



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-332-344

УДК 628.31

Научная статья / Research article


Доочистка бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов

В.Н. Волкова¹  , В.Л. Головин¹, К.Ю. Кириченко^{1,2} 

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ), Политехнический институт (школа), Владивосток, Российская Федерация

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,

Краснообск, Российская Федерация

vladavibi@bk.ru

Аннотация. Недоочищенная вода после биологической очистки сточных вод очень часто превышает естественную самоочищающую способность водоемов и водотоков. Повышение требований к экологической безопасности сброса сточных вод в природные водные объекты определяет особую актуальность совершенствования технологических методов и средств доочистки сточных вод. В мировой практике доочистки предварительная фильтрация и фильтрация по праву считаются одними из самых эффективных методов. В то же время одним из наиболее распространенных устройств, используемых при доочистке сточных вод, являются песчаные фильтры с зернистым фильтрующим материалом, эффективность которых часто переоценивают. Рассмотрены проблемы доочистки сточных вод методом фильтрации с использованием песчаных фильтров с зернистой фильтрующей загрузкой, рассмотрены основные проблемы, возникающие при использовании таких устройств без учета особенностей процессов доочистки при наличии органического вещества в высокодисперсные коллоидные формы. Обоснованы дополнительные требования по снижению концентрации токсичных веществ при сбросе сточных вод в природные водоемы и минимизации изменения условий развития биоценоза этих объектов. Определены причины недостаточной эффективности доочистки сточных вод на песчаных фильтрах, в том числе причины

© Волкова В.Н., Головин В.Л., Кириченко К.Ю., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

увеличения содержания органических веществ в фильтрате после доочистки. Сформулированы основные критерии эффективного использования фильтрующих устройств в системах очистки сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, водные объекты, третичная очистка, фильтрация, песчаные фильтры, технологические требования

Благодарности и финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90004.

Вклад авторов: Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

История статьи: поступила в редакцию 10.05.2022; принята к публикации 13.07.2022.


Для цитирования: Волкова В.Н., Головин В.Л., Кириченко К.Ю. Доочистка бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 332–344. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-332-344>

Purification of domestic wastewater with a sand filter from biogenic elements

Vladislava N. Volkova¹  , Viktor L. Golovin¹,
Konstantin Yu. Kirichenko^{1,2} 

¹*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Far Eastern Federal University” (FEFU), Polytechnic Institute,
Vladivostok, Russian Federation*

²*Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies RAS,
Krasnoobsk, Russian Federation*

vladavibi@bk.ru

Abstract. Wastewater after biological wastewater treatment very often exceeds the natural ability of reservoirs and watercourses to self-purify. Increasing requirements for the environmental safety of wastewater discharge into natural water bodies determines the particular relevance of improving technological methods and wastewater treatment facilities. In the world practice of post-treatment, preliminary filtration and filtration are rightfully considered one of the most effective methods. At the same time, one of the most common devices used in post-treatment of wastewater are sand filters with granular filter material, the effectiveness of which is often overestimated. The problems of post-treatment of wastewater by filtration using sand filters with a granular filter load are considered, the main problems that arise when using such devices are considered without taking into account the features of post-treatment processes in the presence of organic matter in highly dispersed colloidal forms. Substantiated are additional requirements for reducing the concentration of toxic substances when discharging wastewater into natural water bodies and minimizing changes in the conditions for the development of the biocenosis of these objects. The reasons for the insufficient efficiency of wastewater post-treatment on sand filters, including the reasons for the increase in the content of organic substances in the filtrate after post-treatment, are determined. The main criteria for the effective use of filtering devices in wastewater treatment systems are formulated.

Keywords: wastewater, water objects, tertiary cleaning, filtration, sand filters, technological requirements

Acknowledgements and Funding: The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20-38-90004.

Authors' contributions: All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 10.05.2022; accepted 13.07.2022.

For citation: Volkova VN, Golovin VL, Kirichenko KYu. Purification of domestic wastewater with a sand filter from biogenic elements. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):332–344. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-332-344>

Введение

В связи с ухудшением экологического состояния водоемов – приемников сточных вод – и более тщательным изучением проблем экологической безопасности становится все более необходимым удаление из воды не только взвешенных веществ в виде грубых примесей, но и коллоидных сложных органических образований в виде биогенных элементов (соединениями фосфора и азота). В связи с этим необходимо определить, возможно ли эффективное удаление высокодисперсных соединений при фильтрации, в частности, на песчаных фильтрах и какова степень опасности наличия остаточного количества биогенных элементов в фильтрате, сбрасываемом в естественные водоемы. Это связано не только с недостаточно полным удалением остаточных загрязнений после биологической очистки, но и с их сниженной производительностью, к которой в первую очередь относится короткий период регенерации с интенсивным снижением скорости фильтрации, необходимостью использования значительных объемов очищенной воды при гидравлической регенерации загрузки. Таким образом, необходимо признать, что такие устройства, как песчаные фильтры, не всегда справляются с задачами доочистки. В то же время изучение причин, определяющих проблемы эксплуатации этих фильтрующих устройств, позволит во многом уточнить направление совершенствования технологических приемов доочистки сточных вод фильтрацией.

Цель работы – исследование доочистки бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов.

Поставлены следующие задачи:

- исследовать основные технологические факторы, определяющие процесс фильтрации при доочистке сточных вод;
- обосновать критерии эффективности фильтровальных устройств при необходимости снижения содержания органических соединений в фильтрате до максимального снижения вероятности образования канцерогенных веществ при хлорировании или озонировании сточных вод, а также при необходимости предотвращения бактериологического загрязнения сточных вод.

Известно, что при обеззараживании перед сбросом неочищенных сточных вод хлорированием [1; 2] или озонированием [3; 4] водный объект загрязняется не только относительно безопасными компонентами, но и канцерогенами в виде хлорорганических или озоновых веществ. Существующее нормативное требование определяет обязательное интенсивное перемешивание сбрасываемых стоков и, как следствие, ускоренное распространение токсинов в максимально возможном объеме водоема. Такое парадоксальное требование, противоречащее законам экологической безопасности приемников сточных вод, приемлемо только в том случае, если фильтрующий аппарат позволяет максимально снизить концентрацию растворенных органических веществ в сточных водах после доочистки.

Также важно учитывать, что существующая практика доочистки не направлена на снижение нагрузки на сооружения доочистки по таким трудноизвлекаемым из сточных вод компонентам, как биогенные вещества [5]. Ранее считалось, что растворенная органика поступает на очистные сооружения только в общем объеме сточных вод и значительная их часть перерабатывается в аэротенках и вторичных отстойниках. Предполагалось, что это позволяет достичь требуемой степени очистки для сброса в водный объект при условии интенсивного перемешивания и разбавления сточных вод.

Материалы и методы

В работе исследованы возвратные воды, негативно влияющие на нагрузку очистных сооружений «Центральные» г. Владивостока по биогенным элементам. Состав сточных вод изучался фотометрическим методом. Для определения аммония в сточных водах в сухую колбу вместимостью 100 см³ вливали 50 см³ фильтрованной анализируемой воды, добавляли 1 см³ раствора сегнетовой соли, перемешивали, затем добавляли 1 см³ реактива Несслера и снова хорошо перемешивали. Через 10 мин измеряли оптическую плотность образцов на спектрофотометре UNICO 1201 (United Products & Instruments, USA) с $I = 425$ нм в кюветах с длиной поглощающего слоя 2 см относительно дистиллированной воды.

Одновременно с серией проб анализируемой воды провели контрольную пробу, за которую берут 50 см³ дистиллированной воды. Оптическую плотность холостого образца вычитают из оптической плотности анализируемых образцов.

Если массовая концентрация аммонийного азота в анализируемой воде превышает 4,0 мг/дм³, то для определения берут аликвоту меньшего объема и доводят объем до 50 см³ дистиллированной водой.

Массовую концентрацию аммонийного азота в анализируемой пробе воды находят по градуировочной зависимости с учетом разбавления.

Для измерения фосфора в сухую коническую колбу вместимостью 100 см³ вносят отфильтрованную анализируемую воду объемом 50 см³ и добавляют по 10 см³ смешанного реагента, содержимое колбы хорошо перемешивают. Через 10–15 мин измеряют оптическую плотность раствора на

спектрофотометре UNICO 1201 (United Products & Instruments, USA) с непрерывной разверткой спектра при длине волны 620 нм в кювете с толщиной слоя 5 см относительно дистиллированной воды.

Одновременно проводят два параллельных измерения оптической плотности холостых проб, в качестве которых используют 50 см³ дистиллированной воды.

При повышенной оптической плотности пробы, до последней точки градуировочной зависимости, повторяют определение, предварительно разбавив исходную пробу дистиллированной водой. Для этого пипеткой отбирают такой объем анализируемой воды, чтобы при разбавлении в мерной колбе вместимостью 50 см³ полученная концентрация фосфора находилась в пределах от 0,1 до 0,2 мг/дм³.

Результаты и обсуждение

Тщательное изучение процессов очистки сточных вод на очистных сооружениях показывает, что значительная часть (до 17–38 %) тонкодисперсных соединений содержится в возвратных водах после гидрорегенерации фильтрующего слоя и в фугате после обезвоживания осадка. Состав биогенных элементов возвратных сточных вод очистных сооружений г. Владивостока (координаты 43.169208, 131.936903) представлен в табл. 1.

Таблица 1/ Table 1

Состав биогенных элементов возвратных вод от канализационных очистных сооружений г. Владивостока / The composition of biogenic elements in the return water of treatment facilities in Vladivostok

Вещество/ Substance	Промывная вода, мг/л / Wash water, mg/l
Аммоний /Ammonium	83,32±1,52
Фосфаты /Phosphates	36,58±0,27

± – стандартное отклонение/ ± – standard deviation

Оба эти компонента, образуящиеся непосредственно на очистных сооружениях, традиционно передаются в «голову» очистных сооружений и, как следствие, увеличивают нагрузку на систему доочистки, так как невозможно обеспечить глубокую очистку сточных вод в аэротенках и вторичных отстойниках. Кроме того, следует учитывать, что растворенные органические вещества и биогены во многом определяют питательность очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоем, а их высокая концентрация может спровоцировать неконтролируемое развитие различных, в том числе опасных, видов микроорганизмов. Простое смешивание не может снизить риск их присутствия в приемнике сточных вод. Этот аргумент также доказывает необходимость минимизировать содержание биогенных элементов в сбрасываемых водах после фильтрации при доочистке, и только в этом случае можно снизить вероятность изменчивости микробиома водоемов, увеличивая безопасность водных объектов.

В связи с ужесточением требований обязательной экологической безопасности резервуаров – приемников сточных вод и, как следствие, обязательной доочистки этих стоков возникла идея использовать обычные самопромывные фильтры с песчаной загрузкой. Такие фильтры широко применяются в мировой практике и в настоящее время используются в основном для кондиционирования природных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако непосредственный «перенос» этого типа устройств и использование их для доочистки сточных вод не учитывали принципиальной разницы между очищаемыми средами в обоих случаях. На сегодняшний день экспериментально доказано и достаточно очевидно, что органические загрязнители разной степени дисперсности остаются в сточных водах, прошедших биологическую очистку и поступающих в систему доочистки. В такой среде обязательно присутствуют микроорганизмы, для которых, как уже отмечалось, водная органика в коллоидном или истинно растворенном состоянии имеет питательную ценность. В этой ситуации микроорганизмы достаточно активно иммобилизуются на зернах фильтрующего материала, образуя колонии, что приводит к быстрому биообрастанию фильтрующего материала и соответствующему увеличению фильтрующего сопротивления. Сокращение продолжительности фильтроцикла и увеличение гидроромывки с соответствующим увеличением расхода чистой воды на регенерацию загрузки быстро привели к пониманию нерациональности использования обычных песчаных фильтров для очистки сточных вод. Однако, несмотря на очевидные проблемы, эти устройства продолжают широко применяться в системах очистки сточных вод [6].

В связи с этой проблемой активно совершенствовались песчаные фильтры систем доочистки сточных вод, и в первую очередь это касалось увеличения грязеемкости загрузки. В то же время усовершенствования, связанные с оптимизацией и интенсификацией процессов фильтрации даже в фильтрах очистки природной воды, обычно сводились к изменению некоторых конструктивных элементов этих устройств, подбору оптимальных скоростей фильтрации, гранулометрического состава, типа фильтрующего материала, подбору реагентов и их дозировок [7].

При исследовании фильтрующих устройств различной конструкции, используемых для доочистки сточных вод, всегда наблюдается аналогичный механизм, который определяется питательностью сточных вод, содержащих растворенные органические вещества, преимущественно высокой степени дисперсности. Практика показывает, что именно эти вещества труднее всего удалить из водных сред на первых стадиях биологической очистки. В связи с этим в фильтрующих устройствах всегда происходит иммобилизация микроорганизмов на фильтрующем материале с формированием специфического биоценоза [8–9].

Такой микробиоценоз не только провоцирует достаточно быстрое обрастание фильтрующей среды, но и определяет важнейшее свойство,

которым должно обладать любое устройство, используемое в системе доочистки. Это свойство заключается в способности микробиома устранять сложные и устойчивые к разрушению комплексно-органические образования, находящиеся в сточной воде после вторичных отстойников, за счет выделения специфических ферментов. В связи с этим фильтрующие устройства, в том числе песочные фильтры с зернистой загрузкой, можно считать биореакторами, в которых наблюдаются указанные процессы. В фильтрах происходит не только механическое удержание растворенных продуктов загрязнения, но в основном биохимическая деструкция [10].

Песчаные фильтры для систем водоподготовки проектировались для других условий эксплуатации и, естественно, не могут учитывать некоторые физико-химические особенности процессов, протекающих в них при доочистке сточных вод. В связи с этим их прямая «передача» в структуры доочистки зачастую проблематична. При этом возникает парадокс, который характеризуется тем, что, с одной стороны, в фильтрах происходит процесс разрушения сложноорганических образований. Биогенные элементы удаляются за счет формирования специфического микробиома на зернах загрузки, а с другой стороны, в результате конструктивных особенностей, не соответствующих этому процессу, происходит активное биообрастание фильтрующей среды, так как хемостатный режим культивирования микроорганизмов не предусмотрен. Это условие, определяющее оптимум для биореактора любого типа, характеризуется, в частности, своевременным удалением микробных продуктов жизнедеятельности при элиминации органических веществ в присутствии агрессивных ферментов-деструкторов. В песчаных фильтрах системы очистки сточных вод удаление таких продуктов происходит эпизодически только при промывке загрузки обратным током воды [11].

В ряде работ отмечается, что характерным недостатком песчаных фильтров доочистки является быстрое падение скорости фильтрации [5]. Это не совсем точно объясняется засорением верхнего слоя фильтрующей загрузки – оседанием оторвавшихся и перешедших во взвешенное состояние частиц загрязнения, при его гидравлической регенерации. Ранее проведенные авторами исследования эффективности промывки песчаной фильтрующей загрузки показывают, что пробы, отобранные на разной глубине, содержат в поровом пространстве частицы илистых фракций. При нормативной интенсивности стирки загрузка вымывается неполностью, и даже на глубине 80–100 см отмечается остаточная засоренность. При этом при количественной оценке уменьшения общего объема поровых каналов оказывается, что из-за накопления таких частиц их сорбционная емкость снижается на 7–10 %, хотя общеизвестно, что загрязнения в быстром фильтре должны полностью задерживаться в верхнем слое толщиной не более 10–15 см [6]. Следовательно, по мере фильтрации жидкости окончательной очистки на частицах фильтрующей загрузки иммобилизуются микроорганизмы, ферменты которых обеспечивают деструкцию органических соединений, а коллоидные

фракции загрязнений в течение достаточно длительного времени частично переходят в состояние грубодисперсных образований, которые задерживаются в поровом пространстве по всей глубине быстрой фильтрующей загрузки. Таким образом, в таких фильтрах большое значение имеют технологические условия при наличии в жидкости органических компонентов и микроорганизмов. Особое значение имеет адсорбция удаляемых из потока частиц на поверхности зерен фильтрующего материала. Считается, что в песчаных фильтрах происходит процесс контактной коагуляции [13], аналогичный процессу, происходящему в отстойниках с песчаной контактной загрузкой. В то же время не исключено, что со временем (в процессе фильтрации) некоторая часть коллоидных образований самопроизвольно переходит в разряд крупных частиц. Такой процесс определяется влиянием известных факторов (температура среды, концентрация ионов водорода, наличие и концентрация окисляющих компонентов среды и др.). Об эффективности доочистки в волне допустимо судить по концентрации биогенных элементов в фильтрате, методы определения которых в настоящее время еще не исключают значительной погрешности. Как известно, наиболее точные значения концентраций, например, фосфатов и других видов фосфора можно получить с помощью спектрофотометрического анализа. Измерение интенсивности светового потока, проходящего через жидкий образец на разных длинах волн, позволяет судить о количестве вещества в образце. При этом, если количество вещества в процессе исследования не меняется, то результат измерения считается достаточно точным.

Обработка пластовых вод биологическими методами длительна по времени [14] и требует специально адаптированной биомассы. При доочистке сточных вод на песчаных фильтрах продолжительность процесса фильтрации обычно составляет 15–25 мин, и за это время значительная часть биогенных элементов, находящихся в сточных водах до фильтров, в основном находится в малодисперсном состоянии, сорбируются на зернах фильтрующей загрузки и тем самым удаляются из воды. В соответствии с действующими нормативами спектрофотометрический анализ воды должен быть проведен не позднее 6 часов с момента отбора проб. Тогда о достаточной точности использованного метода можно было говорить только в случае, когда коллоидные соединения органических веществ, присутствующие в фильтрате, в виде высокодисперсных образований по каким-либо причинам полностью отделились от раствора за указанное время или образец, отобранный для анализа, был сохранен.

Для этого на них необходимо воздействовать достаточно эффективными деструкторами, но поскольку в традиционно применяемых технологиях деструктивные воздействия отсутствуют, то естественно предположить, что при анализе часть высокодисперсных биогенов остается в жидкости в коллоидное состояние и полностью не выявляются [9]. И только со временем, если их не сохранять, в процессе отстаивания такие вещества могут изменять свою

дисперсность, постепенно переходя, например, в состояние грубодисперсных примесей, и непредсказуемо изменять структуру молекул, взаимодействуя с другими продуктами окисления. При этом деструкторами здесь могут быть ферменты микроорганизмов, обязательно присутствующие в жидкости, имеющей для них некоторую пищевую ценность. Это, в частности, подтверждается уже упоминавшимися результатами исследования загрузки песчаных фильтров, где частицы илистых фракций обнаруживаются по всей его толщине после промывки. Этот эффект подтверждается и наблюдаемыми на практике следами биокоррозии металлических элементов системы удаления фильтрата.

Для оценки погрешности определения соединений фосфора в сточных водах после доочистки на песчаных фильтрах использовали сравнительный анализ содержания этих ингредиентов при длительном отстаивании пробы фильтрата рис. 1 и периодических измерениях концентрации.

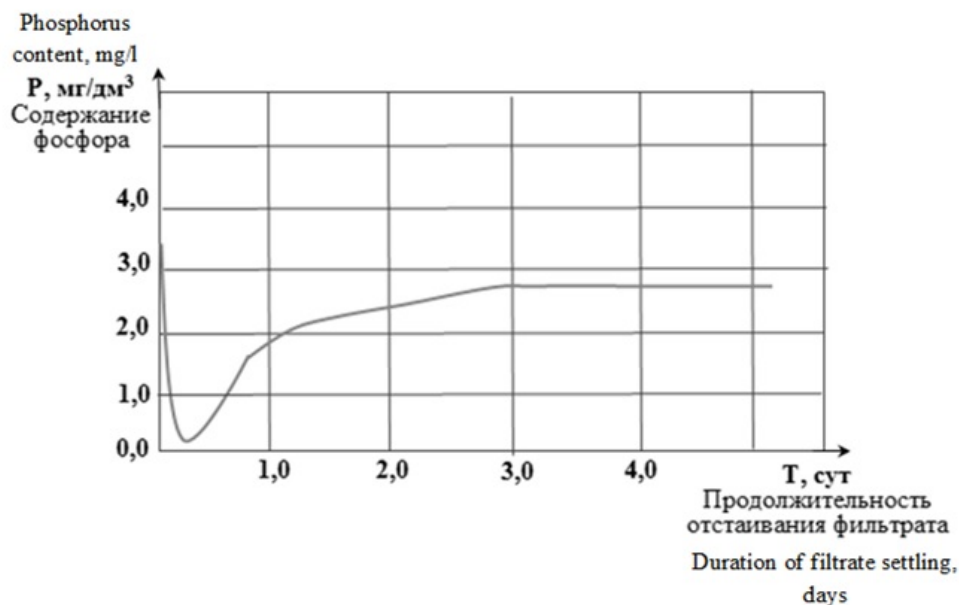


Рис. 1. Содержание фосфорных соединений в пробе фильтрата в процессе его отстаивания / Figure 1. The content of phosphorus compounds in the filtrate sample during its settling

Из графика на рис. 1 видно, что при подаче очищаемой жидкости на песчаный фильтр с песочной загрузкой после вторичных отстойников содержание фосфатов достигало $3,68 \text{ мг/дм}^3$, в первые 3 ч при их фильтрации концентрация снижалась до $0,07 \text{ мг/дм}^3$. В процессе отстаивания в той же пробе фильтрата без его консервации снова начинает увеличиваться содержание фосфатов, через сутки их концентрация достигает $2,0 \text{ мг/дм}^3$. На третьи сутки при содержании фосфатов $2,72 \text{ мг/дм}^3$ дальнейших изменений концентрации фосфатов не наблюдалось.

При этом оценку эффективности удаления фосфатов следует проводить в соответствии с действующей методикой по их концентрации в пробе фильтрата примерно через 3–4 ч. При таком подходе степень очистки воды от фосфатов составляет почти 99 %. Как оказалось, на третьи сутки отстаивания той же пробы фильтрата реально наблюдаемое значение фосфатов уменьшается чуть более чем на четверть. Следовательно, влияние доочистки сточных вод на печных фильтрах значительно меньше, что совершенно недопустимо с точки зрения обеспечения экологической безопасности водоемов – приемников сточных вод. В связи с этим можно отметить, что некоторые высокодисперсные формы органокомплексных соединений могут находиться за пределами зоны чувствительности используемого для их определения метода. В связи с этим требуется некоторое время для самопроизвольного перехода, например, фосфорных образований из коллоидного состояния в крупнодисперсное. В приведенном опыте при отстаивании этот процесс оказался достаточно длительным – около трех суток. Его можно охарактеризовать как многофакторный, но определяется он главным образом наличием микроорганизмов-деструкторов, которые в условиях эксперимента «работали» в свободном объеме. Только встряхивание пробы сточной жидкости проводилось непосредственно перед следующим определением содержания фосфатов. Иммобилизация микроорганизмов на неподвижной насадке, как известно, значительно ускоряет этот процесс.

Следовательно, спектрофотометрический анализ не всегда позволяет точно определить содержание соединений фосфора после доочистки сточных вод на песчаных фильтрах, если он проводится без учета устойчивости высокодисперсных образований. В случае, когда концентрация соединений фосфора перед фильтрами даже больше, чем в опыте, следует ожидать, что их содержание в фильтрате также будет лишь в 1,3–1,5 раза меньше исходного (до фильтрации). Этот эффект определяет повышенный риск присутствия биогенов, поскольку, как уже отмечалось, это повышает вероятность образования канцерогенов и неконтролируемого развития нежелательных патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов. Возможно также развитие эвтрофикации водоемов, причем не только локальной в месте сброса сточных вод, но и при их активном перемешивании могут быть охвачены обширные площади, хотя и при относительно невысокой концентрации остаточного загрязнения биогенными веществами и их производными.

Выводы

1. Установлено, что микроорганизмы иммобилизуются на зернах фильтрующего материала песчаных фильтров, образуя колонии, что приводит к быстрому биообрастанию по всей глубине фильтрующей загрузки с повышением фильтрующей стойкости.

2. Невозможность удаления продуктов жизнедеятельности микроорганизмов из загрузки в процессе фильтрации приводит к снижению интенсивности

удаления высокодисперсных органических соединений, выноса загрязняющих веществ в фильтрат и, как следствие, к снижению эффективности очистки.

3. Спектрофотометрический анализ не всегда позволяет точно определить содержание высокодисперсных соединений биогенов, в частности фосфора, после доочистки сточных вод на песчаных фильтрах, если его проводить без учета устойчивости этих образований.

4. Появление в фильтрате продуктов высокодисперсного органического вещества, представленного соединениями, не успевшими перейти в грубодисперсное состояние при фильтрации, образовавшимися в результате лизиса клеток и остающимися в коллоидном или истинно растворенном состоянии, не имеет значения. Необходимо исключить экологическую опасность для водоемов – приемников сточных вод в связи с тем, что при хлорировании и озонировании могут образовываться канцерогены, а неконтролируемый процесс появления патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов провоцирует дегенерацию микробиома этих объектов.

5. Конструктивно-технологические особенности песочных фильтров с зернистой загрузкой не в полной мере соответствуют условиям очистки сточных вод и критериям оптимальности. Таким образом, песчаные фильтры не всегда обеспечивают ожидаемую эффективность очистки сточных вод от высокодисперсных органических образований и поэтому могут использоваться в системах очистки сточных вод лишь в ограниченном объеме.

6. Полностью исключить или свести к минимуму возможность попадания в фильтрат органических веществ, в том числе биогенных, с помощью фильтрующих устройств можно только в случае целенаправленного действия эффективных деструкторов, обеспечения хемостатического режима культивирования микроорганизмов.

Список литературы

- [1] *Кирсанов В.В.* Санитарно-гигиеническая характеристика возможного влияния на здоровье населения побочных продуктов хлорирования сточной и питьевой воды // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 4. С. 93–96.
- [2] *Mitch W.A.* A N-Nitrosodimethylamine (NDMA) precursor analysis for chlorination of water and wastewater // *Water Research*. 2003. Vol. 37. No. 15. P. 3733–3741. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00289-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00289-6)
- [3] *Arshidinov M.M., Ospanova G.Sh.* Ozonization purification of industrial plants wastewater // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2020. No. 3(50). P. 90–95. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_50_3_90
- [4] *Шихалева Е.П.* Применение озонирования в технологии очистки сточных вод // Сантехника. 2019. № 6. С. 40–47.
- [5] *Макиша Н.А.* Вопросы интенсификации методов биологической очистки сточных вод // Вестник МГСУ. 2008. № S1. С. 174–177.
- [6] *Ульченко В.М.* Доочистка сточных вод на фильтрах с гранулированной загрузкой // Водоснабжение и санитария. 2010. № 12. С. 34–38.

- [7] Безродная И.В., Клеников С.С. К вопросу о фильтрации жидкости как основной стадии очистки воды // *Современные наукоемкие технологии*. 2006. С. 98–100.
- [8] Makisha N. A. Research for wastewater treatment technology with low production of excessive active sludge // *MATEC*. 2017. Vol. 106. P. 07016.
- [9] Волкова В.Н., Головин В.Л. Методы снижения негативного воздействия возвратных вод на биологическую очистку // *Экология промышленного производства*. 2021. № 4. С. 17–22.
- [10] Волкова В.Н., Головин В.Л. Доочистка сточных вод на беспленочном медленном фильтре // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 6. С. 15–19.
- [11] Галанцева Л.Ф., Шахина С.В. Исследования Фридланда по очистке сточных вод г. Чистополя от фосфатов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 2. С. 311–314.
- [12] Volkova V.N., Golovin V.L. Macrokinetic Model of Biochemical Oxidation // *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Nature. 2021. P. 487–494.
- [13] Омельченко А.В. Скорые фильтры // *Водоснабжение: учебное пособие для инженеров-проектировщиков и студентов специальности Водоснабжение и водоотведение / ООО «Центр содействия научным исследованиям»*. 2016. С. 375–383.
- [14] Makisha N.A. Research of ecology-friendly technology for elimination of ammonium from wastewater through the use of floating bed // *E3S Web of Conferences*, Ekaterinburg, 19 мая 2016 года. Ekaterinburg: EDP Sciences. 2016. P. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160601002>

References

- [1] Kirsanov VV. Sanitary and hygienic characteristics of the possible impact on the health of the population by-products of chlorination of waste and drinking water. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2012;15(4):93–96. (In Russ.).
- [2] Mitch WA. A N-Nitrosodimethylamine (NDMA) precursor analysis for chlorination of water and wastewater. *Water Research*. 2003;37(15):3733–3741. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00289-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00289-6)
- [3] Arshidinov MM, Ospanova GSh. Ozonation purification of industrial plants wastewater. *Bulletin of the Almaty University of Energy and Communications*. 2020;3(50):90–95. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_50_3_90
- [4] Shikhaleva EP. The use of ozonation in wastewater treatment technology. *Santekhnika*. 2019;(6):40–47. (In Russ.).
- [5] Makisha NA. Issues of intensification of methods of biological wastewater treatment. *Vestnik MGSU*. 2008;(S1):174–177. (In Russ.).
- [6] Ulchenko VM. Post-treatment of wastewater on filters with granular loading. *Water supply and sanitation*. 2010;(12):34–38. (In Russ.).
- [7] Bezrodnaya IV, Klenikov SS. On the issue of liquid filtration as the main stage of water purification. *Modern high technologies*. 2006:98–100. (In Russ.).
- [8] Makisha NA. Research for wastewater treatment technology with low production of excessive active sludge. *MATEC*. 2017;106:07016.
- [9] Volkova VN, Golovin VL. Methods for reducing the negative impact of return water on biological treatment. *Ecology of industrial production*. 2021;(4):17–22. (In Russ.).
- [10] Volkova VN, Golovin VL. Post-treatment of wastewater on a filmless slow filter. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(6):15–19. (In Russ.).
- [11] Galantseva LF, Shakhina SV. Friedland's research on wastewater treatment of Chistopol from phosphates. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2010;(2):311–314. (In Russ.).

- [12] Volkova VN, Golovin VL. Macrokinetic Model of Biochemical Oxidation. *Lecture Notes in Civil Engineering, Springer Nature*. 2021:487–494.
- [13] Omelchenko AV. Fast filters. *Water supply: a textbook for design engineers and students of the specialty Water supply and sanitation, LLC Center for the Promotion of Scientific Research*. 2016:375–383. (In Russ.).
- [14] Makisha NA. Research of ecology-friendly technology for elimination of ammonium from wastewater through the use of floating bed. *E3S Web of Conferences, Ekaterinburg, May 19, 2016*. Ekaterinburg: EDP Sciences; 2016. p. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160601002>

Сведения об авторах:

Волкова Владислава Николаевна – аспирант, инженер-исследователь, Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru

Головин Виктор Леонтьевич – кандидат технических наук доцент, профессор, Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. E-mail: golovin.vl@dvfu.ru

Кириченко Константин Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник СФНЦА РАН, научный сотрудник научно-организационного управления Политехнического института Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0000-0002-2715-3758. E-mail: kirichenko2012@gmail.com

Bio notes:

Vladislava N. Volkova, postgraduate student, research engineer, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (school), 10 pos. Ajax, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru

Viktor L. Golovin, Candidate of Technical Sciences Associate Professor, Professor, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (school), 10 pos. Ajax, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russian Federation. E-mail: golovin.vl@dvfu.ru

Konstantin Yu. Kirichenko, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the SFSC RAS, Researcher of the Scientific and Organizational Department of the Polytechnic Institute Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (school), 10 pos. Ajax, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2715-3758. E-mail: kirichenko2012@gmail.com