильтр, мгО <sub>2</sub> /л	5,5	5,6	5,6	4,4	5,2	4,6	5,2
Остаточная ПО в фильтрате (на выходе из сорбционного фильтра), мгО <sub>2</sub> /л	4,35	3,63	3,58	3,58	3,2	2,90	3,10
Доза коагулянта, мг/л	0,109	0,110	0,162	0,087	0,118	0,071	0,079
Эффект очистки по ПО в рециркуляторе + плавающая фильтрующая загрузка (I ступень очистки), %	14	13,8	13,8	34,3	20,6	28,5	20,9
Общий эффект очистки, %	32	44,2	44,9	46,6	51,14	54,9	52,8

**Выводы.** 1. Выявлено, что значения вероятности распределения содержания органических соединений в воде Межгорного и Симферопольского водохранилищ превышают норматив граничной концентрации органических веществ в воде (ГОСТ 2761-84\*) источников централизованного водоснабжения на 16,1 и 6,94 % соответственно. Наибольшая концентрация органических веществ находится в воде Межгорного водохранилища, воды которого были подвергнуты наибольшему антропогенному воздействию.

2. Определено, что вероятность превышения граничного значения содержания органических загрязнений в воде (СанПиН 2.1.4.10704-01), прошедшей очистку на водопроводных очистных сооружениях, составляет: для воды из РЧВ Симферопольского гидроузла – 18,8 %; Партизанского гидроузла – 0,17 %; Межгорного гидроузла – 98,8 %; Аянского гидроузла – 0,47%. Оценена вероятность предельного значения нормативов ВОЗ и ЕС содержания органических загрязнений.

3. Барьерная способность водопроводных очистных сооружений относительно органических загрязнений составляет: Симферопольские ВОС – 10,05 %;

Партизанские ВОС – 18,19 %; Межгорные ВОС – 10,89 %. Для достижения степени очистки, обеспечивающей существующие требования в Российской Федерации, необходима доочистка на сорбционных фильтрах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлор- и броморганические соединения в питьевой воде: методы их удаления / В.Н. Швецов, К.М. Морозов, Л.Н. Фесенко, А.Ю. Скрыбин, А.И. Вергунов // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. №2. С.30–35.
2. Чеботарева Р.Д., Баштан С.Ю., Гончарук В.В. Электрокалитическая деструкция гуминовых кислот в процессах водоподготовки // Химия и технология воды. 2001. №5. С. 501–509.
3. Драгинский В.Л. Обеспечение качества питьевой воды в свете новых нормативных требований // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. №9. С. 21-26.
4. Подготовка артезианской воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения / П.Г. Быкова, А.К. Стрелков, Ж.В. Занина, В.В. Васильев, О.В. Цабилев // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-2. С. 34-39.

5. Исследование возможности очистки маломутных вод в условиях НФС-1 г. Самары / Ю.А. Егорова, В.Н. Ерчев, В.А. Дударев, А.К. Стрелков, В.И. Кичигин, П.Г. Быкова // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-2. С. 40-44.
6. *Кульский Л.А.* Теоретические основы и технология кондиционирования воды. К.: Наукова думка, 1980. 564 с.
7. Состояние источника централизованного водоснабжения и его влияние на качество питьевой воды / В.В. Гончарук, Н.А. Клименко, В.Ф. Скубченко, В.В. Медведовский // Химия и технология воды. 2005. №6. С. 559 - 589.
8. *Кантор Л.И., Харабрин А.В.* Количественная оценка эффективности водоподготовки по показателю окисляемости // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. №4. С. 41—44.
9. *Родина А.О.* Обоснование расчетных показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением теории риска: автореф. дис. ... к.т.н. Вологда, 2004. 19 с.
10. Руководство по контролю качества питьевой воды: рекомендации. Женева: ВОЗ, 1994. Т1. 255 с.
11. Directive 2000/60/ES of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Commute action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities 22.12.2000, EN, L, 327/1.

Об авторах:

**СТРЕЛКОВ Александр Кузьмич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (846)339-14-11  
E-mail: a19400209@ya.ru

**STRELKOV Alexandr K.**

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Water Supply and Wastewater Chair  
Samara State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846)339-14-11  
E-mail: a19400209@ya.ru

**КОТОВСКАЯ Елена Евгеньевна**

старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского  
Академия строительства и архитектуры  
295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь,  
ул. Киевская, 181  
E-mail: energia-09@mail.ru

**KOTOVSKAYA Elena Ye.**

Senior Lecturer of the Water Supply, Wastewater and Sanitary Engineering  
Crimean Federal University  
Academy of Construction and Architecture  
295493, Russia, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 181  
E-mail: energia-09@mail.ru

**ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (846)339-14-11  
E-mail: kafvv@mail.ru

**TEPLYKH Svetlana Yu.**

PhD in Engineering, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Samara State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846)339-14-11  
E-mail: kafvv@mail.ru

Для цитирования: *Стрелков А.К., Котовская Е.Е., Теплых С.Ю.* Определение эффективности очистки воды поверхностных источников централизованного водоснабжения от органических загрязнений на примере г. Симферополя // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 35-45. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.7.  
For citation: *Strelkov A.K., Kotovskaya E.E., Teplykh S.Yu.* Surface sources of centralized Drinking water supply: their purification from biocontamination and purification efficiency determination (with the city of Simferopol taken as an example) // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 3. Pp. 35-45. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.7.