DOI 10.21603/2074-9414-2018-1-15-30
УДК 614.7:664

ВОДОПОДГОТОВКА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Т. А. Краснова

*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6*

e-mail: ecolog1528@yandex.ru

Дата поступления в редакцию:10.02.2018
Дата принятия в печать: 16.03.2018

© Т. А. Краснова, 2018

Аннотация. Рассмотрено состояние проблемы подготовки воды в производстве пищевых продуктов и напитков. Приведены нормируемые показатели качества воды: питьевой, бутилированной, для молочной промышленности, для производства пива, безалкогольных напитков, водки, водки на экспорт, детского питания. Установлено, что для производства пищевых продуктов и напитков вода системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения нуждается в дополнительной очистке от солей жесткости, железа, марганца, минеральных солей, органических соединений, микробиологических загрязнений. Кроме того, многие предприятия используют воду подземных источников (скважины), что усложняет технологию подготовки воды. Рассмотрены такие методы очистки, как ионный обмен, магнитная обработка, каталитическое окисление, обезжелезивание на фильтровально-сорбционных материалах из минерального сырья, аэрация, обратный осмос, электродиализ, адсорбция на активных углях. Показан механизм процессов, достоинства и недостатки методов. Приведены материалы и оборудование для реализации методов в практике водоснабжения. Описаны новые технологические решения для эффективной подготовки воды: радиолиз, кавитация, адвансированные технологии. Приведены технологические схемы получения бутилированной воды в зависимости от природы и содержания примесей на действующих производствах в Липецке, Кемерове и в Геленджикском районе (Краснодарский край). На основании материалов доступных источников проанализировано состояние проблемы водоподготовки на предприятиях пищевой промышленности и дана оценка техническому уровню систем водоочистки. Отмечено, что только в ликеро-водочной отрасли и производстве пива функционирует ряд технологических схем водоподготовки, соответствующих современным требованиям. В целом проблема подготовки воды для пищевых производств существует, повсеместно используются трудоемкие, неэкологичные, дорогие методы очистки, не всегда обеспечивающие требуемое качество воды. В связи с этим технологические схемы производства воды в пищевой промышленности нуждаются в модернизации. Даны рекомендации по замене некоторых традиционных технологий на более совершенные.

Ключевые слова. Водоподготовка, пищевая промышленность, мембранные методы, адсорбция, иониты, адвансированные технологии

Для цитирования: Краснова, Т. А. Водоподготовка в пищевой промышленности / Т. А. Краснова // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 1. – С. 15–30. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-15-30.

WATER TREATMENT IN FOOD INDUSTRY

T.A. Krasnova

*Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia*

e-mail: ecolog1528@yandex.ru

Received: 10.02.2018
Accepted: 16.03.2018

© T.A. Krasnova, 2018

Abstract. The author considered the contemporary state of the issue of water treatment in food and beverages production. The article presents regulated water quality parameters for drinking and bottled water, for dairy industry, beer and soft drinks production, as well as for production of vodka, vodka for export, and baby food. The article shows that water from central utility and drinking water supply needs additional treatment to produce food and beverages. It should be cleaned from hardness salts, iron, manganese, mineral salts, organic compounds and microbial contamination. Besides, many companies use groundwater sources (from wells). That makes water treatment procedure even more complicated. The author considered such treatment methods as ion exchange, magnetic water treatment, catalyzed oxidation, deferrization using sorption-filtering materials from mineral raw materials, aeration, reverse osmosis, electrodialysis, activated carbon adsorption. The author shows the treatment mechanisms, their advantages and disadvantages. The article indicates which materials and equipment can be used to apply these methods in water treatment practice. It describes new techniques for effective water treatment such as radiolysis, cavitation and advanced oxidation treatment techniques. It gives flow diagram of bottled water production depending on its origin and content of impurities which is used by the companies working in Gelendzhiksky district, Lipetsk and Kemerovo. The author analyzed the contemporary state of the issue of water treatment in food and beverages production companies based on the available information and assessed the technical level of water treatment systems. The article reveals that only companies which produce alcoholic drinks such as vodka, liquors, and beer use a number of water

treatment procedures which meet modern requirements. In general, food production companies face water treatment issue. Labor intensive, expensive and non-environmentally friendly water treatment methods are used everywhere. But they do not always guarantee required water quality. For that reason water treatment schemes in food industry should be revised. The author gives recommendations to replace traditional technologies with modern ones.

Keywords. Water treatment, food industry, membrane methods, adsorption, ion-exchange materials, advanced oxidation treatment techniques

For citation: Krasnova T.A. Water Treatment in Food Industry. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 1, pp. 15–30 (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-15-30.

Снабжение населения питьевой водой в достаточном количестве имеет важное социальное и санитарно-эпидемиологическое значение и относится к числу важнейших факторов охраны здоровья.

Несмотря на то, что вода не является собственно нутриентом, не обладает пищевой и энергетической ценностью, она принимает участие практически во всех жизненно важных процессах обмена: способствует пищеварению, служит растворителем для неорганических и органических соединений, удаляет из организма вредные продукты метаболизма, регулирует содержание солей в тканях и жидкостях, участвует во множестве других реакций метаболизма.

Макро- и микроэлементный состав воды может служить источником необходимых в рационе пищевых нутриентов. С другой стороны, содержание в воде некоторых химических элементов может оказывать токсическое действие на организм человека и регламентируется санитарными правилами и нормами.

На предприятиях пищевой промышленности в производстве продуктов питания в основном используется вода из системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. В ряде случаев к воде предъявляют дополнительные требования, связанные с особенностями технологий, качеством и назначением продукции [1].

Проблема использования воды в пищевой промышленности является одной из ключевых. Можно выделить три аспекта значения качественного и количественного состава химических компонентов в воде, используемой в технологических процессах пищевой промышленности. Первый аспект – возможность интоксикации потребителей продукции, произведенной на основе воды с повышенной концентрацией химических компонентов. Второй аспект – возможность химического взаимодействия между веществами, содержащимися в воде, и основными компонентами пищевых продуктов, что снижает качество и безопасность готовой продукции. Третий аспект – повышенное содержание химических компонентов в воде может изменять органолептические показатели продукции или ход технологических процессов.

Для воды, используемой в молочном производстве, требования устанавливаются по СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», но с ограничением по общей минерализации, содержанию железа, марганца, солей жесткости, фенола, галогенорганических соединений (табл. 1).

Солесодержание влияет на органолептические параметры и растворимость сухих веществ, величина pH определяет скорость протекания химических реакций, влияет на запах, привкус и внешний вид воды. Повышение жесткости воды способствует снижению скорости растворения сухих молочных продуктов, а в восстановленном продукте переработки молока – понижению устойчивости белковой фазы с повышением риска преждевременной коагуляции, а также термостойкости восстановленных продуктов. Предотвратить эти процессы можно умягчением воды [2, 3].

В производстве мясопродуктов повышение жесткости воды влияет на способность мышечных белков удерживать воду в процессе технологической обработки (варки), снижает потребительские свойства и выход продукта. По остальным показателям вода, используемая в мясной промышленности, должна соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 (табл. 2).

В производстве хлебобулочных изделий качество воды оказывает влияние на интенсивность брожения и органолептические свойства теста и готовых изделий. Для улучшения структурно-механических свойств полуфабрикатов и готовых изделий, увеличения выхода хлеба за счет повышения влажности теста и повышения безопасности хлеба необходимо воду системы хозяйственно-питьевого водоснабжения дополнительно подвергать очистке от железа, солей жесткости, хлорорганических соединений [4, 5].

Таблица 1 – Требования к качеству воды для восстановления сухого обезжиренного молока

Table 1 – Water quality requirements for powdered skimmed milk recombination

Показатель	Единица измерения	Норматив качества воды
Водородный показатель (pH)	ед·pH	6,00–8,00
Общая жесткость	моль/м^3	0,05–1,00
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм^3	10,00–500,00
Железо общее	мг/дм^3	не более 0,1
Медь, Cu^{2+}	мг/дм^3	не более 0,05

Таблица 2 – Требования к качеству воды

Table 2 – Water quality requirements

Показатель	Единица измерения	Согласно нормативным документам			
		СанПиН 2.1.4.1074-01	Вода для производства пива ТИ-10-5031536-73-90	Вода для производства безалкогольных напитков ТИ-10-5031536-73-90	Вода для производства водки ТИ-10-04-03-09-88
Мутность	мг/дм^3	1,5	1,0	1,0	1,5
Цветность	град	20	10	10	0
Запахи и привкусы при 20 °С	балл	2	0	0	0
Хлориды	мг/дм^3	350	100–150	100–150	25
Сульфаты	мг/дм^3	500	100–150	100–150	20
Водородный показатель	ед·pH	6–9	6,0–6,5	3–6	7,8
Общая жесткость	Ж (ммоль/дм^3)	7,0	2–4	0,7	1,0
Фтор	мг/дм^3	0,7–1,5	–	–	–
Железо	мг/дм^3	0,3	0,1	0,2	0,1
Марганец	мг/дм^3	0,1	0,1	0,1	0,1
Нитраты	мг/дм^3	45	10	10	40
Нитриты	мг/дм^3	3,0	0	следы	–
Мышьяк	мг/дм^3	0,05	–	–	–
Свинец	мг/дм^3	0,03	–	–	–
Селен	мг/дм^3	0,01	–	–	–
Ртуть	мг/дм^3	0,0005	–	–	–
Медь	мг/дм^3	1,0	0,5	1,0	0,1
Цинк	мг/дм^3	5,0	5,0	–	–
Фосфаты	мг/дм^3	3,5	–	–	0,1
Аммиак и ион аммония	мг/дм^3	2,0	следы	–	–
Сухой остаток	мг/дм^3	1000	500	500	100
Бериллий	мг/дм^3	0,0002	–	–	–
Кадмий	мг/дм^3	0,001	–	–	–
ПАВ	мг/дм^3	0,5	–	–	–
Щелочность	ммоль/дм^3	–	0,5–1,5	1,0	1,0
Активный хлор	мг/дм^3	0,3-0,5	–	–	–
Сероводород	мг/дм^3	0,003	следы	–	–
Алюминий	мг/дм^3	0,5	0,5	0,1	0,1
Барий	мг/дм^3	0,1	–	–	–
Силикаты (по Si)	мг/дм^3	10	2,0	2,0	3,0
Магний	мг/дм^3	–	следы	–	7
Окисляемость (ХПК)	мг O_2/дм^3	5	2	–	–
K, Na	мг/дм^3	–	–	–	15
Фенол	мг/дм^3	0,001	–	–	–
Галогенорганические соединения (ЛГС)	мкг/дм^3	60	–	–	–

В системе детского питания вода используется как для непосредственного потребления, являясь самостоятельным пищевым продуктом, так и в качестве компонента рецептуры пищевых продуктов [6]. В производстве продуктов детского питания используется вода только высшей категории качества (табл. 3).

Сравнительный анализ показателей качества питьевой воды СанПиН 2.1.4.1074-01 и воды для пищевых производств (табл. 1–4) показывает, что вода системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения нуждается в дополнительной очистке от солей жесткости (умягчение), железа (обезжелезивание), марганца (деманганация), минеральных солей (деминерализация) и органических соединений, а также в обеззараживании.

Для удаления солей жесткости на предприятиях пищевой промышленности в основном используется ионный обмен. Сущность процесса заключается в способности ионообменных смол (ионитов) обменивать содержащиеся в них ионы на эквивалентное количество ионов, присутствующих в растворе. Удаление солей жесткости осуществляется путем фильтрования воды через слой катионита КУ-2 (КБ-4) в натриевой форме. Процесс требует затрат ручного труда и большого расхода химических реагентов, также в результате промывки ионитов после регенерации образуются сточные воды. По мере эксплуатации физико-химические свойства ионитов ухудшаются за счет механического износа, деструкции полимерных материалов и «отравления» ионитов в результате необратимой сорбции органических веществ. В настоящее время разработаны сорбенты на основе минерального сырья – бентонитовых глин, модифицированных минеральными базальтовыми волокнами и парафином и обладающих удовлетворительной обменной емкостью [7].

Таблица 3 – Требования к воде высшей категории качества

Table 3 – Top-grade water quality requirements

Показатель	Единица измерения	СанПиН 2.1.4.1074-02, высшая категория
Мутность	мг/дм^3	0
Цветность	град	не более 5
Запахи и привкусы при 20 °С	балл	0
Хлориды	мг/дм^3	не более 150
Сульфаты	мг/дм^3	не более 150
Водородный показатель	ед·pH	6,5–8,5
Общая жесткость	Ж (ммоль/дм^3)	1,5–7
Фтор	мг/дм^3	не более 1
Железо	мг/дм^3	не более 0,3
Марганец	мг/дм^3	не более 0,05
Нитраты	мг/дм^3	не более 5
Нитриты	мг/дм^3	не более 0,005
Мышьяк	мг/дм^3	не более 0,006
Свинец	мг/дм^3	не более 0,005
Ртуть	мг/дм^3	не более 0,0002
Фосфаты	мг/дм^3	не более 3,5
Аммиак и ион аммония	мг/дм^3	не более 0,05
Сухой остаток	мг/дм^3	200–500
ПАВ	мг/дм^3	не более 0,05
Щелочность	ммоль/дм^3	0,5–6,5
Активный хлор	мг/дм^3	не более 0,1
Сероводород	мг/дм^3	не более 0,003
Алюминий	мг/дм^3	не более 0,1
Силикаты (по Si)	мг/дм^3	не более 10
Магний	мг/дм^3	5–50
Кальций	мг/дм^3	25–80
Нефтепродукты	мг/дм^3	не более 0,01
Хлороформ	мкг/дм^3	не более 1
Фенолы	мкг/дм^3	не более 0,5

Для умягчения воды также применяется магнитная обработка. Помимо предотвращения накипи она приводит к интенсификации процессов коагуляции и кристаллизации, ускорению растворения углекислого газа, кислорода и веществ, улучшению бактерицидного действия дезинфенктантов и обеззараживания воды. Обработанная вода биологически активна.

Однако для проявления этих эффектов необходимы определенные условия.

Для чистой воды подобные эффекты не наблюдаются. В общем случае изменение свойств воды после магнитной обработки возрастает с увеличением концентрации примесей в некоторых пределах. Большую роль играет характер примесей. Действие проявляется только в тех системах, где могут возникнуть Лоренцевы силы (диполи, ионы, заряженные коллоидные частицы и т. д.), т. е. при перемещении воды относительно поля. Для проявления эффекта в полной мере нужна оптимальная скорость потока. С увеличением скорости эффект увеличивается, затем падает. Необходимо также сравнительно большее время обработки. Наиболее сильно действует на воду низкочастотная обработка: единицы или десятки герц. Эффект обработки, в зависимости от напряженности поля, находится в полиэкстремальной зависимости и, во всяком случае, немонотонной [8].

Самопроизвольное возвращение водных систем после магнитной обработки в исходное состояние занимает от нескольких десятков минут до нескольких суток (по данным разных авторов). Увеличение температуры ускоряет процесс релаксации. Отсюда можно сделать вывод, что вызванные в системе изменения термодинамически неустойчивы, но процесс релаксации встречает значительные кинетические затруднения.

Механизм воздействия магнитного поля на воду и содержащиеся в ней примеси объясняют поляризационными явлениями и деформацией ионов солей, однако это пока окончательно не выяснено. Гидратация ионов при обработке уменьшается, ионы сближаются и образуют кристаллическую форму соли. В основу одной из теорий положено влияние магнитного поля на коллоидные примеси воды, в основу другой – изменение структуры воды. При наложении магнитного поля в массе воды формируются центры кристаллизации, вследствие чего выделение нерастворимых солей жесткости происходит не на теплопередающей поверхности (нагрева или охлаждения), а в объеме воды.

Таблица 4 – Требования к качеству воды для приготовления водок на экспорт (ТИ-10-04-03-07-90)

Table 4 – Water quality requirements for production of vodka for further export (TI-10-04-03-07-90)

Показатель	Для технологической воды с жесткостью, ммоль/дм^3					
	0,0–0,20	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	0,81–1,00	1,01–1,20
pH	7,0	7,0	7,0	6,5	6,5	6,5
Щелочность общая, ммоль/дм^3	2,0	1,5	1,0	0,6	0,4	0,2
Окисляемость, мг O_2/дм^3	6,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
Сухой остаток, мг/дм^3	250,0	225,0	200,0	150,0	125,0	100,0
Кальций, мг/дм^3	2,7	5,0	8,0	10,6	13,3	16,0
Магний, мг/дм^3	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8
Железо общее, мг/дм^3	0,15	0,12	0,10	0,06	0,04	0,02
Сульфаты, мг/дм^3	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0
Хлориды, мг/дм^3	30,0	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0
Силикаты (по Si), мг/дм^3	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	1,0
Гидрокарбонаты, мг/дм^3	125,0	95,0	65,0	40,0	25,0	12,0
Натрий, мг/дм^3	100,0	80,0	60,0	40,0	20,0	10,0
Марганец, Mn, мг/дм^3	0,10	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Алюминий, мг/дм^3	0,15	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Медь, мг/дм^3	0,15	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Фосфаты, мг/дм^3	0,10	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Остальные показатели должны соответствовать нормативным требованиям, предъявляемым к питьевой воде						

Представляет интерес теория, объясняющая механизм воздействия магнитного поля образованием под действием сил Лоренца пластинчатых доменов (аквацелл) – ориентированных молекул воды, стабилизированных ионами. Магнитное поле не «работает», а лишь провоцирует образование водных ассоциатов, т. е. играет роль спускового крючка. При образовании аквацелл энергия не поглощается, а выделяется. Их строение можно представить как сольватный слой коллоидных частиц, развернутый в плоскость или свернутый в сферу. После образования аквацеллы коагулируют, укрупняются, нейтрализуется стабилизирующий заряд на их поверхности, ориентированная структура водных ассоциатов становится неустойчивой, и постепенно аквацеллы разрушаются.

Из-за невысокой концентрации аквацелл такие свойства омагниченной воды, как вязкость, плотность, теплота испарения и т. п., практически не изменяются. В то же время содержащиеся в ней аквацеллы будут оказывать большое влияние на процессы, связанные с образованием новых фаз, адсорбцией, коагуляцией, а также в биологических системах.

В целом литературные сведения о механизме воздействия магнитного поля на диамагнитные жидкие системы довольно противоречивы. Термодинамические расчеты и опытные данные свидетельствуют об отсутствии влияния магнитного поля на физико-химические показатели водных растворов, в особенности дистиллированной воды. Однако имеются положительные результаты промышленного применения этого метода, в частности для предотвращения накипеобразования, для осветления воды после хлорирования (в этом случае скорость осаждения примесей увеличивается в 3–4 раза, а значит, требуются отстойники в 3–4 раза меньшей производительности), в медицине (установлено, что употребление внутрь омагниченной воды повышает проницаемость биологических мембран тканевых клеток, снижает количество холестерина в крови и печени, регулирует артериальное давление, повышает обмен веществ, способствует выделению мелких камней из почек) [9].

Сущность метода магнитной обработки при умягчении состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий мигрирующий тонкодисперсный осадок (шлам) образуется не на поверхности нагрева, а в массе воды, откуда и удаляется [10]. Экспериментально установлено, что скоагулированные до размеров 0,01–0,04 мкм за счет процессов ориентации ферромагнитные частицы намагничиваются и увеличиваются до размеров, позволяющих им исполнять роль центров кристаллизации. На этих центрах происходит кристаллизация ионов $CaCO_3$ из пересыщенных нестабильных растворов. При отсутствии пресыщения частицы ферромагнетиков, образованные при воздействии магнитного поля, недолговечны и распадаются в течение 5–6 с при выходе из магнитного поля. Ферромагнитные комплексы железа обычно присутствуют в воде в количестве 0,15–0,25 мг/г, чего уже достаточно для магнитной обработки воды. Данный метод эффективен при обработке воды кальциево-карбонатного класса, которая составляет порядка 80 % вод всех водоемов России и охватывает примерно 85 % ее территории. В сравнении с умягчением воды ионным обменом основными преимуществами магнитной обработки являются простота, дешевизна, безопасность, отсутствие реагентного хозяйства и сточных вод.

С целью умягчения воды применяют магнитные аппараты с постоянными стальными или ферритобариевыми магнитами и электромагнитами. Аппараты с постоянными магнитами удобны и дешевы, но напряженность поля в них невелика и нерегулируема. Более широкие возможности имеют аппараты с электромагнитами, позволяющие создавать магнитное поле с регулируемой напряженностью до 400 кА/м.

Основными параметрами аппаратов водообработки магнитным полем являются:

• напряженность магнитного поля в рабочем зазоре аппарата;

• продолжительность пребывания воды в активной зоне магнитного поля;

• градиент напряженности;

• кратность и периодичность воздействия поля на воду;

• скорость движения воды в аппарате.

При магнитной обработке на молекулы воды и примеси действует магнитное поле. Молекулы воды попадают в резонанс с разрушением кластерной структуры. Примеси освобождаются от водных кластеров и могут вступать во взаимодействие друг с другом. При этом уже в холодной воде ионы кальция начинают осаждаться на поверхности свободных примесей (в центрах кристаллизации), образуя так называемые микрокристаллы.

В работе [11] показана эффективность использования магнитной обработки воды в производстве сывороточных напитков.

Электромагнитные поля (ЭМП) оказывают на воду и водные системы комплексное воздействие, выражающееся в дроблении крупных ассоциатов молекул на более мелкие вплоть до мономолекул, измельчении кристаллов примесей, электрон-радикальной диссоциации воды с образованием гидроперекиси водорода.

В настоящее время в России выпускают два типа аппаратов для магнитной обработки воды – с постоянными магнитами и электромагнитами. Продолжительность пребывания воды в аппарате определяется ее скоростью в пределах 1–3 м/с.

Зарубежные и отечественные аппараты для обработки воды электромагнитными волнами в диапазоне звуковых частот имеют существенные преимущества перед аппаратами для магнитной обработки воды. Их отличают небольшие габариты, простота монтажа и обслуживания, экологическая безопасность, низкие эксплуатационные расходы. Значительно расширен диапазон условий их

применения, в первую очередь для воды с высокой жесткостью, отсутствуют высокие требования по общему содержанию солей, устранен эффект «привыкания» воды. Кроме того, обработанная питьевая вода сохраняет кальций и магний, которые необходимы нашему организму.

Таким образом, устройства данного типа можно использовать не только для защиты теплообменного оборудования, систем горячего водоснабжения и пр., но и для систем очистки и коммуникаций питьевой воды. Еще одно преимущество этих аппаратов – разрушение сформировавшихся ранее отложений солей жесткости в течение 1–3 месяцев.

В России используются поставляемые из-за рубежа аппараты «Water King» (фирма «Lifescience Products LTD», Великобритания), «Aqua» (фирма «Trebema», Швеция), а также аппараты отечественного производства серии «Термит» (предприятие «Экосервис Технохим»).

Для очистки воды от железа и марганца используют каталитическое окисление с последующей фильтрацией. Суть метода заключается в том, что реакция окисления железа происходит на поверхности гранул специальной фильтрующей среды, обладающей свойствами катализатора (ускорителя химической реакции окисления). Наибольшее распространение в современной водоподготовке нашли фильтрующие среды на основе диоксида марганца (MnO_2). Birm, Greensand, Filox, Pyroiox и др. Эти фильтрующие «засыпки» отличаются между собой как своими физическими характеристиками, так и содержанием диоксида марганца, и поэтому эффективно работают в разных диапазонах значений параметров, характеризующих воду. Однако принцип их работы одинаков. Железо и – в меньшей степени – марганец в присутствии диоксида марганца быстро окисляются и оседают на поверхности гранул фильтрующей среды. Впоследствии большая часть окисленного железа вымывается в дренаж при обратной промывке. Таким образом, слой гранулированного катализатора является одновременно и фильтрующей средой. При его регенерации происходит одновременное истирание поверхности частиц и удаление накопленных загрязнений, но так как каталитический слой располагается по всему объему зерна, то это не приводит к ухудшению его свойств [9]. При эксплуатации зернистых загрузок происходит их интенсивное истирание, вследствие чего уменьшается количество материала в фильтре, поэтому его периодически необходимо подсыпать, что не всегда возможно с точки зрения технологии, к тому же постоянный унос частиц сорбента приводит к выходу из строя дренажных систем и приборов автоматики. Еще одним недостатком зернистых фильтрующих сред является их небольшая динамическая сорбционная емкость (до 0,8 г/л), т. е. окисленные коллоидные соединения железа и марганца могут проникать со временем по каналам, образованным зернами загрузки. Для обеспечения скоростей фильтрования на уровне 10–12 м/ч необходимо обеспечить высоту зернистой каталитической загрузки не менее 0,75 м.

Наиболее эффективное решение для удаления марганца и железа – использование нового фильтрационного материала Baufilter, который по своим свойствам замещает кварцевые пески, цеолиты, марганцевые руды и их комбинации (Birm, Greensand, ОДМ-2Ф, Сорбент АС, МС).

Baufilter – высокопрочный, пористый фильтровальный материал, состоящий на 89 % из природных форм диоксида кремния, обладающий высокой стойкостью к истиранию и измельчению в процессе фильтрования. Отличается высокой эффективностью, экономичностью, простотой обслуживания систем, огромной грязеемкостью. Благодаря сферической форме значительно увеличивает пропускную способность систем фильтрации, что уменьшает давление в системе при фильтрации через Baufilter, позволяет уменьшить нагрузку на узлы и агрегаты системы фильтрации, увеличить ресурс оборудования и производительность на 31 %. Обладает уникальными свойствами самостоятельной регенерации при обратных промывках за счет многослойной накатки основного материала с размером слоев не более 60 мк. Эффективно образует внутри фильтров активную коллоидную среду. За счет пористой структуры всегда сохраняет активность сорбции даже при продолжительном использовании материала. Каталитически активные компоненты, входящие в структуру гранулы сорбента, обеспечивают эффективную работу даже при разломе и истирании поверхности материала. Baufilter доказал свою эффективность при очистке воды в Севастополе, Санкт-Петербурге, Тайге (Кемеровская область).

Другим перспективным направлением является использование фильтровально-сорбционных материалов, представляющих комбинацию базальтовых волокон и активированных бентонитовых глин [12]. Повышение сорбционной емкости фильтровально-сорбционного материала обусловлено использованием базальтовых волокон с развитой структурой, высокой удельной поверхностью и наличием прочного сцепления бентонитовой глины с базальтовыми волокнами. Высокая скорость и полнота реакции ионного обмена на поверхности предлагаемого фильтровально-сорбционного материала достигается за счет применения бентонитовой глины с содержанием монтмориллонита не менее 80 %, подвергнутой предварительной содовой активации. Большое содержание монтмориллонита обусловливает высокую ионообменную способность бентонитовой глины. Содовая активация приводит к увеличению активной поверхности монтмориллонита и скорости реакции ионного обмена, что позволяет проводить процесс очистки при высоких скоростях, при этом уменьшается склеивание частиц минерала и сольватные оболочки извлекаемых ионов тяжелых металлов хорошо удерживаются на его поверхности, обеспечивая высокий эффект очистки

даже при низких концентрациях загрязняющих веществ в сточных водах.

Фильтровально-сорбционный материал Бентосорб-20 использован в системе очистки на предприятии ООО «Алтайский кондитер» и показал высокую степень очистки от марганца и железа [13].

Для снижения общего солесодержания (деминерализации) на предприятиях пищевой промышленности используют ионный обмен и мембранные методы (чаще всего обратный осмос).

Деминерализацию воды с помощью ионного обмена осуществляют путем последовательной обработки воды на катионитовом и анионитовом фильтрах. В начале процесса деминерализации первые порции обессоленной воды сливают в сборник и используют для промывки ионитов.

В загруженной катионитом колонке КУ-2-8чС, через которую проходит фильтрация воды сверху вниз, происходит обмен всех присутствующих в воде катионов на ионы водорода.

Из нижней части катионитовой колонны вода поступает на верх анионитовой колонны, заполненной анионитом АВ-17-8чС, где происходит обмен анионов сильных кислот (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-) на гидроксильные ионы (OH^-) при регенерации анионита каустической содой или на ионы CO_3^{2-} при регенерации кальцинированной содой.

Деминерализованную воду, выходящую из нижней части анионитовой колонны, собирают в сборник обессоленной воды. После истощения обменной емкости фильтров их подвергают регенерации. При этом образуются кислые сточные воды, которые сбрасывают в канализацию.

Мембранные методы очистки.

Сама идея мембранного разделения смесей заимствована у природы, которая за миллионы лет эволюции живых организмов создала наиболее универсальный и совершенный метод транспорта и разделения с помощью полупроницаемых мембран. Современные мембранные методы подразделяются на электромембранные (электродиализ с ионообменными мембранами, электроионирование) и баромембранные (обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация). Оба процесса основываются на внешней движущей силе для поддержания непрерывного процесса разделения. В электромембранных процессах в качестве движущей силы используется градиент электрического потенциала, в баромембранных – гидравлическое давление. Разделение смесей мембранными методами, в отличие от других широко применяемых в практике методов, проводится без фазовых превращений и обычно при температуре окружающей среды. Применяемая в мембранных методах аппаратура проще, компактнее, дешевле, а сам процесс более экономичен, менее энергоемок по сравнению с другими, практически безреагентен, позволяет создать замкнутые автоматизированные циклы производств, возвратить в производство обессоленную воду и ценные компоненты стоков. Установлено, что мембранные методы – самые экологичные из всех методов разделения смесей.

Обратный осмос – процесс мембранного разделения, состоящий в преимущественном проникновении через полупроницаемую мембрану растворителя под действием давления, превышающего осмотическое давление раствора. В основе метода лежит явление осмоса – самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую перегородку в раствор. К обратному осмосу относятся процессы, в которых мембрана задерживает частицы эффективным диаметром 0,1–1 нм. Мембраны для обратного осмоса пропускают растворитель, но задерживают на своей поверхности молекулы и ионы растворенных веществ, поэтому могут быть использованы лишь в процессах опреснения и обессоливания. Давление, необходимое для проведения процесса обратного осмоса, составляет 3–10 МПа.

В процессе обратного осмоса вода и растворенные в ней вещества разделяются на молекулярном уровне. При этом с одной стороны мембраны накапливается практически идеально чистая вода, а все загрязнения остаются по другую ее сторону. Таким образом, обратный осмос обеспечивает гораздо более высокую степень очистки, чем большинство традиционных методов фильтрации, основанных на удалении механических частиц и адсорбции ряда веществ с помощью активного угля.

Эффективность обратноосмотических мембран в основном характеризуется производительностью Q и селективностью φ.

Высокими рабочими характеристиками обладают мембраны, изготовленные из ацетилцеллюлозы, ацетона и раствора перхлората магния, полиамидов, ароматических полисульфонов.

В современные обратноосмотические установки входит система опреснительных аппаратов, схемы совместной работы которых выбираются в зависимости от качества исходной воды, конструкции аппаратов и стоимости электроэнергии.

Отечественной промышленностью выпускаются установки «Енисей» (группы компаний «Национальные водные ресурсы»), группы «Техмаш» (Екатеринбург), водоподготовительные комплексы «КОВМ» (Майкоп) и «Аква» (Москва). Комплексы полностью адаптированы к отечественным условиям водоснабжения и по алгоритмам управления, степени автоматизации, функциональным возможностям, применяемым материалам и технологиям сопоставимы с лучшими зарубежными образцами [14].

К настоящему времени тамбовский завод «Комсомолец», ЗАО «Мембраны» и ряд других предприятий организовали производство отечественных комплектных систем водоподготовки для ликероводочной и других отраслей пищевой промышленности, соответствующих современному мировому уровню. Аналогичного назначения установки «Шарья-П» выпускаются НПП «Биотехпрогресс» (г. Кириши). Основными недостатками эксплуатации обратноосмотических установок являются повышенные требования к качеству

исходной воды и необходимость регенерации мембран. В зависимости от качества исходной воды и режима эксплуатации установок регенерацию проводят 1–6 раз в год 1–2 % растворами органических кислот.

В последние годы на предприятиях пищевой промышленности для получения высокочистой воды начали использовать электродиализ [15].

В основе электромембранных процессов лежит электродиализ – перенос ионов через мембрану под действием электрического поля, приложенного к мембране. Современные теоретические представления о механизме электродиализа базируются на принципах термодинамики необратимых процессов. Электродиализ является сложным процессом, в котором сочетаются явления электролиза, диализа и электроосмоса. Он основан на способности ионообменных мембран избирательно пропускать катионы и анионы. Указанное свойство ионообменных мембран объясняется тем, что в области разбавленных растворов высокая концентрация фиксированных ионов в ионообменных мембранах препятствует проникновению из раствора в мембрану ионов, заряженных одноименно с фиксированными. Поэтому в разбавленных растворах ионообменные мембраны проницаемы только для противоионов. Ионообменные мембраны представляют собой ионообменный материал, имеющий форму гибких листов и пластин. Гетерогенные мембраны – это композиция тонкодисперсного порошка ионита с пластичным полимером. Ионит и полимер образуют две непрерывные фазы. Роль полимера сводится к фиксации частиц, которые обеспечивают однополярную проводимость системы.

По виду переносимых ионов различают следующие виды мембран. Катионитовые мембраны содержат отрицательно заряженные фиксированные группы, и поэтому ток через эти мембраны переносится преимущественно катионами. Анионитовые мембраны имеют положительно заряженные фиксированные группы и пропускают предпочтительно анионы. Универсальные мембраны проницаемы для ионов одного знака заряда независимо от его величины. В зарядселективных мембранах ток переносится преимущественно ионами определенного знака и определенной величины заряда.

Биполярные мембраны состоят из двух слоев – катионитового (К) и анионитового (А). Иногда между ними помещают третий слой, который играет роль катализатора реакции диссоциации воды. Если эти мембраны включать так, чтобы ток был направлен от анионитового слоя к катионитовому (А→К), то их можно использовать в качестве генераторов ионов водорода и гидроксида. Через полубиполярные мембраны ток переносится в основном тремя видами ионов: противоионами основной мембраны (катионо- или анионообменной) и ионами водорода и гидроксила, генерируемыми на границе раздела основной мембраны и модифицирующего слоя.

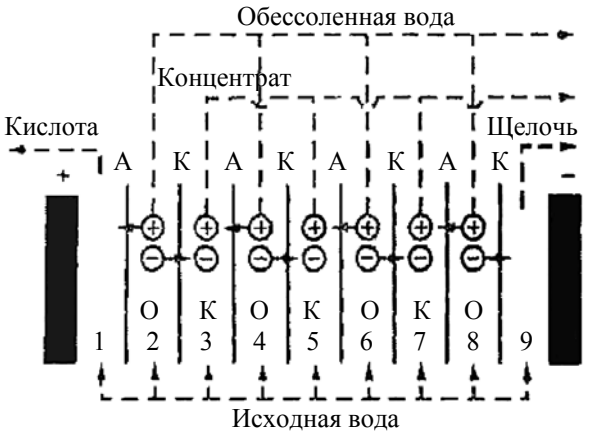

Рисунок 1 – Схема многокамерного электродиализатора с катионо- (К) и анионообменными (А) мембранами

Figure 1 – Scheme of multi-chamber electrodialyzer with cation-exchange (K) and anion-exchange (A) membranes

По типу фиксированных ионов различают следующие монополярные мембраны (в скобках указана природа фиксированного иона): сильнокислотные ($-SO_3^-$); слабокислотные (-COOH, -OH, $-H_2PO_4$); сильноосновные $\equiv N^+$; слабоосновные $-NH_3^+$, $=NH_2^+$ и др.; амфотерные (содержат кислотные и основные группы различной силы).

Отечественной промышленностью освоен выпуск мембран: МК-40, МК-40Л, МК-41, МК-42, МНК, МК-100М, МА-40, МА-41, МА-41Л, МБ-1, МБ-2, МБ-3, МБ-4.

Сущность обработки растворов электродиализом в многокамерном аппарате заключается в том, что под действием электрического поля катионы и анионы электролита мигрируют, соответственно, через катионо- и анионообменные мембраны по направлению к катоду и аноду (рис. 1). Перенос электролитов осуществляется из четных камер в нечетные. Миграции катионов из нечетных камер в четные препятствуют анионитовые, а миграции анионов – катионитовые мембраны. Таким образом, в четных камерах происходит деминерализация раствора, в нечетных – его концентрирование. В результате исходный раствор можно разделить на два потока – обессоленный (дилюат) и концентрированный (рассол). В электродных камерах будет происходить разряд соответствующих ионов, при этом в катодной камере раствор подщелачивается, в анодной – подкисляется. Эффективность электродиализа зависит от свойств применяемых мембран. Мембраны должны обладать малой скоростью свободной диффузии, низкой осмотической проницаемостью при высокой ионной селективности и высокой электрической проводимости.

Вода, подаваемая на электродиализ, должна соответствовать определенным требованиям, обусловленным тем, что многие вещества, для которых ионообменные мембраны непроницаемы, осаждаются в камерах аппарата, увеличивая их электрическое и гидродинамическое сопротивление. «Отравление» ионообменных мембран производится чаще всего веществами, находящимися в кол-

лоидном состоянии, и веществами, имеющими малую подвижность в фазе ионита [16]. В связи с этим большинство исследователей считают, что основной задачей подготовки воды перед электродиализом является возможно полное удаление этих примесей. При эксплуатации электродиализных опреснительных установок рекомендуется поддерживать следующий состав воды, подаваемой в электродиализатор: окисляемость, мг O_2/дм^3: 3–5; содержание взвешенных веществ, мг/дм^3: 1–2; содержание железа и марганца (суммарное), мг/дм^3: 0,05.

Технология подготовки воды перед электродиализом должна рассматриваться в каждом конкретном случае отдельно. На практике наибольшее распространение получила схема, включающая хлорирование воды, коагуляцию (с последующим отстаиванием и фильтрацией) и ионный обмен.

При электродиализе возможно образование осадков в камерах. Чаще всего осадок образуется в камере концентрирования, так как именно здесь, в «принимающих» слоях около мембран, достигается максимальная концентрация ионов, образующих труднорастворимые соединения. Для борьбы с образованием осадков в камерах электродиализаторов наиболее часто применяют подкисление рассола, реверс тока, ионообменное умягчение опресняемой воды, изъятие дефектных рамок, периодическую разборку аппарата с чисткой и заменой мембран, интенсивную рециркуляцию раствора.

В настоящее время налажено производство электродиализных аппаратов различной производительности, предназначенных для получения высококачественной воды: серия LX-X («Центр водных технологий», Москва), ЭДС-0,5 (ИНХ СО РАН, Новосибирск), ЭДУ (ОАО «Тамбовмаш», Тамбов).

Для пищевой промышленности центром «Мембранные технологии» при КубГУ г. Краснодар освоен выпуск электромембранных комплексов ЭМК-01, ЭМК-05, ЭМК-1, включающих электродиализные аппараты (табл. 5).

Таблица 5 – Основные технико-экономические характеристики электромембранных комплексов

Table 5 – Main technical and economic characteristics of electromembrane complexes

Марка установки	ЭМК-01	ЭМК-05	ЭМК-1
Производительность по деионизованной воде, л/ч, не менее	100	500	1000
Потребление воды, л/ч, не более	120	600	1200
Занимаемая площадь, кв. м	0,7	2,0	4,0
Потребляемая мощность, кВт	0,3	1,0	2,0
Стоимость, у. е.	4000	8000	10 000

Состав установок:

• Блок предподготовки исходной воды: аппарат для электрохимического умягчения воды с нерастворимыми электродами, ионообменными мембранами и насадкой ионообменного материала в псевдоожиженном состоянии.

• Блок электромембранной очистки и кондиционирования воды: электродиализаторы с ионообменными гранулами в камерах обессоливания толщиной в одно зерно и электродиализаторы с профилированными мембранами.

• Блок контроля и автоматики.

Основные технические показатели установок:

• Производительность: 20, 50, 100, 500, 1000, 10 000 л/час.

• Электропитание: однофазное – 220 В.

• Удельные энергозатраты: не более 3 кВт · ч/м.

• Режим работы: непрерывный.

• Исходная вода – водопроводная:

– химические показатели: согласно ГОСТ-2761-84;

– сетевое давление: 1–2 атм;

– оптимальная температура: 15–35 °С;

– диапазон обессоливаемых растворов: от 1000 до 0,1 мг/дм^3.

• Расход воды на собственные нужды: не более 25 %.

• Потребление химических реагентов: нет.

• Готовый продукт: вода деионизованная.

Дополнительно поставляемое оборудование:

• Буферная емкость с водоподогревателем и насосом необходимой производительности.

• Накопительная емкость с системой транспортирования и раздачи деионизованной воды.

• Блок стерилизующей фильтрации (для медицинских и фармацевтических производств).

• Электрические преобразователи для адаптации к любому стандарту электроснабжения (трехфазное напряжение, однофазное напряжение 127/220 В, частота 50/60 Гц, постоянное напряжение 24/27 В, напряжение с высоким уровнем пульсаций).

Получаемая вода соответствует нормативному документу: РД «Производственно-технологический регламент на производство водок и ЛВИ» ТР 10-04-03-09-88, 1990, Ч. 1.

Установки внедрены на ряде ликеро-водочных предприятий Краснодарского края.

Очистка от органических примесей.

Природная вода, как правило, содержит фенол. Взаимодействуя с хлором при первичном хлорировании воды, он частично превращается в хлорфенол. В летний период за счет распада высшей растительности и отмирания планктона, особенно низших водорослей и лучистых грибков, в поверхностных водоемах появляется хлороформ. Более того, хлороформ и другие галогенсодержащие органические соединения образуются в процессе водоподготовки на стадии хлорирования при взаимодействии хлора с гумусовыми веществами. Побочные продукты обработки природной воды хлорагентами помимо токсичного и канцерогенного действия могут взаимодействовать с основными компонентами

пищевых продуктов, снижая их безопасность и качество. Вода, содержащая органические контаминанты, не может быть использована для питьевых целей и в производстве продуктов питания без дополнительной очистки.

На предприятиях пищевой промышленности для глубокой очистки воды используют в основном обратноосмотические установки. Однако следует отметить, что фенол недостаточно хорошо (до 65 %) задерживается даже высокоселективными обратноосмотическими мембранами из-за растворения и диффузии в полимерной матрице [17]. Также плохо удаляется хлороформ, а дихлорметан практически не удаляется [18].

Наиболее эффективным методом очистки водных растворов с низким содержанием органических веществ является адсорбция.

Метод адсорбции базируется на физических свойствах некоторых твердых тел с ультрамикроскопической структурой селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты газовой смеси.

В общем случае причина адсорбции – нескомпенсированность межмолекулярных сил вблизи этой поверхности, т. е. наличие адсорбционного силового поля. Тело, создающее такое поле, называется адсорбентом, вещество, молекулы которого могут адсорбироваться, – адсорбтивом, уже адсорбированное вещество – адсорбатом. Процесс обратной адсорбции называется десорбцией.

Природа адсорбционных сил может быть весьма различной. Если это Вандерваальсовы силы, то адсорбция называется физической, если валентные (т. е. адсорбция сопровождается образованием поверхностных химических соединений) – химической или хемосорбцией. Отличительные черты хемосорбции – необратимость, высокие тепловые эффекты (сотни кДж/моль), активированный характер. Между физической и химической адсорбцией существует множество промежуточных случаев (например, адсорбция, обусловленная образованием водородных связей). Возможны также различные типы физической адсорбции: наиболее универсально проявление дисперсионных межмолекулярных сил притяжения, т. к. они приблизительно постоянны для адсорбентов с поверхностью любой химической природы (так называемая неспецифическая адсорбция). Физическая адсорбция может быть вызвана электростатическими силами (взаимодействие между ионами, диполями или квадруполями). При этом адсорбция определяется химической природой молекул адсорбтива (так называемая специфическая адсорбция). Значительную роль при адсорбции играет геометрия поверхности раздела: в случае плоской поверхности говорят об адсорбции на открытой поверхности, при слабо или сильно искривленной поверхности – об адсорбции в порах адсорбента.

Адсорбция зависит от особенностей строения молекул растворенного вещества, таких как длина цепи, структура кольца, расположение и природа заместителей ароматического кольца, наличие полярных групп, физическое состояние молекул в растворе.

Одним из определяющих факторов адсорбции органических веществ является растворимость, которая связана с природой органического соединения, размерами и конфигурацией молекул и наличием функциональных групп, способных образовывать водородные связи. Чем больше величина растворимости, тем меньше снижение мольной свободной энергии по абсолютному значению и тем более низкой величины адсорбции следует ожидать.

Растворитель влияет на процесс адсорбции в трех направлениях, связанных с его взаимодействием: с растворенным веществом в растворе, с адсорбентом и адсорбатом. Изучение структуры растворителя позволяет получить информацию, которая помогает интерпретировать данные, полученные при исследовании процесса адсорбции.

При увеличении температуры раствора наблюдается наложение двух факторов: экзотермичности процесса адсорбции и изменения растворимости избирательно адсорбирующегося компонента. Отмечается, что эффект изменения адсорбции вследствие изменения растворимости вещества является доминирующим по сравнению с эффектом, обусловленным экзотермическим характером адсорбции.

Природа адсорбента определяет пористую структуру и состав функциональных групп на поверхности адсорбента, что, в свою очередь, оказывает влияние на тип взаимодействия между извлекаемым веществом и адсорбентом (табл. 6, 7) [19].

Таблица 6 – Параметры пористой структуры промышленных углей

Table 6 – Parameters of the industrial-grade activated carbons pore structure

Образец	$S_{микро}$, $м^2/г$	V_S, $см^3/г$	$V_{микро}$, $см^3/г$	$V_{мезо}$, $см^3/г$
СКД-515	404	0,561	0,359	0,202
АГ-ОВ-1	369	0,459	0,218	0,241
БАУ	586	0,455	0,352	0,103
АГ-3	490	0,34	0,27	0,06
АБГ	–	0,260	0,020	0,240
КсАУ	1418,7	0,73	0,62	0,11
Пуролат-Стандарт	–	0,07	0,07	–
КАД-йодный	580	0,38	0,29	0,09
АГ-5	554	0,60	0,46	0,14

Таблица 7 – Состояние поверхности активных углей

Table 7 – Activated carbons surface condition

АУ	Количество кислородсодержащих групп, ммоль-экв/г			
	-ОН фенольный	$-COOH_{сильн}$ карбоксильный	-СОО- лактонный	>С = О
СКД-515	0,181	–	0,157	2,13
АГ-ОВ-1	0,213	0,032	0,078	2,08
АГ-3	0,321	0,035	0,039	
АБГ	0,130	0,020	0,040	3,70
КсАУ	0,194	0,090	0,060	
Пуролат-Стандарт	0,218	–	0,022	0,63
АГ-5	0,172	0,03	0,156	2,07

Таблица 8 – Параметры адсорбции органических веществ из водных растворов наиболее часто используемыми в практике активными углями

Table 8 – Adsorption parameters of organic substances from aqueous solutions with activated carbons frequently used in practice

Марка угля	Тип уравнения							
	Фрейндлиха		Ленгмюра	БЭТ		Дубинина – Радушкевича		
	1/n	b, ммоль/г	a_m, ммоль/г	a_m, ммоль/г	-Q, кДж/моль	a_m, ммоль/г	E_0, кДж/ ммоль	W, $дм^3$/кг
хлороформ								
АГ-ОВ-1	–	–	–	–	–	6,5	10,1	0,1892
СКД-515	0,67	2,27	6,26	5,53	8,77	7,2	10,1	0,2475
АГ-3	0,39	2,63	5,27	4,6	10,13	6,8	10,0	0,1129
БАУ	–	–	–	–	–	8,0	10,4	0,3218
фенол								
АГ-ОВ-1	–	–	3,06	2,5	14,9	3,5	14,8	0,31
СКД-515	–	–	2,75	2,689	15,55	3,822	13,73	0,356
АГ-3	–	–	1,69	2,5	13,1	2,7	15,2	0,25
БАУ	–	–	3,48	3,46	13,046	4,614	12,896	0,477
хлорфенол								
АГ-ОВ-1	1,046	1,037	6,15	5,85	11,93	12,5	9,47	0,5038
СКД-515	0,372	1,346	5,25	4,77	10,48	4,254	14,24	0,4428
АГ-3	0,686	1,603	5,93	6,15	11,98	8,49	11,79	0,5153
БАУ	0,714	1,617	7,41	7,07	11,84	8,84	12,46	0,6766

Важной характеристикой любого адсорбента является его емкость. Емкость адсорбента характеризует количество примесей, которые могут быть удалены из воды одним литром или килограммом сорбента (табл. 8).

Установлено, что максимальная адсорбция органических веществ из водных растворов активными углями изменяется в следующей последовательности [20, 21]: хлороформа – СКД-515 > АГ-3 > АГ-ОВ-1 > БАУ; фенола – БАУ > СКД-515> АГ-ОВ-1> АГ-3; хлорфенола – БАУ > АГ-ОВ-1 ≥ АГ-3 > СКД-515.

Сорбенты используются для удаления органических веществ, хлора, корректировки вкуса, запаха. В водоподготовке чаще всего используется гранулированный активный уголь, представляющий собой гранулы угля различного происхождения (антрацита, угля, полученного из скорлупы кокосовых орехов, древесины и т. д.), обработанного горячим водяным паром в специальных условиях для создания развитой системы пор.

Исследования последних лет показывают, что традиционные сорбенты могут быть заменены (например, для очистки воды от фенолов) на полученные из природного сырья и отходов производств.

В частности, известны материалы на основе древесных опилок, отходов переработки гречихи, подсолнечника, риса и др. Использование их является весьма перспективным, поскольку при этом одновременно решаются две задачи: очистка воды и утилизация объемных отходов [22].

Важнейшей стадией процесса сорбционной очистки является регенерация сорбентов. Адсорбированные вещества извлекают десорбцией насыщенным и перегретым паром либо нагретым инертным газом. Регенерацию можно осуществлять растворами оснований, кислот, полярных растворителей в зависимости от характера сорбированных молекул.

Достоинствами этого метода являются возможность адсорбции веществ многокомпонентных систем и рекуперации этих веществ, высокая эффективность очистки (80–90 %), возможность многократного использования сорбентов. Недостатки – эффективен для очистки лишь малоконцентрированных растворов (до 1 г/$дм^3$).

Для обеззараживания воды в пищевой промышленности используют хлорирование и УФ-облучение. Сегодня внедряются в практику водоподготовки более современные методы.

Радиолиз.

Радиолиз предполагает воздействие на воду электронов с высокой энергией (300–500 кЭв). Под

действием ионизирующего излучения в воде происходит радиолиз, в результате образуются электроны, ионы или нейтральные частицы, имеющие неспаренный электрон (свободные радикалы), атомы водорода, которые обладают высокой химической активностью и быстро вступают в химические реакции. Радикалы ̇OH инициируют окислительное разложение загрязняющих веществ, а гидратированные ē и H – восстановительное разложение. Особенность химических реакций под действием излучения состоит в том, что химическое взаимодействие заменяется взаимодействием молекул с валентноненасыщенными частицами (атомами, радикалами, ионами) и этих частиц между собой. Это существенно ускоряет протекание химических реакций, которые определяют процессы очистки от загрязнений. Для радиационно-химических процессов характерны высокие скорости. Эти процессы могут происходить при более низких температурах, когда аналогичные обычные реакции не идут. Другим важным преимуществом радиационной технологии является универсальность воздействия ионизирующего излучения практически на любые компоненты, которых в реальных водах достаточно много. Ионизирующее излучение оказывает комплексное действие на обрабатываемую воду: одновременно с разложением органических и неорганических загрязнений ускоряются седиментация и коагуляция, устраняются цветность и запах, снижаются величины химического и биологического потребления кислорода. Кроме того, ионизирующее излучение обладает стерилизующим действием. Радиационная обработка, как правило, приводит не только к разложению загрязняющих веществ, но и к обеззараживанию облучаемой воды [9].

Исследования на природной воде показали, что при дозе порядка 0,1 Мрад происходит обесцвечивание, дезодорация и обеззараживание питьевой воды, полное устранение запаха и значительное уменьшение вирусных интоксикаций в воде до регламентируемого уровня.

Кавитация.

Кавитация (от лат. *cavitas* – пустота) – образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении ее скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация). Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну. Для кавитационного явления нужна поверхность образования кавитационных «пузырей». Этой поверхностью являются нечистоты на стенках водосборника и примеси, содержащиеся в жидкости, при этом скорость водного потока должна быть более 20–25 м/с. На развитие и интенсивность кавитации большое влияние оказывают внешние условия и свойства жидкости. При кавитации в дегазированной жидкости в кавитационные пузырьки поступает меньшее количество воздуха, чем в отстоявшейся, что приводит к уменьшению демпфирующего эффекта парогазовой смеси в пузырьке при его смыкании и возрастании давления в ударной волне. Дегазация жидкости приводит к уменьшению области кавитации с одновременным увеличением интенсивности ударной волны, создаваемой кавитационными пузырьками. При повышении температуры давление внутри пузырька, определенное давлением пара и газа, увеличивается и ударная волна ослабляется, что приводит к росту кавитационной области. Увеличение гидростатического давления вызывает уменьшение времени захлопывания пузырька и увеличение интенсивности ударных волн. Модель физико-химических процессов, происходящих в кавитационном пузырьке и прилегающем к нему объеме жидкости, представляют в следующем виде. В кавитационную полость могут проникать пары воды, растворенные газы, а также вещества с высокой упругостью пара, и не могут проникать ионы или молекулы нелетучих растворенных веществ. Выделяющейся в процессе схлопывания пузырька энергии достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной полости. На этой стадии любой из присутствующих газов является активным компонентом, участвуя в передаче энергии возбуждения, перезарядке и других процессах.

Кавитацию можно отнести к безреагентным методам обработки воды. Перспективным представляется использование кавитации для обеззараживания воды. На эффективность кавитации не влияет ни мутность, ни солевой состав воды, ни цветность. При кавитационном воздействии разрушаются коллоиды и частицы, внутри которых могут содержаться бактерии. Тем самым болезнетворные организмы лишаются защиты перед другими химическими и физическими воздействиями. Бактерицидное действие кавитации прямо пропорционально ее интенсивности, скорости потока и числу ступеней возбудителей кавитации. При оценке экономических затрат различных методов обеззараживания, путем сравнения условной единицы объема питьевой воды, кавитация оказывается самым дешевым способом. Затраты на кавитационную стерилизацию равны 162 у. е., УФ-обработку – 261 у. е., хлорирование – 482 у. е., озонирование – 1600 у. е.

Кавитация способна не только убивать микробы. Она способна дробить и крупные молекулы органики, поскольку именно они являются центрами образования кавитационных пузырьков и точно так же, как и микробы, являются центрами «схлопывания» кавитационных пузырьков. По размеру микробы и крупные молекулы органики очень похожи, особенно размеры молекул тяжелых нефтепродуктов.

Кавитационная обработка использована в исследовании по подготовке воды для восстановления сухого молока [11].

Адвансированные технологии.

Повышенные требования к качеству питьевой воды и постоянно растущее техногенное загрязнение как поверхностных, так и подземных источников требует использования новых технологий водоподготовки, позволяющих существенно повысить качество очистки воды и при этом не вносить в воду дополнительного загрязнения, вызванного добавлением химических реагентов [23].

Перспективным направлением в системах водоочистки является применение адвансированных окислительных технологий (АОТ), которые представляют совокупность методов, позволяющих производить естественные окислители (в первую очередь гидроксильные радикалы) в объеме или на поверхности воды, участвующие в удалении примесей в процессах очистки и обеззараживания воды. Как показывают исследования, в процессе многофакторной обработки суммарная эффективность воздействия на воду получается выше, чем при воздействии каждым из факторов в отдельности, т. е. проявляется синергический эффект. По мнению независимых экспертов, среди новых технологий по обработке и обеззараживанию воды наиболее перспективными являются окислительные фотохимические технологии – Advanced Oxidation Processes (AOP). AOP включают методы одновременного воздействия УФ-излучения и естественных для природной среды окислителей (озона, перекиси водорода и др.), а также применение импульсного электрического разряда в многофазной среде. Развитием окислительных методов стали методы «усиленного окисления». Их общими чертами являются использование эффекта одновременного воздействия окислителя и катализатора, окислителя и действующего «актиничного» света, а также совместное действие окислителя, катализатора и света. Это приводит к так называемому «синергическому» или мультипликативному эффекту, когда действие различных агентов не складывается, а умножается. Результатом является многократное (в тысячи и более раз) ускорение реакции деструкции и принципиальное уменьшение селективности.

К адвансированным окислительным технологиям относят:

1. H_2O_2 + УФ – технология PEROX PURE (80 установок в США и Европе);
2. УФ + O_3 + катализаторы;
3. УФ + O_3 + H_2O_2 – технология UL TROX (30 установок в США);
4. Электроразрядные технологии (более 70 установок в России);
5. Ультразвук + УФ – технология CAVOX.

Эти технологии применимы для обезжелезивания, деманганации, деструкции органических соединений, обеззараживания.

Технологические схемы производства бутилированной воды в зависимости от природы и содержания примесей используют различные комбинации методов подготовки воды.

Технологическая схема водоподготовки для производства бутилированной воды, введенная в эксплуатацию в Геленджикском районе (источник водоснабжения – артезианская вода), включает следующие стадии:

• обработка на зернистом фильтре, задерживающем взвешенные вещества;
• обессоливание обратным осмосом;
• химическая промывка мембранных модулей;
• обеззараживание УФ-излучением.

Технологическая схема водоподготовки предприятия по производству бутилированной воды в Липецке (источник водоснабжения – артезианская вода, особенность – наличие в воде бора и аммония) включает следующие стадии:

• обработка на зернистом фильтре, задерживающем взвешенные вещества;
• очистка от органических веществ на фильтрах, загруженных активным углем;
• фильтрация воды на фильтрах тонкой очистки рейтингом 0,45 мкм;
• обеззараживание УФ-излучением;
• обессоливание обратным осмосом.

Технологическая схема водоподготовки предприятия по производству бутилированной воды первой категории качества, компании «Чистая вода» (Кемерово) (источник водоснабжения – артезианская вода, содержащая не более: 6,2 ммоль/дм^3 солей жесткости, 0,8 мг/дм^3 железа, 0,35 мг/дм^3 марганца, до 0,003 мг/дм^3 фенола.

Артезианская вода, очищенная от механических примесей на песочном фильтре, проходит пять ступеней обработки:

• обработка воды на фильтре с загрузкой алюмосиликатным полифункциональным адсорбентом (ОДМ), изготовленным из экологически чистого минерального сырья, защищающим воду от возможной взвеси и механических примесей;
• обработка на каталитической загрузке Birm, приводящей в соответствие с гигиеническими нормативами содержание в воде железа и марганца;
• обработка на фильтре с активным углем, улучшающим органолептические показатели питьевой воды (вкус, запах, цвет) и удаляющим фенол;
• обработка на фильтре-умягчителе, очищающем воду от избытка ионов кальция и магния;
• заключительная защитная фильтрация воды на фильтрах тонкой очистки до 5 мкм.

С целью обеспечения микробиологической стабильности питьевая вода после водоподготовительной установки поступает на ультрафиолетовый стерилизатор, где подвергается воздействию ультрафиолетового излучения.

На предприятии ООО «Хрустальное» (Кемерово) источник водоснабжения – артезианская вода, содержащая не более 0,05 мг/дм^3 сероводорода, и 0,005 мг/дм^3 фенола.

Технологическая схема очистки воды до требований к расфасованной воде высшей категории качества включает следующие стадии:

• дегазация-аэрация, удаление сероводорода происходит в пленочном дегазаторе в процессе контакта поверхностей соприкосновения вода – воздух;
• электроразрядная обработка водовоздушной смеси, приводящая к окислению органических соединений и насыщению воды кислородом;
• очистка на зернистых фильтрах (дробленый кварц), задерживающих продукты окисления и взвешенные вещества;
• доочистка от органических соединений (фенола, продуктов его окисления) на фильтрах, загруженных активным углем АГ-ОВ-1;
• обеззараживание УФ-излучением.

Анализ состояния проблемы подготовки воды на предприятиях пищевой промышленности на основании материалов доступных источников показал, что большинство предприятий используют воду системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, при необходимости проводят умягчение ионным обменом, причем образующиеся при регенерации промывные воды с концентрацией сильной соляной кислоты 2 % сбрасывают в канализацию. Альтернативой этому методу может быть магнитная обработка. Метод безреагентный, экологичный, аппараты для его реализации проще, компактнее и дешевле. В случае использования подземных вод повсеместно применяется классическая технология удаления железа – аэрация. Технология трудоемка и неэкологична. Сегодня, когда выпускаются каталитические сорбенты, логично заменить аэрацию каталитическим окислением с использованием, например, фильтрационного материала Baufilter, производимого отечественными предприятиями. Редко используется адсорбция на активных углях, несмотря на то, что этот метод обеспечивает полное удаление органических соединений, в том числе и образующихся в процессе подготовки питьевой воды на стадии хлорирования. В производствах алкогольных и безалкогольных напитков для подготовки воды заметно чаще стали использовать озонирование. Наиболее совершенные технические решения по подготовке воды из подземных источников имеют место в технологических схемах предприятий ликеро-водочной отрасли (завод «Кристалл», Калуга) и в производстве пива (ОАО «Барнаульский пивоваренный завод», «Ставропольский пивоваренный завод»), но в целом ситуация в области водоподготовки сложная, технологии нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Следует отметить, что научные, проектные организации, например ЗАО «НПК Медиана-Фильтр», производители оборудования для водоподготовки, например ООО «Альтаир», и другие активно работают в этом направлении.

Список литературы

1. Борисов, Б. А. Водоподготовка в производстве пищевых продуктов и напитков / Б. А. Борисов, Е. Ю. Егорова, Р. А. Зайнуллин. – СПб. : Профессия, 2014. – 398 с.

2. Бредихин, С. А. Технология и техника переработки молока / С. А. Бредихин, Ю. В. Космодемьянский, В. Н. Юрин. – М. : КолосС, 2003. – 400 с.

3. Голубева, Л. В. Справочник технолога молочного производства / Л. В. Голубева. – СПб. : ГИОРД, 2005. – 272 с.

4. Корчагин, В. И. Зависимость свойств полуфабрикатов и готовых изделий от химического состава воды / В. И. Корчагин // Хлебопечение России. –1999. – № 6. – С. 22–23.

5. Мазур, П. Я. Вода в приготовлении хлеба / П. Я. Мазур, И. Н. Яншева // Хлебопечение России. – 2002. – № 6. – С. 30–32.

6. Меледина, Т. В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении / Т. В. Меледина. – СПб. : Профессия, 2003. – 304 с.

7. Сомин, В. А. Умягчение подземных вод с использованием нового сорбента на основе бентонитовых глин / В. А. Сомин, Л. В. Куртукова, Л. Ф. Комарова // Экология и промышленность России. – 2015. – № 1. – С. 30–33.

8. Банников, В. В. Электромагнитная обработка воды: прибор «Термит» / В. В. Банников // Экология производства. – 2004. – № 4. – С. 25–32.

9. Краснова, Т. А. Экспертиза питьевой воды. Качество и безопасность / Т. А. Краснова, В. П. Юстратов, В. М. Позняковский. – М. : ДеЛи принт, 2011. – 280 с.

10. Рябчиков, Б. Е. Современная водоподготовка / Б. Е. Рябчиков. – М. : ДеЛи плюс, 2013. – 680 с.

11. Эль Могази, А. Х. Нетрадиционные способы водоподготовки в производстве сывороточных напитков / А. Х. Эль Могази // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 4. – С. 72–77.

12. Пат. № 2345834 Российская Федерация, МПК B01J20/16, B01D39/06. Способ получения фильтровально-сорбционного материала / Кондратюк Е. В., Комарова Л. Ф., Лебедев И. А, Сомин В. А. ; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – № 2007128249/15 ; заявл. 23.07.2007 ; опубл. 10.02.2009.

13. Применение новых сорбционных материалов и оборудования для водоподготовки в пищевой промышленности / В. О. Буравлев [и др.] // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3/2. – С. 188–191.

14. Современные отечественные конкурентоспособные обратноосмотические, нанофильтрационные и микрофильтрационные мембранные элементы, установки и технологии для ликероводочной и спиртовой промышленности / В. Л. Кудряшов [и др.] // Критические технологии. Мембраны. – 2004. – № 3 (23). – С. 21–31.

15. Escudier, J.-L. New physical techniques for the treatment of wine: electrodialysis / J.-L. Escudier // Vinidea.net-Wine internet technical journal. – 2002. – № 4, article 4 of 5.

16. Краснова, Т. А. Электромембранные процессы в водоподготовке / Т. А. Краснова. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 1992. – 128 с.

17. Cooper, C. An investigation of catalytic ozonation for the oxidation of halocarbons in drinking water preparation / C. Cooper, R. Burch // Water research. – 1999. – Vol. 33, № 18. – P. 3695–3700.

18. Mitsuyuki, M. Kiyoshi, K. Kagaku to Kogyo [Science and Industry]. – 2002. – Vol. 76, № 9. – P. 421–430.

19. Краснова, Т. А. Разработка адсорбционных процессов подготовки воды для пищевых производств в промышленно развитых регионах / Т. А. Краснова, И. В. Тимощук. – Кемерово : КемТИПП, 2014. – 212 с.

20. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water / T. A. Krasnova [et al.] // Foods and Raw materials. – 2017. – Vol. 5, № 2. – P. 189–196. DOI 10.21179/2308-4057-2017-2-189-196.

21. Краснова, Т. А. Использование адсорбции для снижения загрязнения водных ресурсов / Т. А. Краснова, А. К. Горелкина, М. П. Кирсанов // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22 (1). – С. 44–49.

22. Бетц, С. А. Очистка воды от фенола и его производных на материалах из растительного сырья / С. А. Бетц, В. А. Сомин, Л. Ф. Комарова // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 243–245.

23. Очистка природных вод от органических примесей сочетанием озонирования с УФ-облучением / В. В. Гончарук [и др.] // Химия и технология воды. – 2004. – Т. 26, № 1. – С. 34–49.

References

1. Borisov B.A., Egorova E.Yu., Zaynullin R.A. *Vodopodgotovka v proizvodstve pishchevykh produktov i napitkov* [Water Preparation in Food and Baverage Production]. St. Petersburg: Professiya Publ., 2014. 398 p.

2. Bredikhin S.A., Kosmodem'yanskiy Yu.V., Yurin V.N. *Tekhnologiya i tekhnika pererabotki moloka* [Milk Processing Techniques and Technology]. Moscow: KolosS Publ., 2003. 400 p.

3. Golubeva L.V. *Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva* [Dairy Production Engineer Reference Book]. St. Petersburg: GIORD Publ., 2005. 272 p.

4. Korchagin V.I. Zavisimost' svoystv polufabrikatov i gotovykh izdeliy ot khimicheskogo sostava vody [Effect of Water Composition on the Properties of Semi-Finished and Ready Products]. *Khlebopecheniye Rossii* [Baking in Russia], 1999, no. 6, pp. 22–23.

5. Mazur P.Ya., Yansheva I.N. Voda v prigotovlenii khleba [Water in Bread Production]. *Khlebopecheniye Rossii* [Baking in Russia], 2002, no. 6, pp. 30–32.

6. Meledina T.V. *Syr'yo i vspomogatel'nyye materialy v pivovarenii* [Raw Materials and Auxiliary Substances in Brewing]. St. Petersburg: Professiya Publ., 2003. 304 p.

7. Somin V.A., Kurtukova L.V., Komarova L.F. Umyagcheniye podzemnykh vod s ispol'zovaniyem novogo sorbenta na osnoye bentonitovykh glin [Groundwater Softening Using New Sorbent Based on Bentonite Clays]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2015, no. 1, pp. 30–33.

8. Bannikov V.V. Elektromagnitnaya obrabotka vody: pribor "Termit" [Electromagnetic Water Treatment: appliance "Termit"]. *Ekologiya proizvodstva* [Industrial Ecology], 2004, no. 4, pp. 25–32.

9. Krasnova T.A., Yustratov V.P., Poznyakovskiy V.M. *Ekspertiza pit'evoy vody. Kachestvo i bezopasnost'* [Drinking Water Examination. Quality and Safety]. Moscow: DeLi Print Publ., 2011. 280 p.

10. Ryabchikov B.E. *Sovremennaya vodopodgotovka* [Modern Water Preparation]. Moscow: DeLi Plus Publ., 2013. 680 p.

11. El Moghazy A.Kh. Netraditsionnyye sposoby vodopodgotovki v proizvodstve syvorotochnykh napitkov [Nontraditional Ways of Water Preparation for Whey-Based Beverages Production]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2011, no 4, pp. 72–77.

12. Kondratyuk E.V., Komarova L.F., Lebedev I.A., Somin V.A. *Sposob polucheniya fil'troval'no-sorbtsionnogo materiala* [Sorption-Filtering Material Production Technology]. Patent RF, no. 2345834, 2009.

13. Buravlev O.V. Primeneniye novykh sorbtsionnykh materialov i ovorudovaniya dlya vodopodgotovki v pishchevoy promyshlennosti [Using New Sorption Materials and Appliances for Water Preparation in Food Industry]. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Vestnik], 2011, no. 3/2, pp. 188–191.

14. Kudryashov B.L. Sovremennyye otechestvennyye konkurentosposobnyye obratnoosmoticheskiye, nanofil'tratsionnyye i mikrofil'tratsionnyye membrannyye elementy, ustanovki i tekhnologii dlya likerovodochnoy i spirtovoy promyshlennosti [Modern Russian Competitive Reverse-Osmosis, Nanofiltration and Microfiltration Membrane Elements, Units and Technologies for Liqueurs and Spirits Production Industry]. *Kriticheskiye tekhnologii. Membrany* [Critical Technologies. Membranes], 2004, no. 3(23), pp. 21–31.

15. Escudier J.-L. New Physical Techniques for the Treatment of Wine: Electrodialysis. *Vinidea.net-Wine Internet Technical Journal*, 2002, no. 4, article 4 of 5.

16. Krasnova T.A. *Elektromembrannyye protsessy v vodopodgotovke* [Electromembrane Processes in Water Preparation]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat Publ., 1992. 128 p.

17. Cooper C., Burch R. An Investigation of Catalytic Ozonation for the Oxidation of Halocarbons in Drinking Water Preparation. *Water Research*, 1999, vol. 33, no. 18, pp. 3695–3700.

18. Mitsuyuki M., Kiyoshi K. *Kagaku to kogyo = Science and Industry*, 2002, vol. 76, no. 9, pp. 421–430.

19. Krasnova T.A., Timoshchuk I.V. *Razrabotka adsorbtsionnykh protsessov podgotovki vody dlya pishchevykh proizvodstv v promyshlenno razvitykh regionakh* [Development of Water Preparation Adsorption Processes for Food Production Companies in Well-Developed Industrial Regions]. Kemerovo: Kemerovo Institute of Food Science and Technology Publ., 2014. 212 p.

20. Krasnova T.A., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Dugarjav J. The Choice of Sorbent for Adsorption Extraction of Chloroform from Drinking Water. *Foods and Raw materials*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 189–196. DOI 10.21179/2308-4057-2017-2-189-196.

21. Krasnova T.A., Gorelkina A.K., Kirsanov M.P. Ispol'zovaniye adsorbtsii dlya snizheniya zagryazneniya vodnykh resursov [Adsorption Application for Reducing Water Resources Pollution]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, vol. 22(1), pp. 44–49.

22. Bets S.A, Somin V.A., Komarova L.F. Ochistka vody ot fenola i ego proizvodnykh na materialakh iz rastitel'nogo syr'ya [Water Cleaning from Phenol and its Compounds Using Plant Materials]. *Polzunovski vestnik* [Polzunovsky Vestnik], 2014, no. 3, pp. 243–245.

23. Goncharuk V.V., Potapchenko N.G., Vakulenko V.F., et al. Ochistka prirodnykh vod ot organicheskikh primesey sochetaniyem ozonirovaniya s UF-oblucheniyem [Natural Water Cleaning from Organic Impurities by Means of Combined Ozonation and UV Exposure]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], 2004, vol. 26, no. 1, pp. 34–49.

Краснова Тамара Андреевна
д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой аналитической химии и экологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-30, e-mail: ecolog1528@yandex.ru

Tamara A. Krasnova
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Analytical Chemistry and Ecology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-30, e-mail: ecolog1528@yandex.ru