



⌘ Одноклеточные зелёные микроводоросли — хлорелла обыкновенная (*Chlorella vulgaris*)

Влияние фитопланктона на формирование качества воды и методы его удаления. Часть 2*

Рецензия эксперта на статью получена
10.01.2019 [Expert review on the article
received on January 10, 2019].

* Продолжение. Начало см. журнал СОК №2/2019.

Поступление микроводорослей с природной водой приводит к увеличению нагрузки на водопроводные сооружения, коагуляции загрузки фильтров, сокращению продолжительности фильтроцикла и, как следствие, к увеличению расхода воды на собственные нужды. Кроме того, при хлорировании воды, содержащей фитопланктон, в большинстве случаев образуются токсичные тригалогенметаны.

В отечественной и мировой практике водоподготовки снижение численности фитопланктона (микроводорослей) достигается несколькими технологическими приёмами — предотвращением развития микроводорослей, удалением фитопланктона и продуктов его жизнедеятельности и разложения.

К методам, позволяющим предотвратить развитие микроводорослей, относятся физические, химические и биологические методы.

Одним из эффективных и известных методов борьбы с цветением водоёмов является аэрация. Применение различных устройств, таких как аэрационный столик, аэратор роторного типа (рис.1), дождевальная установка, имеющая малую производительность, аэраторы «Винт», «Ёрш», Aqua-Pilz и др., позволяет за счёт

искусственного насыщения воды воздухом повысить концентрацию растворённого кислорода.

Для водоёмов, имеющих небольшой объём воды, применяется интенсивное перемешивание воды, препятствующее скоплению особенно сине-зелёных водорослей у поверхности воды и снижению их роста за счёт недостатка света, и отно-

В практике водоподготовки снижение численности фитопланктона (микроводорослей) достигается несколькими приёмами: предотвращением развития микроводорослей, удалением фитопланктона и различных продуктов его жизнедеятельности и разложения

сительно дешёвый метод непосредственного удаления верхнего, не перемешивающегося с водой слоя водорослей с помощью сетей для скимминга (skimming) [1].

В этом случае необходим постоянный контроль транспортировки, складирования и переработки сине-зелёных водорослей, как токсичных или опасных отходов.

УДК 628.16. Научная специальность: 05.23.04.

Влияние фитопланктона на формирование качества воды и методы его удаления. Часть 2

Ж. М. Говорова, д.т.н., профессор, кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ, г. Москва); **О. Б. Говоров**, к.т.н., ведущий научный сотрудник, ООО «Научно-технический центр «Фонсвит» (г. Балашиха); **А. В. Елсуков**, к.т.н., доцент, кафедра «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте», Российский университет транспорта [РУТ (МИИТ), г. Москва]

Статья посвящена анализу различных методов предотвращения интенсивного развития фитопланктона и его непосредственного удаления из природной воды. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт применения механической фильтрации с использованием микрофильтров и дисковых сит, напорной флотации и объёмного фильтрования через префильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой. Приведены результаты исследований процесса удаления микроводорослей, которые легли в основу проектирования и строительства водопроводных очистных сооружений.

Ключевые слова: природные воды, фитопланктон, запах, методы очистки воды, микрофильтры, дисковые сита, объёмная фильтрация, префильтры, флотация.

UDC 628.16. The number of scientific specialty: 05.23.04.

The influence of phytoplankton on the formation of water quality and methods of its removal. Part 2

Zh. M. Govorova, Doctor of Engineering, Professor, the Department of Water Supply and Wastewater Disposal, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU, Moscow city); **O. B. Govorov**, PhD, leading researcher, "Fonsvit" Scientific-Technical Center", JSC (Balashikha city); **A. V. Elsuikov**, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Water Supply in Transport, Russian University of Transport [RUT International (MIIT), Moscow city]

The article is about various methods for preventing the intensive development of phytoplankton and its direct removal from natural water. It is devoted to consider some domestic and foreign experience in applying mechanical filtration using microfilters and disk sieves, pressure flotation and volumetric filtration through pre-filters with floating polystyrene foam loading. There are results of research on the process of removing microalgae, which formed the basis for the design and construction of industrial water treatment plants.

Key words: natural waters, phytoplankton, smell, water purification methods, microfilters, disk sieves, bulk filtration, prefilters, flotation.

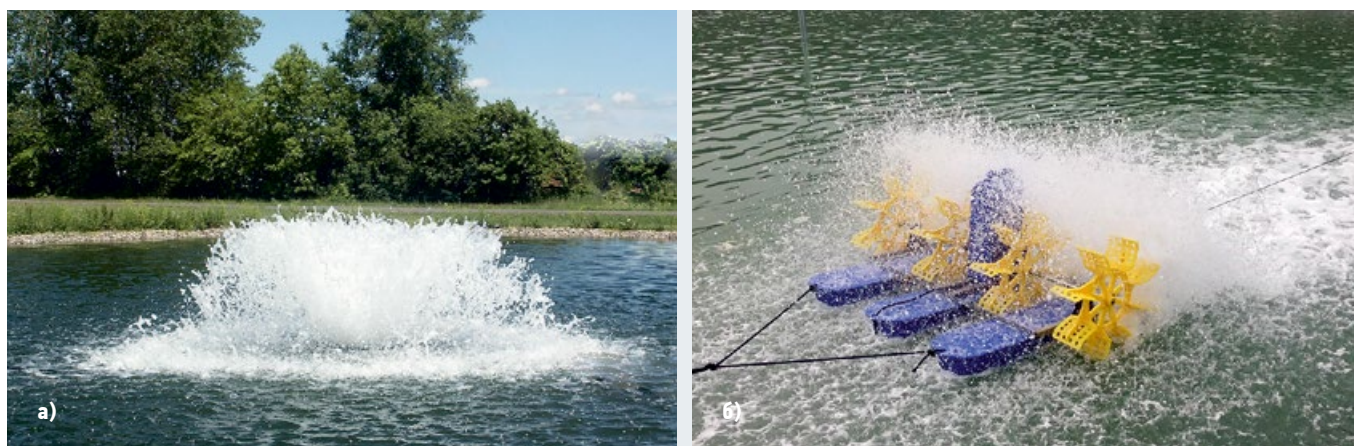


Рис. 1. Устройства для механической аэрации (а — аэрационный стол, б — аэратор роторного типа)

Кроме того, ведутся исследования в области воздействия на клетки фитопланктона высоких давления (более 4 МПа) и температуры, ультразвука и ультрафиолетового излучения (преимущественно для небольших искусственных водоёмов) и разработка плавающих установок.

Химические методы, основанные на использовании пестицидов, альгицидов (производных карбамида) и медного купороса с дозами от 0,3–1,5 мг/л в зависимости от типа водоёма позволяют уничтожать или предотвращать рост клеток фитопланктона. Однако область применения таких методов ограничивается инерционностью и потенциальной опасностью ядохимикатов, как для гидробионтов, так и водопотребителей.

Особенностью биологических методов предотвращения развития протокок-

ковых, диатомовых и сине-зелёных водорослей является использование растительноядных рыб, таких как белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), тилапия, карась и др., и макрофитов (тростник, камыш), которые создают конкуренцию к доступу питательных веществ и благоприятные условия для зоопланктона, питающегося фитопланктоном, который препятствует проникновению солнечного света и затеняет поверхность близлежащих участков водоёма.

Проведённый патентный поиск в области способов предотвращения развития фитопланктона и его подавления в поверхностных источниках питьевого водоснабжения показал, что перспективным является введение в водоём цианофагов и бактериальных агентов, например, суспензии зелёной микроводоросли *Chlorella*

vulgaris и *Brevibacillus laterosporus*. При внедрении способа на практике следует учитывать как возможность случайных взаимодействий, так и развитие устойчивости сине-зелёных водорослей к цианофагам.

Обзор зарубежных литературных источников показал, что для обработки природной воды, содержащей микроводоросли в значительных количествах, рекомендуется применять технологии, приведённые в табл. 1 [2].

В практике водоподготовки для удаления микроводорослей нашла распространение механическая фильтрация с использованием микрофильтров и дисковых сит DynaDisc; напорная реагентная и безреагентная флотация; объёмное фильтрование, реализуемое в фильтрах различных конструкций с использованием кварцевого песка, антрацита, цеолита, вспененного пенополистирола и др.

Опыт применения микрофильтров для удаления фитопланктона показывает, что они часто используются в составе водопроводных очистных сооружений. Эффективность микрофильтров в большинстве случаев зависит от видового состава фитопланктона, морфологических особенностей, условий питания и роста.

Микрофильтры, устанавливаемые в самом начале технологического процесса, предназначены для удаления фито- и зоопланктона, а также крупных взвешенных частиц. Общий вид промышленных микрофильтров показан на рис. 2.

Технологии обработки воды, содержащей микроводоросли

табл. 1

Технология	Эффективность, %
Микропроцеживание	40–70
Фильтрация совместно с коагуляцией и флокуляцией	90–98
Отстаивание + фильтрация	без предварительного окисления 95–99
	после предварительного хлорирования 99–99,9
	после предварительного озонирования 97–99,8
Флотация + фильтрация	без предварительного окисления 96–99
	после прехлорирования или предварительного озонирования 99–99,9
Предокисление + осветление + постозонирование + сорбция на гранулированном активном угле	99,9–99
Отстаивание/флотация + мембранное разделение	> 99,9



Рис. 2. Общий вид микрофильтра со стальной (а, б) и напроновой сеткой (в)

Микрофильтр представляет собой постоянно вращающийся сетчатый барабан, размещаемый во входной камере и оборудованный промывным устройством. Размер ячеек сетки от 20 до 60 мкм. Фильтрация воды в направлении «изнутри наружу» происходит под действием гравитационных сил и не прекращается во время промывки микрофильтров очищенной или обеззараженной водой, либо водой, прошедшей через микрофильтр.

Эффективность удаления фитопланктона на микрофильтрах колеблется в широких пределах и составляет от 30 до 85%. В табл. 2 в качестве примера приведены результаты экспериментальных исследований по очистке воды от микроводорослей на микрофильтре с сеткой в свету 40×40 мкм [3]. Полученные данные свидетельствуют о том, что чем больше удельная производительность и численность фитопланктона, тем ниже эффект очистки воды.

На водопроводных очистных сооружениях Zawada, Zielona Góra (Польша) производительностью 20 тыс. м³/сут. (рис. 3) установлены микрофильтры (микросита) с размером ячеек сетки 10×10 мкм [4].



•• Рис. 3. Водопроводные очистные сооружения Zawada (Польша)

Микрофильтры характеризуются простотой конструкции, их применение ограничивается необходимостью постоянной промывки, высокими затратами электроэнергии, кольматацией разбрызгивателей и сетки, большими габаритами и малой производительностью

Кроме предварительного удаления фитопланктона вода подвергается реагентной обработке тонкослойным отстаиванием с последующим двухступенчатым фильтрованием, корректировкой pH и обеззараживанием диоксидом хлора.

В воде реки Обжица (Obrzyca), являющейся притоком реки Одер в Польше, преобладают диатомовые и сине-зелёные водоросли, максимальная концентрация которых наблюдается в мае. Эффективность удаления фитопланктона на микрофильтрах в период его массового развития варьирует от 21 до 93% (табл. 3). Наряду со снижением численности фитопланктона после микрофильтрации наблюдается улучшение качества очищаемой воды и по другим показателям (табл. 4). Процент проб с уменьшением значений показателей после процесса микрофильтрации составляет в среднем от 13 до 92%.

Несмотря на то, что современные микрофильтры характеризуются простотой конструкции, их применение ограничивается необходимостью постоянной промывки сетчатых элементов, существенными затратами электроэнергии, кольматацией разбрызгивателей и сетки, большими габаритами и малой производительностью.

Метод механической фильтрации с использованием микрофильтров DynaDisc, обладающих в отличие от обычных барабанных микрофильтров компактностью при большой производительности, заключается в пропуске обрабатываемой воды через совокупность горизонтальных вращающихся фильтрующих дисков из легкооседающих кассет с фильтровальной мембраной, расположенных на центральном валу (роторе) и частично (на 60%) погруженных в очищаемую воду, с размерами ячеек от 10 до 100 мкм.

•• Эффективность [%] очистки воды от водорослей (*Stephanodiscus hantzchia*) табл. 2

Удельная производительность, л/(с·м²)	Численность фитопланктона, тыс. кл/мл	
	4,8–5,7 (ноябрь)	19,9–61,7 (апрель)
6,7	н.д.	13,5
9,0	62,0	10,0
11,3	42,0	7,0
13,3	31,0	5,0
15,3	25,0	3,5
16,7	22,5	3,0
18,0	21,0	3,0

•• Численность планктона и эффективность фильтрации табл. 3

Вид	Численность фитопланктона, тыс. кл/л		Эффективность очистки, %
	до микрофильтрации	после микрофильтрации	
Общее количество, в том числе	7,646–1059,756	1,607–256,802	21–93
— сине-зелёные водоросли	165–394,355	0–256,802	9–100
— диатомовые водоросли	2,022–914,033	562–243,964	15–94
— зелёные водоросли	297–58,258	30–10,733	8–98
— другие	471–67,984	41–6,799	29–95

•• Физико-химический состав речной воды до и после микрофильтрации табл. 4

Показатель	Исходная вода	Вода после микрофильтрации
Водородный показатель pH	7,55–8,27	7,10–8,20
Растворённый кислород, мг-О₂/л	2,63–13,08	0,43–13,98
Цветность, мг-Рt/л	25–60	28–50
Мутность, мг/л	1,18–32,8	0,86–14,78
Аммонийный азот, мг/л	0,11–1,31	0,11–0,78
Взвешенные вещества, мг/л	2,3–18,2	1,4–10,0
Проводимость, мкСм/см	578–726	546–725
Химическое потребление кислорода (ХПК), мг/л	7,24–12,9	7,18–11,48

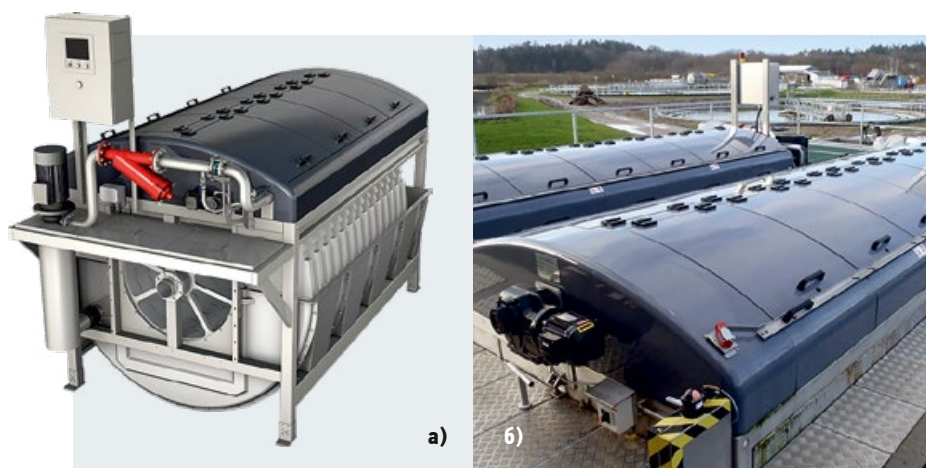


Рис. 4. Микрофильтры DynaDisc (а — отдельно стоящий, б — встроенный)

Микрофильтры DynaDisc могут выполняться в виде отдельных или встроенных в бетонный резервуар установок (рис. 4), с предварительной реагентной обработкой или без неё.

Пилотные испытания автоматического самопромывного дискового микрофильтра DynaDisc с полиэфирной сеткой с размером ячеек 10 и 18 мкм проводились в России в периоды интенсивного развития фитопланктона, характеризующегося различным видовым составом на водопроводных очистных сооружениях АО «Мосводоканал» [5], МУП «Волжский Водоканал» (город Волжский) и станции подготовки воды «Пруд-Ижевск» МУП «Ижводоканал» (город Ижевск) [6].

Было установлено, что в целом эффективность удаления фитопланктона при оптимальных условиях зависит как от видового состава фитопланктона, так и его соотношения. Переход на мелкочаистую сетку и предварительную реагентную обработку исходной воды флокулянтам или совместно и коагулянтам, и флокулянтам позволяет предотвратить проскок фитопланктона в очищенную воду и повысить эффективность удаления микроводорослей в 1,2–1,4 раза при одновременном увеличении энергозатрат.

При очистке маломутных природных вод с повышенным содержанием не только микроводорослей, но и гуминовых веществ за рубежом широкое распространение нашла напорная флотация [7].

Схема напорной флотации состоит из системы насыщения воздуха и флотационной установки, от эффективности функционирования которых зависят получаемые качественные показатели процесса.

В табл. 5 приведены результаты оценки эффективности флотационной очистки воды системой подготовки воды (СПВ) «Пруд Ижевск» [8]. Эксперименты проводились в условиях, когда рецикл водовоздушной смеси составлял 25 %, а доза флокулянта — 0,5 мг/л. Отбор воды для

Переход на мелкочаистую сетку и предварительную реагентную обработку исходной воды флокулянтам или совместно и коагулянтам, и флокулянтам позволяет предотвратить проскок фитопланктона в очищенную воду и повысить эффективность удаления микроводорослей в 1,2–1,4 раза

эксперимента производился непосредственно с камеры хлопьеобразования станции водоподготовки после добавления следующих реагентов: коагулянта дозой 16 мг/л (по Al_2O_3), хлора дозой 1,3 мг/л, сульфата аммония дозой 0,1 мг/л и порошкового активированного угля дозой 7 мг/л. Было установлено, что флотационная очистка обеспечивает удаление

95–99 % загрязняющих веществ, тем самым многократно уменьшая нагрузку на песчаные фильтры. Концентрация флотошлама достигается на уровне 69 %, увеличивается фильтроцикл и сокращается количество промывной воды [8].

На станции водоподготовки Caprarola (Италия) установлена система очистки речной воды от фитопланктона производительностью 140 м³/ч, состоящая из напорной флотационной установки, скорых фильтров с песчаной загрузкой, адсорбиров, фильтров с гранулированным оксидом железа и блока обеззараживания гипохлоритом натрия [9]. Эффективность очистки воды от фитопланктона составляет от 93 до 98 % при максимальном содержании в исходной воде *Planktothrix R.* численностью 250 тыс. кл/мл (ноябрь) и *Arhanizomonon o.* численностью 2,7 тыс. кл/мл (ноябрь — декабрь).

В составе большинства технологических схем очистки воды на заключительной стадии применяются фильтровальные сооружения различных типов: крупнозернистый, двухслойный скорый фильтр, двухпоточный фильтр Академии коммунального хозяйства (АКХ) с загрузками из кварцевого песка, антрацита и др. Эффективность очистки природной воды в фильтрах в периоды сезонного развития фитопланктона не однозначна и зависит, как от характеристик фильтрующих слоёв, режима работы фильтров, так и качества очищаемой воды.

Наиболее опасными для работы фильтров являются диатомовые водоросли. По сравнению с другими типами фильтров наибольшие преимущества в отношении снижения численности фитопланктона имеет фильтр с двухслойной загрузкой, состоящей из песка и антрацита, при этом допустимая численность фитопланктона в воде перед фильтрами не должна превышать 1500 кл/мл.

Одним из перспективных методов удаления микроводорослей является объёмное нисходящее фильтрование через предварительный фильтр (далее по тексту префильтр) [3, 10]. Отличительными особенностями префильтра являются работа в безреагентном режиме и использование пенополистирольной плавающей загрузки, обладающей рядом преимуществ по сравнению с традиционной загрузкой из кварцевого песка: плотность загрузки меньше плотности воды, высокая развитая удельная поверхность и грязеемкость, промывка при обосновании осуществляется без применения промывных насосов, не требуется дополнительный объём для хранения воды в резервуарах чистой воды (РЧВ) на промывку и др.

Эффективность флотационной очистки воды

табл. 5

Показатель	Исходная вода	Очищенная вода
Запах, балл	2/3	0/0
Мутность, мг/л	5,61	0,65
Цветность, град.	50,8	8,75
Окисляемость, мг О/л	12,65	5,05
Остаточный алюминий, мг/л	Отс.	0,23
Численность фитопланктона, тыс. кл/мл	137,84	0,33

На рис. 5 показана модель предварительного фильтра и фрагмент фильтрующей загрузки из гранул вспененного пенополистирола марки ПСБ-С.

Проведённые авторами на речной воде реки Дон (рукав Б. Каланча) исследования показали, что эффективность удаления микроводорослей и снижение их биомассы зависит не только от численности и видового состава последних, но в большей степени от скорости восходящего фильтрования (табл. 6). На префильтре одновременно реализуется и безреагентное осветление воды. В толще загрузки задерживаются преимущественно минеральные взвешенные вещества. Эффект осветления может достигать 10–35 % при исходном содержании взвеси до 42 мг/л. Применение крупногранульной загрузки, место установки префильтра в водозаборном узле в начале технологической схемы и требуемая степень очистки воды от фитопланктона и взвешенных веществ 25–30 % обуславливают продолжительность фильтроцикла от 12 ч до пяти суток [10]. Промывка префильтра осуществляется нисходящим потоком очищенной воды. Было установлено, что основная масса задержанных загрязнений после фильтроцикла продолжительностью 48 ч выносилась в первые шесть минут промывки при её интенсивности $\approx 35 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$



Рис. 5. Предварительный фильтр в составе экспериментального стенда (а) и фрагмент фильтрующей загрузки с задержанными клетками микроводорослей (б)

и относительном расширении слоя загрузки не менее 30 % (рис. 6).

Результаты испытаний, явившихся основой для разработки проекта водозаборно-очистных сооружений (150 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$), показали, что применение префильтра в периоды массового развития микроводорослей позволяет снизить нагрузку на основные сооружения, улучшить качество воды и уменьшить интенсивность запаха, а также предотвратить образование тригалогенметанов.

Эффективность работы префильтра на речной воде

табл. 6

Численность фитопланктона, тыс. кл/л	Эффект очистки, %		Биомасса фитопланктона, мг/л		Эффект очистки, %
	речная вода	вода после префильтра	речная вода	вода после префильтра	
Скорость фильтрования 15 м/ч					
28,32	19,50	31	98,44	31,40	68
Скорость фильтрования 30–35 м/ч					
30,72 / 18,24 / 9,68	15,98 / 10,12 / 7,4	48 / 44 / 24	66,64 / 26,45 / 16,04	31,6 / 13,24 / 7,8	53 / 50 / 50
Скорость фильтрования 50 м/ч					
30,72 / 14,20	19,00 / 10,46	38 / 26	66,64 / 34,20	34,16 / 18,76	49 / 50

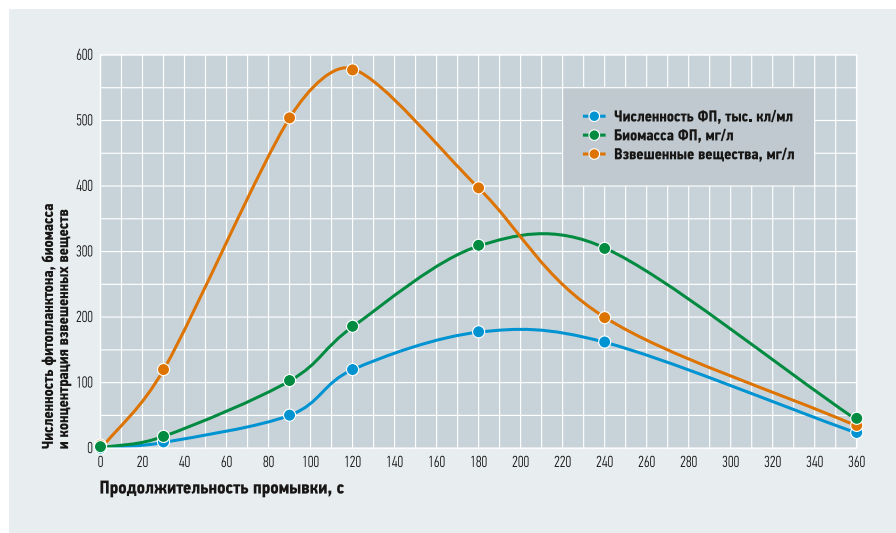


Рис. 6. Кинетика выноса клеток водорослей, биомассы и взвешенных веществ при промывке

Массовое развитие микроводорослей (фитопланктона), увеличение его численности и биомассы носит сезонный характер, оказывая существенное влияние на качество природной воды, в частности, способствуя повышению мутности и перманганатной окисляемости воды.

Выполненный авторами для поверхностного водоисточника корреляционный анализ показал связь между численностью фитопланктона и его биомассой, перманганатной окисляемостью и температурой. Продукты жизнедеятельности фитопланктона, особенно в летне-осенний период года, являются причиной землистого и болотистого запаха, интенсивность которого может достигать трёх баллов, и при хлорировании речной воды создают условия для образования канцерогенных тригалогенметанов.

Разнообразие методов предотвращения развития и удаления фитопланктона обусловлено его видовым составом, морфологическими особенностями, условиями питания и роста. Выполнен анализ физических, химических и биологических методов предотвращения развития фитопланктона и рассмотрена эффективность очистки воды от микроводорослей на сооружениях механической фильтрации, работающих в реагентном и безреагентном режимах и напорной флотации. Приведены результаты исследований процесса очистки воды от фитопланктона, подтверждающие целесообразность применения префильтра в составе технологической схемы.

1. Cobo F. Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales. Limnetica. 2015. No. 34 (1). Pp. 247–268.
2. Технический справочник по обработке воды. Т. 1 / Пер. с фр. — СПб.: Новый журнал, 2007. 1696 с.
3. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. — Вологда: Научное издание, 2011. 536 с.
4. Piontek M., Czyżewska W. Efficiency of drinking water treatment processes. Removal of phytoplankton with special consideration for cyanobacteria and improving physical and chemical parameters. Polish Journal of Environmental Studies. 2012. Vol. 21. No. 6. Pp. 1797–1805.
5. Козлов М., Арутюнова И., Ягунков С., Арбузов Р., Абрамов С., Басихин П. Перспективный метод удаления фитопланктона Эффективность микрофильтрации на дисковых фильтрах при очистке воды поверхностных водоисточников // ВодаMagazine, 2014. №8. С. 5–8.
6. Дудкин Е.В., Самсонова С.П. Удаление фито- и зоопланктона методом микрофильтрации // Водоснабжение и санитарная техника, 2012. №1. С. 29–33.
7. Дрбоглав Й., Долейш П. Использование флотации при очистке воды, опыт по первой системе флотации, реализованной в Чешской республике // Вода и экология, 2006. №2. С. 33–41.
8. Помосова Н., Бурмакин И. Водовоздушная смесь против водорослей // ВодаMagazine, 2011. №9. С. 32–35.
9. Sorlini S., Biasibetti M., Gialdini E., Arioli E. Monitoraggio e rimozione di cianobatteri, cianotossine e arsenico nell'impianto di potabilizzazione di Caprarola (VT). Università degli Studi di Brescia, 2013. 107 p.
10. Говорова Ж.М., Петров Ю.В., Говоров О.Б. Технология очистки воды из водоисточников с повышенными антропогенными нагрузками (обоснование, разработка, внедрение) // Водоснабжение и санитарная техника, 2014. №2. С. 37–45.

References — see page 78.

The influence of phytoplankton on the formation of water quality and methods of its removal. Part 2. Pp. 22–26.

Zhanna M. Govorova, Doctor of Engineering, Professor, the Department of Water Supply and Wastewater Disposal, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU, Moscow city); **Oleg B. Govorov**, PhD, leading researcher, "Fonsvit" Scientific-Technical Center", JSC (Balashikha city); **Alexander V. Elsukov**, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Water Supply in Transport, Russian University of Transport [RUT International (MIIT), Moscow city]

1. F. Cobo. Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentals. *Limnetica*. 2015. No. 34 (1). Pp. 247–268. [In Spanish]
2. Degrémont. *Tekhnicheskij spravochnik po obrabotke vody* [Technical reference for water treatment]. Vol. 1. Transl. from French. St. Petersburg. *Novyj zhurnal* [New magazine]. 2007. 1696 p. [In Russian]
3. M.G. Zhurba. *Vodoochistnye fil'try s plavajushhej zagruzkoj* [Water purification filters with floating loading]. Vologda. *Nauchnoe izdanie* ["Scientific publication" Published]. 2011. 536 p. [In Russian]
4. M. Piontek, W. Czyżewska. Efficiency of drinking water treatment processes. Removal of phytoplankton with special consideration for cyanobacteria and improving physical and chemical parameters. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2012. Vol. 21. No. 6. Pp. 1797–1805.
5. M. Kozlov, I. Arutjunova, S. Jagunkov, R. Arbuzov, S. Abramov, P. Basihin. *Perspektivnyj metod udalenija fitoplanktona. Jefferktivnost' mikrofil'tracii na diskovyh fil'trah pri ochistke vody poverhnostnyh vodoistojnikov* [A promising method for the removal of phytoplankton. Efficiency of microfiltration on disc filters for water purification of surface water sources]. *VodaMagazine* [WaterMagazine]. 2014. No. 8. Pp. 5–8. [In Russian]
6. E.V. Dudkin, S.P. Samsonova. *Udalenie fito- i zooplanktona metodom mikrofil'tracii* [Removal of phyto- and zooplankton by microfiltration]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* ["Water supply and sanitary equipment" Magazine]. 2012. No. 1. Pp. 29–33. [In Russian]
7. J. Drboglav, P. Dolejš. *Ispol'zovanie flotacii pri ochistke vody, opyt po pervoj sisteme flotacii, realizovannoj v Cheshskoj respublike* [Use of flotation in water treatment, experience with the first flotation system implemented in the Czech Republic]. *Voda i jekologija* ["Water and ecology" Magazine]. 2006. No. 2. Pp. 33–41. [In Russian]
8. N. Pomosova, I. Burmakin. *Vodovozdushnaja smes' protiv vodoroslej* [Water-air mixture against algae]. *VodaMagazine* [WaterMagazine]. 2011. No. 9. Pp. 32–35. [In Russian]
9. S. Sorlini, M. Biasibetti, F. Gialdini, E. Arioli. Monitoraggio e rimozione di cianobatteri, ci-anotossine e arsenico nell'impianto di potabilizzazione di Caprarola (VT). Università degli Studi di Brescia. 2013. 107 p. [In Italy]
10. Zh.M. Govorova, Ju.V. Petrov, O.B. Govorov. *Tekhnologija ochistki vody iz vodoistojnikov s povyshennymi antropogennymi nagruzkami (obosnovanie, razrabotka, vnedrenie)* [Technology of water purification from water sources with increased anthropogenic loads (justification, development, implementation)]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* ["Water supply and sanitary equipment" Magazine]. 2014. No. 2. Pp. 37–45. [In Russian]