

Смирнова И. В.

Донбасский государственный технический университет

E-mail: kamerton_i@mail.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

В работе дан краткий обзор современных методов очистки воды от загрязнений, предложена классификация и выполнен анализ применяемых технологий водоподготовки. Подчёркнута необходимость использования комплексных методов очистки воды с соблюдением принципов экологического совершенства. Представлена классификация примесей, технологий их устранения и методов обезвреживания и утилизации образующихся шламов.

Ключевые слова: *методы очистки воды, классификация, экологическое совершенство, коэффициент эмиссии загрязнений, комплексная система очистки воды.*

Финансирование: *исследования выполнены за счёт средств федерального бюджета (код темы: FRRU-2024-0004 в ЕГИСУ НИОКТР).*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Начиная со второй половины XX века, среди глобальных экологических проблем наиболее остро обозначилась проблема чистой воды. Эта проблема касается практически всех стран мира, в том числе и России, где дефицит чистой питьевой воды во многих регионах наблюдается уже более сорока лет с тенденцией ухудшения положения.

По официальным данным, наша страна находится на втором месте в мире после Бразилии по валовым запасам пресной воды. Но проблема заключается в том, что европейской части достаётся всего 20 % водных запасов, хотя здесь проживает 80 % населения и находится большая часть предприятий. Калмыкия, Краснодарский край, Крым, Ставропольский край, Астраханская, Ростовская, Волгоградская, Курганская и Оренбургская области — это в основном степи. Здесь количество осадков снижается с запада на восток от 600 до 200 мм в год, а континентальность нарастает. Рельеф способствует беспрепятственному перемещению ветров во всех направлениях, поэтому в степи часто бывают засухи, бураны и пыльные бури. А проникающий арктический воздух приносит длительные похолодания. Все эти явления характерны и для маловодного Донбасса.

Ситуация осложняется тем, что вода очень часто расходуется неразумно и расточительно как в быту, так и на предприятиях. Бытовые и промышленные сточные воды сбрасываются в природные водоёмы либо недоочищенными, либо без всякой очистки. Стремительно развивающиеся различные производственные фирмы и фермерские хозяйства потребляют воды гораздо больше, чем её существует в данном районе. Плюс катастрофическое состояние старых очистных сооружений и, как правило, отсутствие новых. Применяемые методы очистки воды недостаточно эффективны и не универсальны. А шлам, который образуется после очистки, создает дополнительные загрязнения почв. В результате этого увеличивается количество различных заболеваний от использования воды низкого качества и употребления продуктов, выращенных на загрязнённых почвах. Кроме того, при сбросе неочищенных вод происходит загрязнение и гибель водоёмов. Картина складывается удручающая, а комплекс давно назревших водных проблем требует принятия кардинальных решений.

Целью данной работы является классификация и анализ существующих методов очистки воды от различных видов загрязнений.

Объект исследования — технологии обработки (очистки, кондиционирования) воды.

Предмет исследования — методы очистки воды от загрязнений.

Методика исследования. В работе использована методика сравнительного анализа характеристических показателей процессов технологий очистки воды с критериальным подходом к оценке качества комплексных систем водоподготовки.

Изложение материала и его результаты. Известно несколько видов классификации методов и способов очистки воды от различных примесей (загрязнений). Собственно примеси и определяют критерии классификации. Традиционно методы очистки воды в соответствии с используемыми принципами действия подразделяют на четыре группы:

- физические методы;
- химические методы;
- физико-химические методы;
- биологические методы.

Перечисленные методы очистки воды в свою очередь имеют внутреннюю классификацию в зависимости от конкретного способа удаления тех или иных загрязнителей.

Мы избрали иной подход, который позволяет существующие методы очистки вод условно разделить на три группы:

- реагентные методы;
- безреагентные методы;
- комплексные методы.

Реагентные методы обеспечивают умягчение (устранение солей жесткости), обессоливание (снижение общей минерализации), обезжелезивание (снижение концентрации железа) и обеззараживание (удаление ядовитых веществ и очистка от радиоактивных загрязнений) воды [1].

Применение **реагентных методов** для очистки воды предполагает использование коагулянтов (сульфат железа (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ и др.), флокулянтов (на основе полиакриламида ПАА), кислот, щелочей и других обеззараживающих веществ (хлорная известь, гипохлорит натрия, озон и т. д.).

Умягчение воды реагентами основано на связывании содержащихся в воде катионов кальция и магния в малорастворимые соединения. Например, при обработке воды известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$ происходит образование нерастворимых в воде карбоната кальция CaCO_3 и гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Для интенсификации осаждения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в воду вводят коагулянт. Так как процесс умягчения происходит при значениях $\text{pH} > 9$, соли алюминия в качестве коагулянта применять нельзя (образуются растворимые алюминаты). Поэтому роль коагулянта могут выполнять соли железа.

Зная соотношения концентраций кальция, магния и бикарбонат-ионов в воде, на практике удобно пользоваться расчётными формулами для определения необходимых доз извести и коагулянта [2]:

при $\frac{\text{Ca}^{2+}}{20} > \frac{\text{HCO}_3^-}{61}$ в мг/дм^3 доза извести рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{и}} = 28 \left[\frac{\text{CO}_2}{22} + \frac{\text{HCO}_3^-}{61} + \frac{D_{\text{к}}}{e} + 0,5 \right] \frac{100}{C_{\text{и}}},$$

где $D_{\text{и}}$ — доза технической извести, мг/дм^3 ;

(CO_2) — содержание в исходной воде свободной углекислоты, мг/дм^3 ;

(HCO_3^-) — концентрация в исходной воде бикарбонат-ионов, мг/дм^3 ;

$D_{\text{к}}$ — доза коагулянта (FeCl_3 или FeSO_4) в пересчёте на безводное вещество, мг/дм^3 ;

e — эквивалентная масса активного вещества коагулянта (для FeCl_3 — 54 мг/мг-экв , для FeSO_4 — 76 мг/мг-экв);

$C_{\text{и}}$ — содержание CaO в применяемой извести, %.

При $\frac{\text{Ca}^{2+}}{20} < \frac{\text{HCO}_3^-}{61} < \left(\frac{\text{Ca}^{2+}}{20} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12} \right)$

концентрация гидрокарбоната магния равна $\left(\frac{\text{HCO}_3^-}{61} - \frac{\text{Ca}^{2+}}{20} \right)$ мг-экв/дм^3 .

В этом случае доза извести определяется по формуле:

$$D_{\text{и}} = 28 \left[\frac{\text{CO}_2}{22} + 2 \frac{\text{HCO}_3^-}{61} - \frac{\text{Ca}^{2+}}{20} + \frac{D_{\text{к}}}{e} + 1 \right] \frac{100}{C_{\text{и}}},$$

где Ca^{2+} — концентрация катионов кальция в исходной воде, мг/дм³.

Доза коагулянта рассчитывается по эмпирической формуле:

$$D_{\text{к}} = 3\sqrt[3]{M},$$

где $D_{\text{к}}$ — доза коагулянта в пересчете на безводное вещество FeCl_3 или FeSO_4 , мг/дм³;

M — содержание в умягчённой воде взвешенных веществ, мг/дм³.

Кроме извести и коагулянтов, для умягчения воды можно использовать соду (карбонат натрия) и фосфаты натрия.

Применение различных вариантов реагентных методов умягчения воды обуславливается качеством исходной воды и необходимой степенью умягчения.

Обезжелезивание и обеззараживание воды реагентными методами осуществляется при обработке воды перманганатом калия KMnO_4 , хлором, полученным из гипохлорита натрия, или озоном.

Реагентные методы очистки воды давно известны и надёжны, но обладают некоторыми неудобствами. Использование реагентов предполагает их приобретение и хранение, а, следовательно, специальные складские помещения, ёмкости для приготовления необходимых растворов и квалифицированный обслуживающий персонал. Всё это усложняет применение реагентных методов очистки и влечёт дополнительные материальные затраты. Поэтому в настоящее время предпочтение отдаётся разработкам безреагентных и комплексных методов очистки воды.

Безреагентные методы классифицируются как методы очистки от механических и растворённых в воде примесей.

Для очистки воды от механических примесей применяют отстаивание, фильтрацию, флотацию и центрифугирование.

Обычно эти методы используют для предварительной грубой очистки воды. Существует множество типов отстойников, центрифуг, фильтров и фильтрующих устройств отечественного и зарубежного производства. Параметры этих устройств подбираются в зависимости от показателей качества исходной воды (природа взвешенных веществ, размер частиц и т. д.) и требований к очищенной воде.

Для более тонкой (глубокой) очистки воды от растворённых примесей применяют ионный обмен, электрокоагуляцию, электродиализ, обратный осмос, дистилляцию [3].

Ионный обмен основан на способности некоторых веществ (ионитов) обменивать находящиеся в их составе ионы на катионы и анионы обрабатываемой воды. По характеру ионного обмена иониты подразделяются на катиониты и аниониты. Наиболее часто применяются отечественные катиониты марок КУ-2, КУ-2-8, КУ-23С (с бактерицидным действием) и аниониты марок АВ-17, АВ-27, АН-31, АВ-17-8чС либо их зарубежные аналоги [4]. В промышленности эта технология позволяет производить обработку воды с исходным содержанием не более 3 г/дм³ и применяется в основном для подготовки воды технического назначения. Достоинством ионообменной технологии является простота и компактность аппаратного исполнения, относительная долговечность ионитов и удовлетворительное качество очищенной воды. Но применение концентрированных кислот, щелочей и других реагентов для регенерации и очистки ионообменных устройств является недостатком данной технологии.

Среди существующих безреагентных методов очистки воды одним из наиболее эффективных является метод электрокоагуляции. Он заключается в образовании коагулянта (гидроксидов железа, алюминия и т. д.) при электролизе очищаемой воды с последующей седиментацией (осаждением) адсорбированных на нём примесей [5]. Этот метод применяется для удаления из воды растворённых ионов кальция и магния,

тяжёлых металлов, органических веществ и нефтепродуктов. При использовании многоступенчатой системы электрокоагуляции можно добиться достаточно высокой степени очистки воды. Достоинствами метода являются компактность и простота аппаратного исполнения, а также использование вторичного сырья в качестве электродного материала. К недостаткам относится необходимость утилизации образующихся шламов и сравнительно высокое энергопотребление.

При высоком солесодержании (до 15 г/дм³) рекомендуется использовать электродиализ [6]. Этот метод заключается в пропускании очищаемой воды через ионоселективные мембраны в электрическом поле. К недостаткам метода относится необходимость предварительной очистки воды от органических веществ и железа. Электродиализ применяется только для умягчения и обессоливания.

Для глубокого умягчения воды используется технология обратного осмоса (гиперфильтрация) [5], которая заключается в прохождении воды через полупроницаемые мембраны под действием осмотического давления. Метод обратного осмоса, как и электродиализ, требует предварительной очистки воды от органических веществ, ионов хлора и железа. Таким образом, мембранные технологии (обратный осмос и электродиализ) могут быть использованы только после предварительной очистки воды.

К безреагентным методам относится и дистилляция. Однако этот метод по причине высокой энергоёмкости и малой производительности используется в основном для специальных целей (в химических лабораториях, в фармацевтической промышленности и т. д.).

К специфическим безреагентным методам относится биохимическая очистка воды. Эта технология основана на способности гетеротрофных микроорганизмов использовать разнообразные неорганические и органические соединения в качестве источников питания. А так как органические

соединения, образующиеся в результате жизнедеятельности различных организмов, не накапливаются на Земле, утилизации отходов после биохимической очистки не требуется. Микроорганизмы обладают многогранной активной ферментативной способностью, позволяющей в природных условиях обеспечивать круговорот биогенных элементов — азота, углерода, серы, фосфора и т. д. Микроорганизмы расщепляют комплексные органические вещества вплоть до самых простых производных, которые затем вновь ассимилируются растениями и животными [7].

Однако использованием только какого-либо одного из существующих методов невозможно добиться максимальной степени очистки воды, поэтому в промышленности часто прибегают к сочетанию нескольких технологий, т. е. очистку воды проводят **комплексно**.

Наиболее распространенная схема комплексной очистки воды включает следующие стадии:

- предварительная обработка воды (реагентная или безреагентная);
- отстаивание;
- фильтрация;
- специфическая обработка (хлорирование, озонирование и т. д.).

Достоинством комплексных технологий обработки воды является возможность достижения высокой степени очистки по физико-химическим и химическим показателям. К существенным недостаткам этих технологий относятся громоздкость сооружений, сложность технологического обслуживания, практически полное отсутствие теоретической базы для выбора оптимальных параметров проведения всего технологического процесса. Следовательно, необходима разработка универсальной теоретической модели процесса очистки воды комплексными методами.

Следует отметить, что проблема сброса вод, содержащих отходы производства, большей частью решается разобщённо между отдельными отраслями промышленности без

учёта возможности утилизации отходов. Это усложняет технологический процесс переработки стоков и увеличивает затраты на его осуществление.

В области водоподготовки (кондиционирования) с экономической и экологической точек зрения является важным выбор таких технологических схем очистки природной воды и переработки стоков, которые обеспечивают как утилизацию стоков с дебалансом или сбросом определённого типа реагентов, так и утилизацию шламов, образующихся в результате работы систем кондиционирования воды. И всё это с учётом максимально бережного отношения к природе и минимального негативного воздействия на окружающую среду.

Для описания идеального состояния природы, когда все её элементы находятся в гармонии и равновесии, используется термин **совершенство природы**. Это понятие относится практически ко всем областям науки и техники. В частности, **экологическое совершенство** подразумевает отсутствие загрязнения окружающей среды и сохранение биоразнообразия.

Для оценки экологического совершенства удобно пользоваться критериями сбора стоков — K_c , их переработки — K_n и повторного использования — рециркуляции очищенных стоков — K_p [8]. Каждый из критериев изменяется от 0 до 1 и характеризует совершенство процесса или этапа (стадии). При этом $K_p = K_c \cdot K_n$.

Не менее важным показателем экологического совершенства процесса является эмиссия (выброс) загрязнений на тонну очищенной воды, которая оценивается коэффициентами эмиссии загрязнений (КЭЗ). Так, например, для ионитной схемы очистки воды

$$KЭЗ_{uo} = C_o (\bar{d} + 1),$$

где C_o — концентрация солей в обрабатываемой воде, г-экв/т; \bar{d} — усреднённый удельный расход реагентов на регенерацию фильтров, г-экв/г-экв.

Для мембранных (электродиализ, обратный осмос), электрохимических (электрокоагуляция) и других комбинированных с ионитной технологией схем кондиционирования воды

$$KЭЗ_k = C_o (\bar{d} + 1 - \bar{d}\gamma),$$

где γ — это степень кондиционирования воды по выбранной технологии.

Коэффициенты эмиссии загрязнений необходимо учитывать при разработке комплексных систем очистки воды.

Поведение примесей в водной среде и их реакция на вводимые для очистки вещества определяются размерами частиц, а также их способностью образовывать с водой однородную (гомогенную) или неоднородную (гетерогенную) системы. Эти свойства определяют фазово-дисперсную характеристику примесей в воде.

Сравнительный анализ практикуемых методов очистки от различного вида загрязнений показал, что каждому фазово-дисперсному состоянию примесей соответствуют определенные технологии обработки воды.

Все виды загрязнений природных и промышленных вод можно условно объединить в четыре группы [9].

Способность примесей к изменению фазово-дисперсного состояния под воздействием химических, физических и физико-химических факторов (солевой состав, температура, pH и др.) позволяет переводить вещества (примеси) из одной группы в другую и этим варьировать технологические приёмы и методы регулирования процессов кондиционирования систем водоподготовки.

При использовании различных методов и технологий кондиционирования воды образуются отходы — шламы, содержащие значительные количества ценных минеральных компонентов: металлов (железа, меди, никеля, цинка, хрома и т. д.) и минеральных солей. Только на предприятиях химической промышленности количество железосодержащих шламов составляет около 120 тыс. т/год; цинксодержащих — 70 тыс. т/год; медьсодержащих — 13 тыс. т/год; никельсодержащих — 500 т/год [10].

Большинство шламов загрязнено органическими примесями, в том числе высокотоксичными. Размещение этих отходов в шламонакопителях требует значительных капитальных затрат, при этом не устраняется угроза загрязнения окружающей среды и в то же время безвозвратно теряются ценные компоненты. Использование металлов, извлечённых из шламов, позволяет экономить природное сырьё для производства дорогостоящих цветных металлов (никель, хром, медь, цинк и т. д.) и характеризуется высокими технико-экономическими показателями [11].

Выбор технологии обезвреживания и утилизации отходов определяется их химическим составом и физическими свойствами.

По агрегатному состоянию отходы делят на жидкие, твёрдые, пастообразные (шламы, илы, осадки) и газообразные, а по составу обезвреживаемых веществ — на пять условных групп.

К группе I относятся отходы, содержащие органические и неорганические вещества, обезвреживание которых сопровождается образованием безвредных газов, не требующих дополнительной очистки.

К группе II относятся отходы, содержащие вещества группы I и соединения азота, при обезвреживании которых образуется оксид азота (II) NO.

К группе III относятся отходы, содержащие вещества групп I и II и соединения серы, фосфора и галогенов, при обезвреживании которых образуются кислоты или их ангидриды (SO₂, SO₃, P₄O₁₀, HCl, HF и др.).

К группе IV относятся отходы, содержащие вещества групп I и II и минеральные соединения, при обезвреживании которых образуется минеральный остаток (шлак).

К группе V относятся отходы, которые содержат вещества III и IV групп отходов.

В зависимости от состава и физико-химических свойств шламов разрабатывают и применяют различные методы их обезвреживания и переработки: химические, физико-химические, термические и комбинации этих методов [12].

В таблице 1 представлена классификация примесей, технологий их устранения и методов обезвреживания и утилизации образующихся шламов.

Данная классификация может служить базой для составления общей схемы процесса комплексного кондиционирования воды.

При разработке систем кондиционирования воды специалисты руководствуются положениями теории и технологии накопления, транспортировки, обработки и распределения веществ и энергии. К информации тоже можно применять те же самые понятия, тем более что в настоящее время во всех сферах деятельности широко используются цифровые технологии накопления, транспортировки, обработки и распределения информации (при проектировании, при оценке функционирования предприятий и т. д.).

Приведём основные вещества, виды энергии и информации, имеющие важное значение при разработке систем кондиционирования воды.

Вещества

1. Загрязняющие неорганические (ионы тяжёлых металлов, нитраты, нитриты, фосфаты и др.) и органические примеси (фенолы, нефтепродукты, СПАВ и др.).

2. Материалы, из которых изготовлены трубопроводы.

3. Химические вещества, дополнительно вносимые при водоподготовке, обработке сточных вод и других видах кондиционирования воды.

Энергия

1. Энергия, затрачиваемая на транспортировку воды к сооружениям кондиционирования.

2. Утилизация энергии для обработки сточных вод, включая производство энергии непосредственно на сооружениях кондиционирования.

3. Сравнение альтернативных процессов по требуемым энергетическим затратам.

Информация

1. Характеристика (химический состав) исходной воды.

2. Требования (показатели качества), предъявляемые к очищенной воде.
 3. Расход очищаемой воды.
 4. Уровень воды в накопительных резервуарах (для автоматического распределения).
 5. Эффективность выбранной технологии кондиционирования.

Таблица 1

Классификация примесей, технологий их устранения и методов обезвреживания и утилизации образующихся шламов

Фазовая характеристика	Гетерогенные системы		Гомогенные системы	
	I	II	III	IV
Группа	Взвеси	Золи и высокомолекулярные соединения	Молекулярно-растворимые вещества	Вещества, диссоциированные на ионы
Формы нахождения примесей в воде				
Размер, см	$10^{-3} \div 10^{-4}$	$10^{-5} \div 10^{-6}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-7} \div 10^{-8}$
Характерные представители загрязнений	Крупная взвесь Тонкая взвесь Планктон Бактерии	Органоминеральные комплексы Гумусовые вещества Вирусы	Летучие вещества и газы Органические вещества Вещества, продуцируемые микроорганизмами	Катионы и анионы минеральных и органических соединений
Технологии устранения примесей из воды	Механическое разделение Адгезия на гидроксидах, зернистых и высокодисперсных материалах Агрегация при помощи флокулянтов (анионитных и катионитных) Флотация Электролиз сине-зеленых водорослей Бактерицидное воздействие	Ультрафильтрация Коагуляция Флотация Окисление хлором Адсорбция на гидроксидах и дисперсных минералах Электрофоретические методы Вирулицидное воздействие	Гиперфильтрация Десорбция газов и летучих веществ, эвапорация труднолетучих в-в озонем, перманганатом Адсорбция на активированных углях и др. материалах Ассоциация молекул Экстракция органическими растворителями Биохимический распад	Гиперфильтрация Перевод ионов в малорастворимые соединения Фиксация на твердой фазе ионитов Моляризация и комплексообразование Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды Использование подвижности ионов в электрическом поле
Методы обезвреживания и утилизации образующихся шламов	Огневой метод Полное превращение органических и неорганических примесей при высоких температурах в безвредные продукты полного сгорания	Жидкофазное окисление «Мокрое» сжигание, метод Циммермана Окисление кислородом воздуха органических и элементоорганических примесей	Гетерогенный катализ Парофазное каталитическое окисление Перевод органических примесей в парогазовую фазу с последующим каталитическим окислением кислородом воздуха Утилизация нефтепродуктов и масел штаммами олигозотрофных микроорганизмов	Комбинированная утилизация Выпаривание или вымораживание с последующей термообработкой для извлечения ценных компонентов (минеральные соли, цветные металлы)

Состояние материи (вещество, энергия) в конкретный момент времени описывается функцией $f(C, E)$, где C и E — качественная и количественная характеристики химических элементов и энергий, обеспечивающих функционирование системы [13]. Изменение состояния материи описывается изменением функции состояния $\Delta f(C, E)$.

А скорость перехода материи из одного состояния в другое описывается общей для всех систем закономерностью:

$$V = \frac{\Delta f(C, E)}{\tau},$$

где V — это скорость перехода материи из одного состояния в другое; τ — время, в течение которого материя совершает этот переход.

При сравнении путей достижения желаемого результата устанавливают критерии оценки полезности системы.

Для оценивания систем обычно используют следующие критерии: функционирование, стоимость, надёжность, время, требования к обслуживанию и гибкость [14].

Прогноз функционирования системы может быть сделан на основании физических и/или математических моделей [15].

Оценка стоимости требует разработки экономической модели, включающей конструирование системы, стоимость строительства и эксплуатации, а также политику налогообложения.

Надёжность — это вероятность того, что система и её подсистемы будут работать в соответствии с прогнозом (расчётом, проектом и т. д.). Время является оценкой расчёт-

ного периода работы или ожидаемой продолжительности полезной жизни системы. Требования к обслуживанию предполагают удобство, простоту и быстроту, обеспечивающие надёжность работы системы.

Гибкость необходима для того, чтобы приспособить систему к любым неожиданным ситуациям, обусловленным временными переменами (ужесточение водных стандартов, прогресс соответствующей технологии, политические изменения и т. д.).

Для оптимизации системы критерии оценки качества обобщаются в единый критерий, который определяет общую цель системы.

После проведения всех перечисленных процедур переходят непосредственно к математическому моделированию и далее — к разработке и проектированию собственно систем комплексной очистки воды.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, анализ методов очистки воды от различных видов загрязнений, классификация примесей по фазово-дисперсному состоянию, а также систематизация и анализ технологий их устранения, методов обезвреживания и утилизации образующихся шламов дают достаточно полную информацию для математического моделирования систем комплексного кондиционирования воды.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены созданию математических моделей отдельных этапов и всего многостадийного процесса комплексной очистки природных, промышленных и сточных вод от любых видов загрязнений с целью доведения степени очистки до 100 % и максимального приближения к экологическому совершенству разрабатываемых систем.

Список источников

1. Миклашевский Н. В., Королькова С. В. *Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры.* СПб. : БХВ — Санкт-Петербург, Арлит, 2000. 240 с.
2. *Основы водоподготовки в целлюлозно-бумажной промышленности и теплоэнергетике : учеб.-метод. пособ. / А. А. Комиссаренков [и др.].* СПб. : ФГБОУ ВПО «СПб ГТУРП», 2012. 85 с.
3. *Водоподготовка : справочник / под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С. Е. Беликова.* М. : Аква-Терм, 2007. 240 с.
4. *СТО ВТИ 37.002-2005. Основные требования к применению ионитов на водоподготовительных установках тепловых электростанций. Технологические рекомендации по диагностике их*

качества и выбору [Электронный ресурс] //NORIAQUA : [сайт]. [2024]. URL : <https://norიაqua.ru/files/normiruushchie-dokumenty/СТО%20ВТИ%2037.002-2005/> (дата обращения: 03.09.2024).

5. Мосин О. В. Технологический расчет установок электрокоагуляции воды // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. Вып. 4. С. 28–34.

6. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л. А. Кульский, И. Т. Гороновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко. К. : Наукова думка, 1980. Ч. 1. 674 с.

7. Ковалева Н. Г., Ковалев В. Г. Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности. М. : Химия, 1987. 160 с.

8. Справочный документ по общим принципам мониторинга. URL : https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/fd7/monitoring_1303.pdf (дата обращения: 22.08.2024).

9. Рудник В. А. Фабрики чистой воды. К. : Техніка, 1984. 159 с.

10. Санфиоров Е. С., Бернадинер М. Н. Термическая переработка металлосодержащих шламов химических производств с извлечением ценных компонентов : обзорн. информ. // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. М. : НИИТЭХИМ, 1987. Вып. 3 (70). 28 с.

11. Ситтиг М. Извлечение металлов и неорганических и неорганических соединений из отходов : справочник / пер. с англ. под ред. Н. М. Эмануэля. М. : Металлургия, 1985. 408 с.

12. Бернадинер М. Н., Шурыгин А. П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М. : Химия, 1990. 340 с.

13. Бобух Л. В., Бобух К. А. Влияние факторов окружающей среды на биосистемы // Экология и ресурсосбережение. 2001. № 5. С. 74–76.

14. Джеймс А. Математические модели контроля загрязнения воды / пер. с англ. под ред. Ю. М. Свирежева. М. : Мир, 1981. 472 с.

15. Математические модели, описывающие процесс загрязнения воды / С. Г. Курень, Г. В. Мишугова, А. П. Мул, Г. Ю. Рябых // Современные проблемы естественных наук. 2014. Т. 1 (2). С. 119–121.

© Смирнова И. В.

**Рекомендована к печати к.т.н, доц. каф. химии и инновационных технологий
ЛГУ им. В. Даля Верех-Белоусовой Е. И.,
директором НЦМОС ДонГТУ Кусайко Н. П.**

Статья поступила в редакцию 12.06.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Смирнова Ирина Владимировна, канд. хим. наук, зав. комплексной многопрофильной научно-исследовательской лабораторией Научного центра мониторинга окружающей среды Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия
e-mail: kamerton_i@mail.ru

Smirnova I. V. (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, kamerton_i@mail.ru)

CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF MODERN WATER TREATMENT METHODS

The paper provides a brief overview of modern methods of water purification from contaminants, proposes a classification and analyzes the applied water treatment technologies. The need to use complex methods of water purification in compliance with the principles of environmental excellence is emphasized. A classification of impurities, technologies for their elimination, and methods for neutralizing and utilizing the resulting sludge is presented.

Key words: water purification methods, classification, environmental excellence, pollutant emission factor, integrated water purification system.

Funding: the research was carried out at the expense of the federal budget (subject code: FRRU-2024-0004 in the USISU of R&D).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Smirnova Irina Vladimirovna, Ph.D., Associate Professor, Head of the Integrated Multidisciplinary Research Laboratory of the Scientific Center for Environmental Monitoring
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia
e-mail: kamerton_i@mail.ru