
СТРАТЕГИИ И ИННОВАЦИИ

УДК 001.895:332.821

А.Ю. Броницын

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В СФЕРЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЖКХ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Аннотация. Статья посвящена современным методам очистки сточных вод, качество которых определяет, как состояние окружающей среды, так и уровень здоровья жителей определенной территории. Рассмотрены такие методы очистки сточных вод, практикуемые в России и за рубежом, как биологическая очистка воды активным илом, центрифугирование, сорбция, флотация, обработка воды ультрафиолетом, озонирование, микро- и нанофильтрация. Отдельно проанализированы способы переработки сухого остатка очистных сооружений, затронут вопрос об экономической эффективности качественной очистки сточных вод.

Ключевые слова: окружающая среда, экологическая безопасность, эколого-ориентированное инновационное развитие, очистка сточных вод, нанофильтрация.

Andrey Bronitsyn

CURRENT TRENDS OF THE ECOLOGICAL- FOCUSED INNOVATIVE DEVELOPMENT IN THE SPHERE OF SEWAGE TREATMENT BY THE HOUSING AND PUBLIC UTILITIES ENTERPRISES IN RUSSIA AND ABROAD

Annotation. The article deals with the up-to-date methods of sewage treatment as its quality determines both the state of the environment and the health level of the inhabitants of the certain territory. We describe such methods of water cleaning applied in Russia and abroad as ASP (the Activated Sludge Process), centrifugation, sorption, flotation, ultraviolet treatment, ozonation, micro- and nano filtration. Besides some ways of recycling of the dried waste of the sewage treatment plants, touching upon the item of the economic efficiency of the quality water cleaning are analyzed.

Keywords: environment, environmental safety ecology-oriented innovative development, sewage treatment, nano filtration.

Очистка сточных вод всегда была сложной задачей, особенно для больших городов. Вред, наносимый сбросом недоочищенной воды в природные водоемы, трудно переоценить. Загрязнение водных источников биогенными элементами (в частности аммонийным азотом) приводит к цветению и замору водоема, а концентрация данного вещества, например, в Москва-реке превышена в различных местах в 2-16 раз. Каждый второй житель России использует для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей гигиеническим требованиям [5]. Известным является утверждение Л. Пастера о том, что 80 % своих болезней мы выпиваем. И хотя список таких болезней за последние столетия изменился, степень вредного воздействия недоочищенной воды на организм человека оста-

ется прежней. Существует более ста вирусов, передающихся с водой и вызывающих такие заболевания, как полиомиелит, гепатит А и Е, серозный менингит, миокардит, гастроэнтерит и т.д. [7]. Воздействие ряда элементов (стронций-90, цезий-137) вызывает негативные последствия (от снижения продолжительности жизни до мгновенной гибели) путем мутагенного влияния на хромосомы, причем опасным является не только потребление зараженной данными радиоактивными веществами воды в пищу, но и купание в ней, а также употребление зараженных рыб и других организмов [9].

Одна из проблем кроется в том, что предельно допустимая концентрация (ПДК) таких вредных веществ, как свинец, нитраты, рассчитана на взрослого человека средней массы (70 кг), поэтому в наибольшей мере от загрязнения воды страдают дети (так называемый критический период жизни): возрастает количество аллергических, сердечно-сосудистых, психических заболеваний [8]. Превышение в воде содержания марганца крайне неблагоприятно сказывается на беременных женщинах: у ребенка развиваются серьезные поражения мозга вплоть до идиотии, поскольку марганец снижает проводимость нервных клеток, а избыток марганца невозможно вывести из организма. Превышение концентрации в воде таких веществ, как цинк, кобальт, мышьяк, хром, никель, марганец, селен, серебро, ртуть, свинец, приводит к их накоплению в организме и, как следствие, к отравлению и мутации клеток, поскольку данные вещества засоряют каналы почек и печени, уменьшая их способность фильтровать кровь.

Для питьевой воды большое значение имеют также ее вкусовые свойства, поэтому не должны быть превышены показатели по таким факторам, как содержание в воде хлоридов натрия – NaCl (вода приобретает соленый вкус), хлоридов магния – $MgCl_2$ (придает горьковатый вкус воде), избытка кислот (кислый вкус) и органических веществ (сладковатый привкус). Для солей NaCl, $MgCl_2$, Na_2SO_4 и $NaHCO_3$ ПДК составляет 400-500 мг/дм³, для солей $CaSO_4$ и $NaNO_3$ – 100-200 мг/дм³, для соединений железа – 1-5 мг/дм³ [1].

Рассмотрим теперь сточные воды, которые можно разделить на семь групп:

1) хозяйственно-бытовые сточные воды – стоки, формирование которых происходит вследствие физиологических и санитарно-гигиенических отправлений в быту, в домашних хозяйствах. Несмотря на то, что следующая группа представлена сточными водами больших предприятий, именно первая группа – бытовые сточные воды – составляет 70-85 % объема водоотведения как в малых, так и в крупных городах;

2) производственные сточные воды – стоки предприятий различных отраслей промышленности, кроме горнодобывающей (данную группу выделяют особо);

3) сельскохозяйственные сточные воды – стоки, формируемые животноводческими и птицеводческими хозяйствами;

4) ливневые сточные воды – поверхностный сток, формируемый в основном дождевой водой;

5) дренажные воды – грунтовые воды, отводимые с целью осушения от зданий или, например, из тоннелей метро, с целью осушения данного объекта;

6) сточные воды горнодобывающей промышленности – водоотливы шахт, пластовые воды, оборотные воды обогатительных фабрик, буровые растворы и т.д.;

7) условно чистые сточные воды – вода (чаще природного происхождения), используемая для системы охлаждения различных термических и энергогенерирующих производств.

Итак, мы видим, что жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) занимает лидирующее положение в загрязнении водных источников в России. В некоторых городах доля сточных вод, сбрасываемых предприятиями ЖКХ в водные объекты, выше среднего показателя и составляет около 90 % (г. Москва, г. Омск) [12].

Тем не менее можно с уверенностью говорить о том, что высокий уровень качества услуг при современном развитии науки вполне возможен при условии ответственного отношения к данной проблеме и развития эколого-ориентированной направленности предприятий ЖКХ.

В очистке сточных вод в России и за рубежом успешно функционируют такие методы, как биологическая очистка воды активным илом, центрифугирование, сорбция, флотация, обработка воды ультрафиолетом или озонирование, микро- и нанофильтрация. Активный (иногда его называют «живым») ил представляет собой колонию бактерий и простейших микроорганизмов, с помощью которых на этапе биологической очистки происходит удаление 90-95 % веществ, способных нанести вред природе и здоровью человека. Очистка городских сточных вод от аммиака (нитрификация) является крайне важным этапом очистки сточных вод, так как, во-первых, аммоний является сильным ядом для рыбы, а во-вторых, биологическое окисление данного вещества требует большого количества кислорода, что приводит к исчерпанию его запасов в водоемах. В обычном городском стоке содержится лишь 40 % кислорода, необходимого для окисления аммония. В то же время очищение сточных вод активным илом способно решить эту проблему при помощи нитрифицирующих бактерий. Недоочистка сточных вод от фосфора приводит к эвтрофикации (излишнему росту растительности в водоемах), которая становится причиной «гибели» водоемов. Использование активного ила позволяет превратить фосфор в полифосфаты, которые затем удаляются с избыточным илом [11]. Очистка воды активным илом интенсивно применяется в Европе: в частности, с 1991 г. таким образом очищается вода, предназначенная для сброса в реку Эльбу, что помогло спасти эту реку от загрязнения: к 2004 г. содержание в ней ртутных соединений сократилось на 92 %, хлора – на 99 %, азота – на 46 %, фосфора – на 66 % [6].

Метод флотации позволяет очистить воду от нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ (ПАВ), волокнистых веществ, жиров и взвесей активного типа. Данный метод основан на гидрофобности молекул подобного рода веществ, что приводит к их объединению с подающимися в воду пузырьками воздуха и скапливанию на поверхности воды в виде пены, которая затем удаляется.

Метод нанофильтрации позволяет очистить воду от крупных заряженных частиц (многовалентных ионов кальция, магния, марганца, железа, тяжелых металлов типа ртути и свинца, а также нитратов и пестицидов). Помимо этого, нанофильтрация приводит к умягчению воды без использования – что крайне важно – реагентов, а также служит обезжелезивателем воды, обеспечивая сразу два этапа очистки воды: выполняемую обычно активированным углем и хлором/ультрафиолетом. Хлорирование воды признано устаревшим способом дезинфекции воды, поскольку в процессе обработки воды хлором образуются хлорорганические соединения, являющиеся канцерогенными. Озонирование воды не требует постоянной закупки реагентов, так как озон генерируется особым прибором из воздуха, и поэтому дорогостоящие установки достаточно быстро окупаются. Помимо этого, скорость очищения воды озоном (неизвестно ни одного микроорганизма, устойчивого к воздействию озона при времени воздействия, не превышающем нескольких секунд) намного превышает скорость обработки воды ультрафиолетом или нанофильтрации, которая требует к тому же прокачки воды под высоким давлением. Озонирование также способствует удалению железа и марганца из воды, а также вредных примесей (чего не достигается в случае хлорирования воды), ее обесцвечиванию и улучшению вкусовых качеств. Немаловажен также и тот факт, что использованный озон не вредит атмосфере, поскольку является нестойким соединением и быстро превращается в молекулярный кислород. Обработка воды озоном, таким образом, является наиболее экономичным и современным способом очистки воды. Применение данного метода получает все большее распространение на территории России, в частности, в г. Санкт-Петербурге. Еще один плюс использования озона для очистки воды заключается в том, что в осадочном состоянии он стерилизует стенки резервуаров [10].

Тем не менее обработка воды хлором до сих пор повсеместно применяется на территории России, хотя и признана опасной для здоровья человека и окружающей среды. Остаточный хлор при попадании в естественные водоемы приводит к гибели полезных микроорганизмов, нарушая таким образом природный баланс и вызывая ряд необратимых изменений. СанПиН 2.1.4.027-95 повысил

допустимое расстояние до жилых территорий всех процессов, связанных с применением хлора, до 300 м (ранее – 100 м).

Обработка воды ультрафиолетовыми лучами приводит к гибели бактерий, вирусов, простейших и грибов (поглощение ультрафиолета приводит к димеризации тимина в молекулах дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) данных микроорганизмов) [7]. В Северной Америке и ряде стран Европы в конце 70-х гг. УФ-обработка воды стала успешно применяться в качестве альтернативы хлорированию воды. Обработка воды УФ-лучами основана на фотохимических реакциях внутри микроорганизмов, приводящих к их гибели. УФ-обработка имеет ряд преимуществ перед хлорированием: происходит более качественная очистка воды от вирусов, качество очистки не зависит от характеристик воды, УФ-обработка подходит для очистных станций большой производительности, снижаются расходы, поскольку нет необходимости закупать реагенты. Важным моментом является предварительная качественная очистка воды от любых механических примесей (для чего используются особые сита и отстойники), поскольку УФ-излучение не может проходить сквозь песчинки и тому подобные включения, в результате чего патогенные организмы «прячутся» в их тени и оказываются неподверженными воздействию УФ-лучей.

В Австралии был создан особый университет, разработки которого направлены на поиск нанотехнологий, позволяющих быстро и качественно очищать воду. Были получены наночастицы (кварц, покрытый углеводородом), способные притягивать к себе патогенные частицы, после чего они отфильтровываются вместе с наночастицами. В Италии получили широкое применение габионы – конструкции, представляющие собой шестигранные ячейки с гальфановым, полимерным (срок службы до 75 и 100 лет соответственно) или цинковым покрытием (срок службы около 35 лет), изготовленные из оцинкованной металлической сетки двойного кручения и наполненные природным камнем. Данные технологии применяются для очистки воды также и в России в Московском регионе [12].

Для системы водоотведения крайне важно наличие в населенном пункте ливневых стоков и резервуаров для временного хранения дождевой воды (до того момента, пока не возникнет возможность пропустить ее через очистные сооружения), поскольку в противном случае дождевая вода попадает в общий канализационный сток, переполняет его, после чего часть сточной воды попадает в водоемы неочищенной. Предотвратить это в Европе помогают так называемые матрасы Рено, по строению схожие с габионами, но используемые для меньших объемов воды. Отведение ливневых стоков к каскаду водоемов, выложенных такими матрасами, позволяет не допустить перегруза канализационных стоков, отвести и очистить дождевую воду в нужной степени. Подобные конструкции также используются в странах Европы для укрепления набережных и причалов и защиты их от водной, волновой и ветровой эрозии.

В процессе очистки сточных вод успешно используется также метод гидролиза. Растворимые вещества, образующиеся в процессе гидролиза, затем отделяются от активного ила осаждением или центрифугированием. Гидролиз относится к методам анаэробной очистки, наряду с UASB-реакторами, функционирующими с 80-х гг. в Голландии [11]. Реакторы анаэробной очистки являются недорогими (энергозатраты ниже, чем при использовании для очистки органических веществ) и генерируют биогаз, имеющий энергетическую ценность. Особенно выгодной является очистка теплых сточных вод, так как это позволяет уменьшить объем реактора за счет повышения концентрации ила в нем. Методы анаэробной очистки развиваются как раз в этом направлении: применяются реакторы со слоем взвешенного ила, который называют «псевдоожиженным слоем» [11]. Таким образом, современные технологии позволяют максимально приблизиться к компромиссу между «экологически желаемым» и «экономически возможным» и, насколько это возможно, решить проблему «экологизации экономики», тесно связанную с обеспечением экологической безопасности [4; 9, с. 100].

Методы утилизации отходов самих очистных сооружений также становятся все более современными: если ранее сухой осадок просто вывозился на полигоны, то в настоящее время и в России, и за рубежом применяется технология обезвоживания осадка и его сжигание. Оборудование для этого достаточно дорогое, однако определенная модернизация (установка высокоскоростных воздуходувок и т.д.) позволило снизить затраты на этом этапе. В США измельчение бытовых отходов, попадающих в сточные воды, предусмотрено прямо в устройствах, встроенных в кухонные мойки, что существенно снижает затраты на строительство перерабатывающих станций, а это позволяет экономить колоссальные суммы в масштабах страны [3]. В Европе и Америке утилизируется от 60 % до 90 % осадков сточных вод, в то время как в России – лишь 5-10 % [2]. В настоящее время в нашей стране развивается технология детоксикации осадков сточных вод гуминовыми кислотами, обладающими высокой сорбционной емкостью по отношению к тяжелым металлам и радионуклеидам, а также способными связывать ряд вредных органических соединений [2]. В этом случае сухой остаток может быть без вреда использован в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Помимо этого, в процессе брожения данного остатка выделяется метан, который собирают в особых газгольдерах и впоследствии используют для обогрева самих очистных станций.

Таким образом, мы видим, что качественная очистка сточных вод может производиться (и в ряде городов производится) на достаточно высоком уровне. Существует огромное количество разработок в данной области, позволяющих не только снизить вред, наносимый недоочищенными сточными водами окружающей среде и здоровью населения, но и сделать этот процесс самоокупаемым либо снизить затраты до минимума. Проблема заключается в том, что для этого потребуются полная реконструкция очистных сооружений во многих городах России: например, постройка резервуаров для временного хранения ливневых вод или установка оборудования для очистки воды озоном – процесса, не требующего никаких дальнейших затрат на реагенты. Тем не менее эколого-ориентированный подход к очистке сточных вод позволит решить многие проблемы с экологией и, как следствие, со здоровьем жителей крупных городов, а также получать от очистки воды полезные побочные продукты типа газа и сельскохозяйственных удобрений.

Библиографический список

1. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества : ГОСТ Р 51232-98 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Справочная правовая система «КонсультантПлюс» (дата обращения : 19.06.2017).
2. Гарилов, Т. Т. Детоксикация тяжелых металлов в водных растворах их солей и осадках сточных вод с использованием водорастворимых гуминовых кислот / Т. Т. Гарилов, В. М. Фердман, И. М. Габбасова [и др.] // Экология и промышленность России. – 2014. – № 6. – С. 59–61.
3. Калмыков, А. А. Возможности утилизации отходов на очистных сооружениях / А. А. Калмыков // Экология производства. – 2017. – № 6. – С. 50–56.
4. Киселева, С. П. Теория эколого-ориентированного инновационного развития : дис.. д-ра экон. наук : 08.00.05 / С. П. Киселева. – М., 2014. – 425 с.
5. Новиков, Ю. В. Экология, окружающая среда и человек / Ю. В. Новиков. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 736 с.
6. Рагузина, Г. Бурные воды ганзейских путей / Г. Рагузина // Экология и право. – 2015. – № 3(59). – С. 38–42.
7. Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 20 с.
8. Тарасова, Г. И. Общая экология / Г. И. Тарасова, С. В. Сверхгузова. – Белгород : БГТУ, 2010. – 302 с.
9. Тихомиров, Н. П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками / Н. П. Тихомиров, И. М. Потравный, Т. М. Тихомирова. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.
10. Тятте, А. Круговорот воды в городе / А. Тятте // Экология и право. – 2015. – № 3(59). – С. 42–46.
11. Хенце, М. Очистка сточных вод / М. Хенце. – М. : Мир, 2004. – 480 с.
12. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М. : АСВ, 2004. – 704 с.