

На правах рукописи

КУЗЬ НАДЕЖДА ВАЛЕНТИНОВНА

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГИГИЕНИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО
КОНТРОЛЮ И СНИЖЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
ЦИАНОБАКТЕРИЯМИ И ЦИАНОТОКСИНАМИ**

14.02.01- Гигиена

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Москва).

Научный руководитель:

Член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов ФБУН "Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (г. Мытищи, Московская область)

Синицына Оксана Олеговна

Официальные оппоненты:

Доктор медицинских наук, заведующий лабораторией микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН "Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора (г. Ростов-на-Дону)

Журавлев Петр Васильевич

Доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» МЗ РФ (г. Смоленск)

Авчинников Андрей Васильевич

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» МЗ РФ (г. Москва)

Защита диссертации состоится «19» декабря 2019 г. в 11ч.00м. на заседании диссертационного совета Д. 208.133.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации по адресу: 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 10, стр. 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации (119121, Москва, ул. Погодинская, д. 10, стр. 1) и на сайте Центра <http://www.sysin.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2019 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Ингель Фаина Исаковна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Комплекс медико-социальных мероприятий, направленных на охрану и укрепление здоровья населения, посредством предупреждение возникновения заболеваний и устранение факторов риска их возникновения, является одним из направлений профилактической медицины (Полунина Н.В., Пивоваров Ю.П., Милушкина О.Ю., 2018). Используемые для питьевых, хозяйственно-бытовых и рекреационных целей, водные ресурсы, являются одним из главных факторов риска, значительно влияющих на здоровье человека (Авчинников А.В. и соавт., 2015; Журавлёв П.В. и соавт., 2018). По мере растущего антропогенного загрязнения водоисточников, а также накопления научных данных о влиянии загрязнений на здоровье и условия водопользования человека, совершенствуется практика оценки качества и безопасности питьевой воды (Рахманин Ю.А., Красовский Г.Н., Егорова Н.А., Михайлова Р.И., 2014).

Рост антропогенного загрязнения водных объектов, изменение климата, а также изменения гидрологических характеристик речного стока, образование водохранилищ и снижение скорости движения воды привели к интенсификации процессов эвтрофикации водоемов. Это, в свою очередь, стало причиной весьма неблагоприятного явления – массового развития цианобактерий (ЦБ), известных также как синезеленые водоросли (СЗВ) из-за содержания фотосинтетических пигментов (WHO, 2003; Бакаева Е.Н. и соавт., 2012; Стрелков К.Е., и соавт., 2014; Бородулин И.В., 2016; Пауков А.Г., 2017). Некоторые виды водорослей могут легко проникать через обычные фильтры водопроводных сооружений и попадать в разводящую сеть, так как размер клеток водорослей, представленных родами *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Oscillatoria* может варьироваться от 1 до 50 мкм (Рябченко В.А., 1988; Журба М.Г., 2004; Хисориев Х.Х. и соавт., 2010; Архангельский В.И., 2012).

Продукты метаболизма СЗВ, которые выделяются в водную среду, как в процессе жизнедеятельности, так и после их отмирания, могут ухудшать органолептические и санитарно-гигиенические показатели воды. Цианотоксины ответственны за 50 – 500 тысяч интоксикаций человека в год, при этом общая смертность от них в мире составляет 1,5% (Wang D., 2008; Whitton B.A., et al., 2012). По подсчетам, проведенным в США, экономический ущерб от отравлений токсинами водорослей составляет от 2,2 до 4,6 миллиардов долларов в год (Dodds W.K. et al., 2009). В настоящее время известно около 40 видов токсигенных ЦБ (Румянцев В.А. и соавт., 2017), токсины которых классифицируются в соответствии с точками приложения токсического действия как гепатотоксины (например, микроцистины), нейротоксины (например, анатоксины), кожно-раздражающие и цитотоксины (Бакаева Е.Н. и соавт., 2013; Rastogi R. P. et al., 2014; Чернова Е.Н. и соавт., 2017). Показано, что токсины, вырабатываемые *Microcystis*, могут выступать в качестве инициаторов и промоуторов канцерогенеза, влияя на клеточный цикл и апоптоз клеток костного мозга (ВОЗ, 2017; Жолдакова З.И., Дерябина Л.В., Сеницына О.О. и соавт., 2008).

В результате распада СЗВ образуется геосмин и 2-метилизобарниол, которые придают воде неприятный запах, а их концентрации находятся в прямой зависимости от «цветения» водоемов (Жолдакова З.И., Сеницына О.О. и соавт., 2005; J. Lee et al, 2017). В глобальном же масштабе в поверхностных водоемах чаще всего обнаруживаются гепатотоксичные СЗВ (Chorus I. et al, 1999; Волошко Л.Н. и соавт., 2014; Медведева Н.Г. и соавт., 2017).

Наиболее широко применяемые методы обеззараживания питьевой воды (хлорирование, озонирование) способны приводить к трансформации токсинов СЗВ и усиливать их действие на организм. Так, терпены и их производные, изопреноиды, диметилсульфоксид, галоидированные лактоны и кетоны, гетероциклические, ароматические и азот- и серосодержащие углеводороды, являющиеся метаболитами СЗВ, в результате реакции с сильными окислителями, используемыми для обеззараживания воды, образуют еще более активные соединения, в том числе и канцерогены (Васильева А.И. и соавт., 2014; Chieh Chien, 2018).

Проблема «цветения» водных объектов присуща и водоисточникам г. Москвы, которые подвержены массовому влиянию сбрасываемых выше по течению сточных вод. Поэтому, начиная с 1999 г., в программу производственного контроля АО «Мосводоканал» включены гидробиологические исследования наличия СЗВ в воде водоисточника и питьевой воде, подаваемой населению.

Степень научной разработанности темы. Негативные последствия процессов «цветения» поверхностных водоемов изучены с точки зрения экологии, биологии, гидробиологии, альгологии и недостаточно изучены в нашей стране с позиции влияния ЦБ и продуктов их жизнедеятельности на качество и безопасность воды, употребляемой населением для питьевых и культурно-бытовых целей. В 1997 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) обосновала предел содержания микроцистина-LR (токсин *Microcystis aeruginosa*) в питьевой воде на уровне 1 мкг/л. Большинство стран мира использует рекомендации ВОЗ при контроле качества воды водоисточников и питьевой воды. В нашей стране отсутствуют нормативы для токсинов ЦБ. Мониторинг содержания токсинов ЦБ из-за отсутствия этих показателей в нормативных документах и утвержденных методов их контроля не осуществляется.

Исходя из вышеизложенного, **целью настоящих исследований** являлась разработка гигиенических рекомендаций по контролю и снижению загрязнения питьевой воды города Москвы ЦБ и продуктами их жизнедеятельности.

Для достижения поставленной цели решали следующие **задачи**:

1. Изучить многолетнюю и сезонную динамику содержания ЦБ в источниках питьевого водоснабжения города Москвы, оценить ее зависимость от химического состава природной воды, а также выявить наиболее опасный из существующих мест водозабора.

2. Изучить родовой и видовой состав СЗВ, присутствующих в Москворецком источнике водоснабжения и питьевой воде г. Москвы, а также динамику содержания продуктов жизнедеятельности ЦБ (одорантов и цианотоксинов) в воде.

3. На основании сравнительной оценки данных отечественных и международных исследований обосновать гигиенический норматив содержания микроцистина-LR в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для территории Российской Федерации.

4. Разработать рекомендации по лабораторному контролю за загрязнением СЗВ и продуктами их жизнедеятельности воды водоисточников и питьевой воды, а также по снижению загрязнения ими питьевой воды.

Научная новизна

Впервые показано, что уровень содержания ЦБ в Москворецком источнике водоснабжения г. Москвы, в особенности в точке водозабора Рублевской станции водоподготовки, существенно выше, чем в Волжском источнике, что достоверно с 78-79%-ной вероятностью обусловлено повышенным содержанием общего фосфора (до 2 ПДК) и общего азота и не зависит от содержания других химических компонентов, включенных в программу производственного и государственного санитарно-эпидемиологического контроля.

Установлено, что доминирующими родами СЗВ в Москворецком источнике водоснабжения г. Москвы являются *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* и *Anabaena*, которые присутствуют и в питьевой воде, подаваемой Рублевской станцией водоподготовки, и продуцируют такие цианотоксины, как анатоксин-а, сакситоксин, цилиндроспермопсин, микроцистин-LR и β -N-метиламино-L-аланин (ВМАА), а также одоранты геосмин и 2-метилизобарнеол.

Впервые доказано, что применяемые технологии подготовки питьевой воды, включающие как традиционную двухступенчатую схему с отстаиванием и фильтрацией через песчаные фильтры с предварительной обработкой воды реагентами, так и схему, дополненную озонсорбцией, при использовании воды поверхностных водных объектов,

содержащей СЗВ, способствуют уменьшению содержания клеток ЦБ и микроцистина-LR, но приводят к увеличению концентрации анатоксина-а и β -N-метиламино-L-аланина и недостаточно эффективны в отношении снижения содержания геосмина (не более 40%) в питьевой воде.

Практическая значимость и внедрение результатов исследования.

Научно обоснована ПДК микроцистина-LR в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (Справка о внедрении № 1 от 08.05.2019).

Разработана методика определения содержания микроцистина-LR в воде методом иммуноферментного анализа, базирующегося на технологии твердофазного конкурентного иммуноферментного анализа с фотометрической детекцией, позволяющей с высокой точностью определять микроцистин-LR с нижним пределом измерения 0,1 мкг/дм³-МУК «Определение микроцистина-LR методом иммуноферментного анализа» (Справка о внедрении № 77-21-18 ФЦ-32-2019 от 17.04.2019 г.).

На основании научных изысканий и анализа международных методов наблюдения и контроля за содержанием ЦБ в природной и питьевой воде разработаны рекомендации по мониторингу процессов цианобактериального «цветения», в том числе по контролю и снижению содержания токсинов ЦБ в воде водоемов, используемых для хозяйственно-питьевых, рекреационных целей и питьевой воде (Справка о внедрении № 33-АС о28.08.2019г.).

Положения, выносимые на защиту:

1. Содержание ЦБ различается в источниках водоснабжения города Москвы (Москворецкий и Волжский) и зависит от химического состава природной воды в местах водозаборов, в первую очередь, от уровня общего фосфора и азота. Наиболее опасным по содержанию ЦБ и продуктов их жизнедеятельности является водозабор Рублевской станции водоподготовки (Москворецкий источник водоснабжения).

2. Зависимость содержания продуктов жизнедеятельности ЦБ (одорантов и цианотоксинов) в питьевой воде от уровня СЗВ в воде водоисточника и применяемых методов водоподготовки.

3. Научное обоснование гигиенического норматива микроцистина-LR в воде водных объектов и питьевой воде.

4. Рекомендации по лабораторному контролю за загрязнением СЗВ и продуктами их жизнедеятельности воды водоисточников и питьевой воды, а также по снижению загрязнения ими питьевой воды.

Апробация материалов диссертации. Результаты исследований по теме диссертации доложены и обсуждены на: VI Международном симпозиуме «Экология человека и медико-биологическая безопасность населения» (Греция, г. Салоники, 2010 г.), конференции АО «Мосводоканал» и Общероссийской организации «Лига здоровья нации» «Качество питьевой воды как индикатор социального благополучия государства» (Москва, 2015 г.), Пленуме Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды «Методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования химического загрязнения окружающей среды и его влияние на здоровье населения» (Москва, 2015 г.), Международных форумах Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды» (Москва, 2016 г., 2017 г.), XII-м Всероссийском съезде гигиенистов и санитарных врачей (Москва, 2017 г.), XII-м Международном симпозиуме «Экология человека и медико-биологическая безопасность населения» (Республика Азербайджан, г. Нафталан, 2018 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, из них 4 в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

Личный вклад автора в работе составляет более 80% и заключается в формулировании проблемы, постановке цели и задач, выборе методов исследования, выполнении

аналитической и экспериментальной частей работы, обобщении и интерпретации полученных данных, подготовке научных публикаций.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста, содержит 24 таблиц, 30 рисунков. Состоит из введения, аналитического обзора литературы, главы материалов и методов исследования, 4 глав собственных исследований, выводов, списка литературы, приложения. Библиография включает 290 источников (из них 100 отечественных, 190 зарубежных работ).

ОБЪЕКТЫ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач использован комплекс современных гигиенических, физико-химических, статистических методов, обеспечивающих реализацию как лабораторных, так и аналитических исследований (Таблица 1).

Таблица 1 – Направления, объекты, методы и объемы исследований

Направление исследования	Объекты и материалы	Показатели	Объем исследований
Гидробиологический анализ природной и питьевой воды Москворецкого и Волжского водоисточников г. Москвы	Природная и питьевая вода. Результаты производственного лабораторного контроля ИЛЦ ЗАО «Роса» за период 2009-2015 гг.	Биомасса фитопланктона, синезеленых, диатомовых, зеленых, эвгленовых, золотистых и прочих водорослей.	4 водозабора, 4 станции водоподготовки, 3 024 ед. инф.
Химический анализ природной воды Москворецкого и Волжского водоисточников г. Москвы	Природная вода. Результаты производственного лабораторного контроля ИЛЦ ЗАО «Роса» за период 2009-2015 гг.	166 химических показателей	4 водозабора, 56 448 ед. инф.
Химический анализ природной воды Москворецкого водоисточника г. Москвы и питьевой воды РСВ	Природная и питьевая вода. Результаты производственного лабораторного контроля ИЛЦ ЗАО «Роса» за период 2009-2015 гг.	Содержание геосмина, 2- метилизоборнеола.	4 водозабора, 1 станция водоподготовки, 336 ед. инф.
Гидробиологический и иммуноферментный анализ природной и питьевой воды Москворецкого водоисточника г. Москвы	Природная и питьевая вода. Результаты собственных исследований.	Биомасса СЗВ, численность клеток ЦБ, содержание токсинов: анатоксина-а, микроцистина-LR, сакситоксина, цилиндропермопсина, β -N-метиламино-L-аланин (ВМАА).	720 проб воды, 800 ед. инф.
Обоснование ПДК микроцистина-LR в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	Отечественные и зарубежные литературные данные о токсичности и опасности микроцистина-LR, отдаленных последствиях его биологического действия	ПДК микроцистина-LR в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	29 источников, 29 ед.инф.
Разработка рекомендаций по лабораторному	Отечественные и зарубежные литературные данные о	Численность и видовой состав СЗВ, концентрации микроцистина-LR в воде	23 источников, 23 ед.инф.

контролю за загрязнением СЗВ и продуктами их жизнедеятельности воды водоисточников и питьевой воды, а также по снижению загрязнения ими питьевой воды	мониторинге за загрязнением СЗВ и продуктами их жизнедеятельности воды водоисточников и питьевой воды.	водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	
Всего:			60660 ед. инф.

Объектами исследования являлись: вода водоисточников и питьевая вода города Москвы, а также результаты производственного лабораторного контроля природной и питьевой воды, выполненные аккредитованным испытательным центром ЗАО «Роса» (ИЛЦ ЗАО «Роса») за период 2009-2015 гг.

Для определения приоритетных видов фитопланктона, доли СЗВ в составе фитопланктона, а также одорантов (геосмина и 2-метилизобарнеола) проведена статистическая обработка результатов лабораторно-инструментальных исследований природной воды Москворецкого и Волжского водоисточников г. Москвы по основным водозаборам и питьевой воды на выходе со станций водоподготовки (Северной – ССВ, Восточной – ВСВ, Западной – ЗСВ, Рублевской – РСВ).

С целью определения водозабора, имеющего «лучшие» условия для развития ЦБ по содержанию основных биогенных элементов, в том числе общего фосфора и азота, проведена статистическая обработка результатов лабораторных исследований природной воды на их содержание.

Для определения приоритетных водоисточников и водозаборов г. Москвы по уровням содержания биомассы и численности фитопланктона, СЗВ, основных биогенных элементов, необходимых для роста и развития СЗВ, проведена статистическая обработка результатов лабораторно-инструментальных исследований природной воды Москворецкого и Волжского водоисточников г. Москвы по всем четырем водозаборам станций водоподготовки за период 2009-2015 гг.

Приоритетные виды ЦБ определены на основании ранжирования результатов исследования (за период 2009-2015 гг.) их видового состава в воде водозабора и питьевой воде на выходе с РСВ.

Динамика содержания продуктов жизнедеятельности – одорантов ЦБ (геосмина, 2-метилизоборнеола) изучена на основании результатов лабораторно-инструментальных исследований природной воды на водозаборе и питьевой воды, выходящей с РСВ, выполненных независимым аккредитованным испытательным центром ЗАО «Роса» (ИЛЦ ЗАО «Роса») за анализируемый период.

Кроме того, объектами исследований являлись пробы исходной воды из Москворецкого водоисточника г. Москвы, отобранные непосредственно в месте водозабора РСВ и на Истринском водохранилище, пробы питьевой воды после водоподготовки на РСВ и питьевой воды в отдаленной точке разводящей сети РСВ, расположенной по адресу Фрунзенская набережная, дом 10, на содержание СЗВ и цианотоксинов (микроцистина-LR, сакситоксина, цилиндроспермопсина, анатоксина-а и бета-N-метиламин-L-аланин (ВМАА)).

При обосновании ПДК микроцистина-LR в воде использовали многочисленные отечественные и зарубежные литературные данные об его токсичности и опасности, об отдаленных последствиях, полученные как в экспериментальных, так и в эпидемиологических исследованиях.

Разработку рекомендаций по лабораторному контролю за загрязнением СЗВ и продуктами их жизнедеятельности воды водоисточников и питьевой воды, а также снижению загрязнения ими питьевой воды проводили на основании результатов сравнительной оценки эффективности четырех схем водоподготовки, используемых на РСВ, в отношении СЗВ и продуктов их жизнедеятельности.

Полученные результаты исследований обработаны с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007 и пакета статистических программ Statistica. При статистической обработке выборок вычисляли среднее арифметическое значение показателя, стандартную ошибку среднего арифметического и доверительный интервал средней арифметической. Для оценки достоверности различий полученных результатов использовали t-критерий Стьюдента (сравнение показателей исследуемых выборок по абсолютным значениям признака) и Z-тест Фишера (сравнение показателей исследуемых выборок по долям признака). Различия являлись статистически значимыми при $p \leq 0,05$ (Гланц С., 1998).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При решении первой задачи на основе ретроспективного анализа данных лабораторно-инструментальных исследований ИЛЦ ЗАО «Роса» за 2009-2015 гг. природной воды на водозаборах города Москвы установлено, что максимальные средние значения численности фитопланктона на водозаборах станций водоподготовки, очищающих воду Москворецкого источника (РСВ, ЗСВ), составили от 3726 до 15647 кл/мл, причем максимальные значения определялись на водозаборе РСВ (рисунок 1).

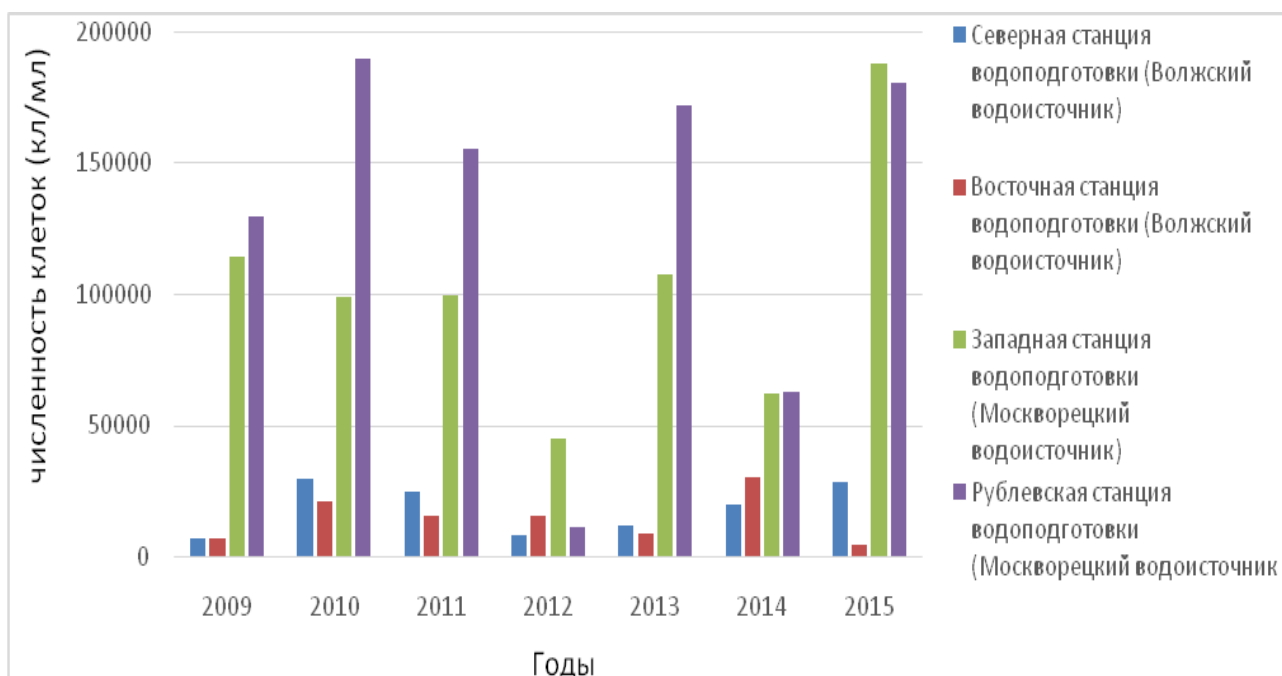


Рисунок 1 – Динамика среднегодовых значений численности клеток фитопланктона в источниках водоснабжения г. Москвы за 2009-2015 гг. (клеток/мл)

На водозаборах Волжского водоисточника (ССВ, ВСВ) численность клеток фитопланктона составляла от 552 до 2506 кл/мл.

Фитопланктон был представлен диатомовыми, зелеными, синезелеными, эвгленовыми, золотистыми и прочими родами водорослей (рисунок 2А). Для всех родов фитопланктона характерна различная сезонность (рисунок 2Б). Так, вегетация диатомовых водорослей наиболее выражена в весенний период, зеленых водорослей – в летний период, рост СЗВ был максимальным в конце лета и в начале осени (август, сентябрь).

На фоне климатических изменений (среднегодовая температура воздуха выросла более чем на 4°C), что обусловило перераспределение родового состава водорослей в сообществе фитопланктона реки Москвы. Численность ЦБ выросла с 2-6% в начале 1970 гг. до 28-35% в настоящее время (Храменков С.В. и соавт., 1999; Кузь Н.В., Сеницына О.О., 2017). Таким образом, ЦБ заняли одно из основных мест в составе фитопланктона.

Ретроспективный анализ данных производственного контроля химического состава как воды водоисточников, так и питьевой воды за период 2009-2014 гг. (по данным ИЛЦ ЗАО «Роса») по 166 показателям показал, что на рост и развитие СЗВ положительное влияние

оказывало наличие питательных веществ – биогенных элементов, в первую очередь, общего фосфора и азота.

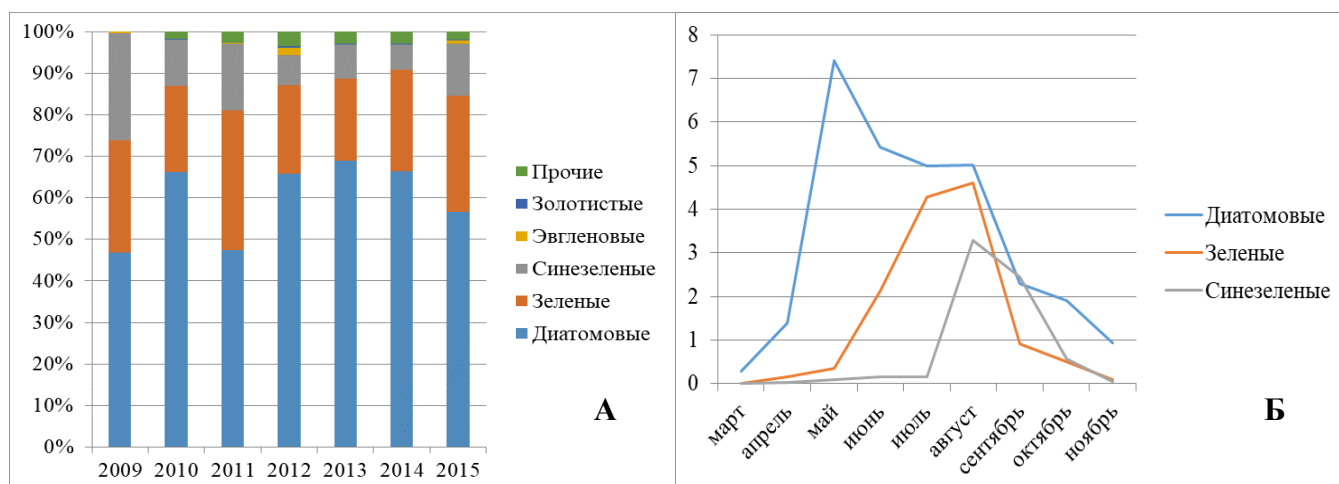


Рисунок 2 – Среднегодовая численность основных родов водорослей в природной воде реки Москвы у водозабора РСВ, кл/мл (А); среднемесячная сезонная динамика основных видов водорослей в природной воде реки Москвы у водозабора РСВ за 2009-2015 гг., кл/мл (Б)

Концентрация общего фосфора, представляющего сумму трех форм (ортофосфат, конденсированный и органический фосфор), в воде Москворецкого водоисточника превышала его содержание в Волжском водоисточнике (рисунок 3).

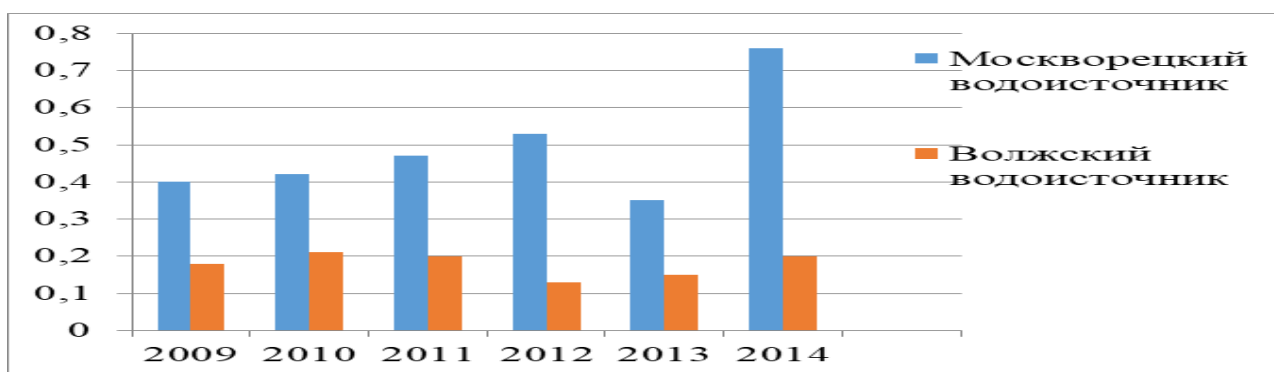


Рисунок 3 – Динамика среднегодовой концентрации общего фосфора (мг/л) в воде водозаборов Волжского и Москворецкого водоисточников

Максимальные концентрации общего фосфора (7,1 мгР/л), в 2 раза большие ПДК, наблюдались в 2014 г. на водозаборе РСВ. При общей тенденции к увеличению содержания общего фосфора заметны колебания его концентраций по годам. Начиная с 2015 года исследования общего фосфора в воде водозаборов Москворецкого и Волжского водоисточников, в рамках производственного контроля не проводились

В концентрации общего фосфора, как и в численности фитопланктона, в природной воде наблюдались выраженные сезонные колебания (рисунок 4).

Увеличение концентраций фосфора в воде водоисточников наблюдалось в весенне-летний период, что объясняется поступлением биогенных веществ с тальми водами в период половодья и с паводковыми водами (летний период). Кроме того, за счет поступления биогенных веществ из донных отложений в условиях летней аноксии гипоплимниона, что в свою очередь свидетельствует о гетеротрофном накоплении органического вещества в Москворецком водоисточнике (Даценко Ю.С., 2016; Кукушкин А.С., Пархоменко А.В., 2017).

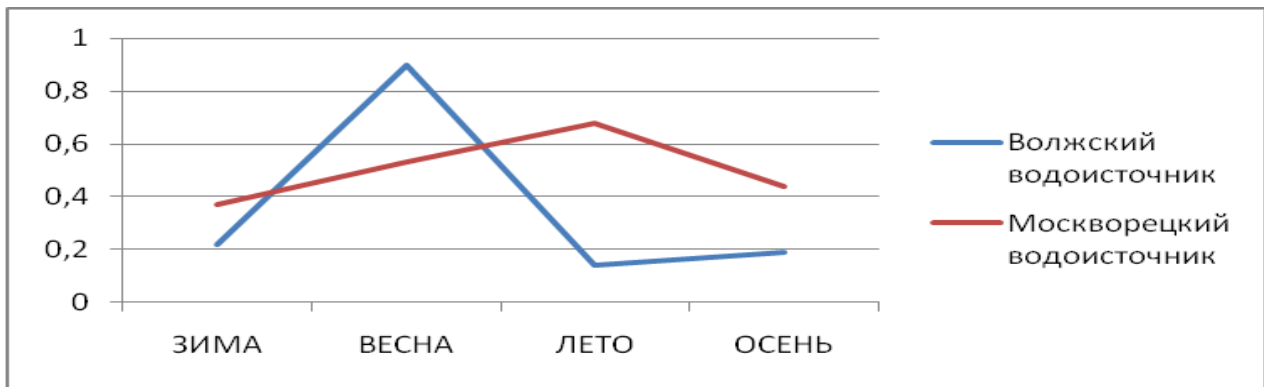


Рисунок 4 – Динамика концентрации общего фосфора (мг/л) в воде водозаборов Волжского и Москворецкого водоисточников по сезонам 2009-2014 гг.

Анализ содержания общего азота (сумма органического и неорганического азота), необходимого ЦБ для образования органических веществ в клетке, в том числе белков, нуклеиновых кислот (Хелдт Г.В., 2014; Дрюк В.Г., 2018), позволил установить, что его концентрации, также как и общего фосфора, были выше в воде Москворецкого водоисточника по сравнению с Волжским водоисточником (рисунок 5).

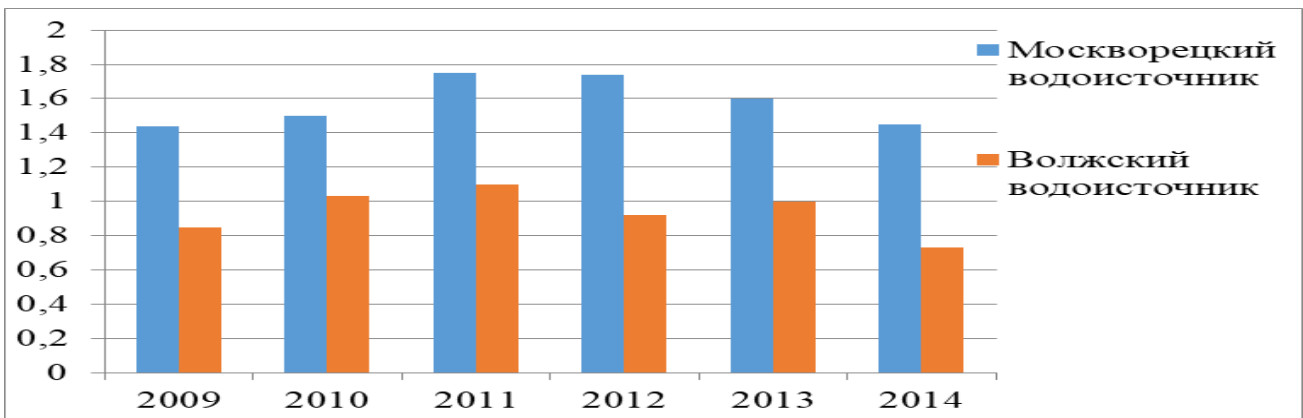


Рисунок 5 – Динамика среднегодовой концентрации общего азота (мг/л) в воде водозаборов Волжского и Москворецкого водоисточников за 2009-2014 гг.

Основными источниками поступления азота в поверхностные водоисточники являются бытовые, промышленные и сельскохозяйственные сточные воды.

В концентрациях общего азота в воде водоисточников также наблюдались сезонные колебания (рисунок 6).

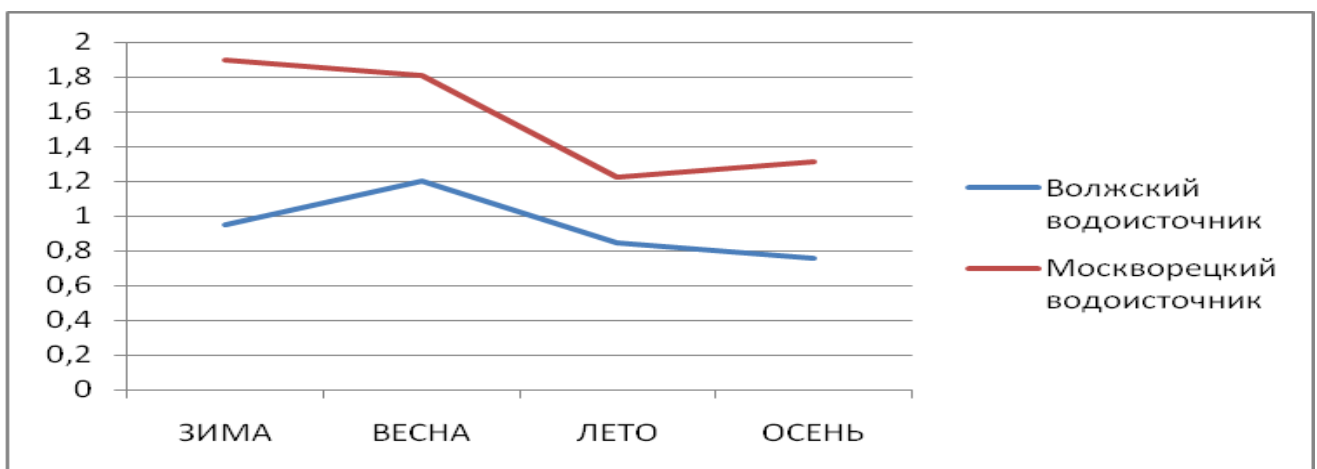


Рисунок 6 – Среднесезонная динамика концентраций общего азота (мг/л) в воде водозаборов Волжского и Москворецкого водоисточников за 2009-2014 гг.

Максимальные концентрации общего азота отмечались в зимне-весенний период, когда биогенный элемент поступал в водоем с паводковыми водами. Минимальные концентрации

на обоих водоисточниках наблюдались в летний период, совпадающий с вегетативной фазой СЗВ, что характерно для поверхностных водоемов (Важова А.С., 2017; Савкин В.М., Дзуреченская С.Я., 2018).

Изучение содержания биомассы СЗВ, общего фосфора и общего азота в воде Москворецкого и Волжского водоисточников г. Москвы за период 2009-2015 гг. подтвердило ранее установленную зависимость «Биомасса СЗВ – фосфор в воде», «Биомасса СЗВ – азот в воде» на уровне 78% и 79%, соответственно. Аналогичные зависимости содержания СЗВ от концентрации общего фосфора и азота в воде водных объектов получены в исследованиях ряда авторов (Селезнева А.В. и соавт., 2014)

Также был проведен корреляционный анализ по изучению зависимости биомассы СЗВ от содержания в природной воде других химических веществ, однако подобной связи не установлено, что, возможно, связано с тем, что на биомассу ЦБ воздействует большое количество факторов, а производственный и государственный санитарно-эпидемиологический контроль осуществлялся только по утвержденным показателям и графику, в связи с чем отсутствовала единая матрица с однородными данными.

Таким образом, уровень содержания ЦБ в Москворецком источнике водоснабжения города Москвы существенно выше, чем в Волжском источнике, что достоверно с 78-79%-ной вероятностью обусловлено повышенным содержанием общего фосфора (до 2 ПДК) и общего азота. Наиболее неблагоприятным является водозабор РСВ, в воде которого в «пиковые» сезоны года численность ЦБ в более чем 6 раз (15647 кл/мл) превышала их содержание в точках водозабора ССВ и ВСВ (2506 кл/мл). Из-за несогласованности программ производственного и государственного контроля состояния источников питьевого водоснабжения г. Москвы с составом сбрасываемых сточных вод взаимосвязь численности СЗВ с другим химическим загрязнением московских водоисточников не выявлена. На основании высокого содержания СЗВ, общего фосфора и общего азота РСВ была выбрана для проведения дальнейших исследований.

Для решения **второй задачи** проведено ранжирование родового и видового состава ЦБ, содержащихся в исходной и питьевой воде от РСВ, которое проводили по результатам анализа 613 проб (таблица 2).

При анализе выделяемости видового состава СЗВ, содержащихся в природной воде на водозаборе РСВ за 2009-2015 гг., показано, что в 89,5% проанализированных проб обнаружены виды следующих родов ЦБ: Aphanizomenon, Anabaena, Microcystis, Oscillatoria, при этом доминирующими видами являлись Aphanizomenon flos-aquae (L.)Ralfs и Microcystis aeruginosa. Обнаруженные доминирующие виды относятся к токсичным, способным продуцировать опасные для жизни и здоровья человека токсины. Известно, что ЦБ родов Aphanizomenon, Microcystis, Oscillatoria и Anabaena продуцируют такие опасные токсины, как анатоксин-а, сакситоксин, цилиндроспермопсин, микроцистин и β -N-метиламино-L-аланин (ВМАА) (Meriluoto J. et al., 2017; Калининкова Т.Б. и соавт., 2017).

Таблица 2 – Ранжирование видов ЦБ, содержащихся в природной воде на водозаборе РСВ за период с 2009 по 2015 гг.

Ранг	Вид цианобактерий	Число проб	%
1	Aphanizomenon flos-aquae (L.)Ralfs	407	66,39
2	Microcystis aeruginosa	63	10,27
3	Snowella lacustris (Gomphosphaeria lacustris)	25	4,07
4	Plankothrix agardhii (Oscillatoria agardhii)	17	2,77
5	Chroococcus minutes (Gloeocapsa minuta)	16	2,61
6-7	Oscillatoria amphibia	14	2,28
6-7	Microcystis wesenbergii	14	2,28
8	Woronichina karelica (Gomphosphaeria lacustris)	12	1,95
9	Anabaena spiroides Kleb.	9	1,46
10	Merismopedia minima	7	1,14
11	Aphanthece stagnina (Spreng)	6	0,97

Ранг	Вид цианобактерий	Число проб	%
12-13	<i>Anabaena flos-aquae</i>	4	0,65
12-13	<i>Microcystis pulverea</i>	4	0,65
14-17	<i>Oscillatoria tenuis</i>	3	0,48
14-17	<i>Pseudanabaena mucicola</i>	3	0,48
14-17	<i>Woronichina Naegeliana Elenk</i>	3	0,48
14-17	<i>Merismopedia tenuissima</i>	3	0,48
Ранг	Вид цианобактерий	Число проб	%
18	<i>Anabaena affinis</i>	2	0,32
19-23	<i>Oscillatoria limosa</i>	1	0,16
19-23	<i>Anabaena circinalis</i>	1	0,16
19-23	<i>Oscillatoria planctonica (Limnothrix planctonica)</i>	1	0,16
19-23	<i>Anabaena planctonica</i>	1	0,16
19-23	<i>Gomphoneis olivaceum (Gomphonema olivaceum)</i>	1	0,16

В разводящей сети централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения города Москвы за исследуемый период в 90,4% проанализированных проб обнаружены следующие ЦБ: *Aphanizomenon*; *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, причем доминируют, как и в исходной воде, токсичные роды *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* и *Microcystis* (таблица 3). Количество проб питьевой воды, содержащих *Aphanizomenon flos-aquae* (L.)Ralfs, было значительно выше числа проб, в которых выявлены остальные роды ЦБ.

Таблица 3 – Ранжирование видов ЦБ, содержащихся в питьевой воде на выходе с РСВ за период с 2009 по 2015 гг.

Ранг	Вид цианобактерий	Число проб	%
1	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.)Ralfs	496	79,36
2	<i>Plankothrix agardhii</i> (<i>Oscillatoria agardhii</i>)	50	8,0
3	<i>Microcystis aeruginosa</i>	21	3,36
4	<i>Anabaena spiroides</i> Kleb.	10	1,6
5	<i>Oscillatoria tenuis</i>	9	1,44
6-7	<i>Snowella lacustris</i> (<i>Gomphosphaeria lacustris</i>)	6	0,96
6-7	<i>Microcystis wesenbergii</i>	6	0,96
8	<i>Merismopedia minima</i>	5	0,8
9	<i>Chroococcus minutes</i> (<i>Gloeocapsa minuta</i>)	4	0,64
10-11	<i>Anabaena flos-aquae</i>	3	0,48
10-11	<i>Woronichina karelica</i> (<i>Gomphosphaeria lacustris</i>)	3	0,48
12-14	<i>Oscillatoria limosa</i>	2	0,32
12-14	<i>Oscillatoria amphibia</i>	2	0,32
12-14	<i>Merismopedia tenuissima</i>	2	0,32
15-20	<i>Anabaena Scheremetjewi</i>	1	0,16
15-20	<i>Anabaena circinalis</i>	1	0,16
15-20	<i>Oscillatoria planctonica</i> (<i>Limnothrix planctonica</i>)	1	0,16
15-20	<i>Oscillatoria Limnetica</i> (<i>Pseudanabaena Limnetica</i>)	1	0,16
15-20	<i>Anabaena tenuis</i>	1	0,16
15-20	<i>Anabaena planctonica</i>	1	0,16

Учитывая, что *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* и *Oscillatoria* являются продуцентами одорантов геосмина и 2-метилизобарнеола (*Lee J. et al., 2017; Kim K. et al., 2018*), которые приводят к ухудшению органолептических показателей качества природной воды, проанализированы результаты производственного контроля воды водоисточника, поступающей на РСВ, на их количественное содержание за 2009-2015 гг.

Согласно полученным данным, в содержании геосмина в природной и питьевой воде наблюдалась выраженная сезонность: зима – 0,0012 нг/л в исходной и питьевой воде; весна – 0,0022 нг/л в исходной и питьевой воде; лето – 0,0032 нг/л в исходной и 0,0027 нг/л в питьевой воде; осень – 0,0094 и 0,0066 нг/л, соответственно. Его наибольшие значения

наблюдались в летне-осенний период, когда процессы отмирания и распада клеток способствуют выходу в воду продуктов жизнедеятельности ЦБ.

Об этом свидетельствует и сопоставление динамики содержания биомассы СЗВ и концентрации геосмина в воде водозабора РСВ (рисунок 7).

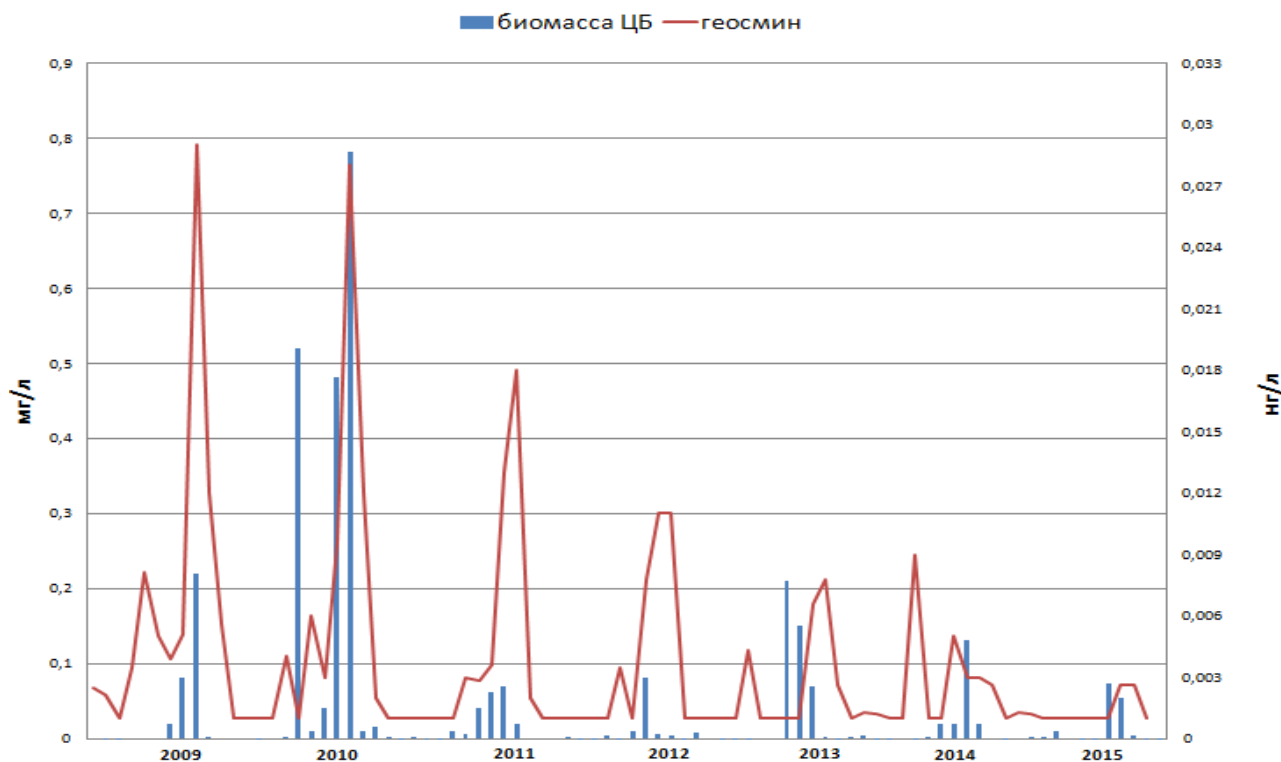


Рисунок 7 – Динамика концентраций геосмина (по правой оси «У», нг/л) и биомассы СЗВ (по левой оси «У», мг/л) в природной воде на водозаборе РСВ за 2009-2015 гг.

Наиболее значимыми периодами являются 2009 -2012 год. Подобные данные можно объяснить сложившимися в этот период оптимальными для роста и развития СЗВ климатическими и гидрологическими условиями. Так, эти годы характеризовались как маловодные, что способствовало лучшему прогреванию водных масс и усвоению биогенных веществ из донных отложений. Кроме того, среднемесячные температуры превышали многолетние климатические нормы, рекомендованные всемирной метеорологической организацией (за норму принята температура воздуха в 1961-1990 гг.), и составляли +1,3°С (по данным метеостанции ВДНХ).

На основе результатов лабораторно-инструментальных исследований природной воды на водозаборе РСВ, выполненных аналитическим центром ЗАО «Роса», проведен корреляционный анализ (по Пирсону) связи концентрации геосмина и биомассы СЗВ во всей выборке в целом, который позволил установить положительную их взаимосвязь (на 95% уровне значимости со значением коэффициента $r = 0,31$, $p < 0,01$). Содержание 2-метилизобарнеола в исходной и питьевой воде за весь период наблюдений (2009-2015 гг.) не превышало минимального предела обнаружения.

В собственных исследованиях изучено содержание цианотоксинов (микроцистина-LR, сакситоксина, цилиндроспермопсина, анатоксина-а и бета-N-метиламин-L-аланина (ВММА) в природной воде Москворецкого водозабора и в питьевой воде, подаваемой РСВ. Исследования проведены в период с 11 июля по 27 октября 2016 г., пробы отбирались еженедельно. Установлено, что с увеличением численности СЗВ с 354360 кл/мл 26 июля 2016 г. до 810840 кл/мл 01 августа 2016 г. в воде водозабора (Истринского водохранилища) начинали обнаруживаться и их токсины, концентрации которых практически до конца июля не превышали нижнего предела обнаружения метода определения.

Как показано на рисунке 8, в природной воде на водозаборе РСВ анатоксин-а обнаруживали, начиная с 29.09.2016 г. в концентрациях 0,232 – 0,327 мкг/л, тогда как его содержание в питьевой воде на выходе с РСВ и в разводящей сети, начиная уже с 29.07. 2016 г. составляло 0,161 – 0,627 мкг/л.

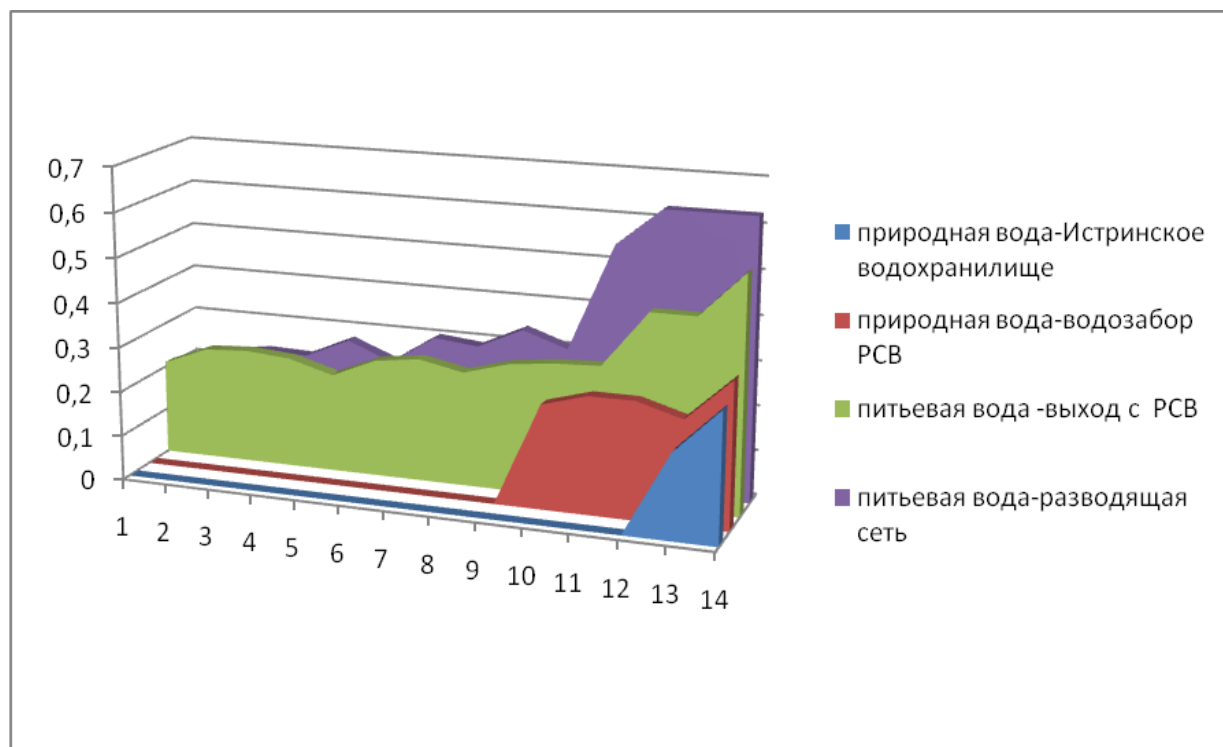


Рисунок 8 – Динамика содержания анатоксина-а в природной и питьевой воде РСВ в период с июля по октябрь 2016 г. (мкг/л) (по оси «X» – номер пробы)

Столь выраженная разница (7 недель) в сроках появления анатоксина-а в питьевой воде по сравнению с природной водой водоисточника может свидетельствовать о том, что в период «цветения» водоисточников в процессе водоподготовки происходит накопление на загрузках фильтров клеток СЗВ, постепенно разрушающихся. В результате этого происходит выход токсина в воду и его вторичное накопление на фильтрах с последующим вымыванием, что подтверждается исследованиями *Фрога Б.Н. и Первова А.Г. (2014)*.

Концентрации ВММА в природной воде в месте водозабора РСВ нарастали, начиная с 15.09.2016 г.- от 6,22 мкг/л до 24,86 мкг/л 27.10.2016 г.

В питьевой воде на выходе с РСВ ВМАА обнаружен на три недели позже, начиная с 06.10.2016 г., в концентрации 8,39 мкг/л с последующим ростом его концентраций до конца периода наблюдений. Максимальные концентрации (16,95 мкг/л) обнаружены в последних отобранных пробах (27.10.2016 г.).

Микроцистин–LR в природной воде Москворецкого водоисточника (Истринское водохранилище) регистрировали, начиная с 01.08.2016 г., в концентрациях 0,18 – >5,0 мкг/л (таблица 4), когда численность СЗВ достигла своего максимума (810840 кл/мл).

Начиная со второй декады августа 2016 г., содержание микроцистина–LR в природной воде водоисточника превышало рекомендованный ВОЗ уровень (1 мкг/л) в 2 и более раз, а с середины сентября его концентрация была выше верхнего предела обнаружения применявшейся методики измерения (> 5 мкг/л). При этом его содержание, как на водозаборе, так и в питьевой воде на выходе со станции и в разводящей сети РСВ за весь период наблюдений не превышало нижнего предела обнаружения.

Проведенные исследования показали, что содержание сакситоксина в природной воде Истринского водохранилища р. Москвы в месте забора РСВ и в питьевой воде за весь период наблюдений не превышало нижнего предела обнаружения используемой методики

измерения. Цилиндроспермопсин обнаруживали только в природной воде с середины октября (от 0,122 мкг/л до 0,144 мкг/л), а в питьевой воде его содержание было ниже предела обнаружения.

Таблица 4 – Динамика содержания ЦБ и микроцистина- LR в природной и питьевой воде

Численность ЦБ, кл/мл				Концентрация микроцистина-LR, мкг/л			
исходная вода		питьевая вода		исходная вода		питьевая вода	
Истринское водохранилище	водозабор РСВ	выход с РСВ	разводящая сеть	Истринское водохранилище	водозабор РСВ	выход с РСВ	разводящая сеть
151620	0	0	0	<0,150	<0,150	<0,150	<0,150
357096	238	2	0	<0,150	<0,150	<0,150	<0,150
354360	925	3	0	<0,150	<0,150	<0,150	<0,150
810840	234	5	0	0,6	<0,150	<0,150	<0,150
774072	131	2	0	0,25	<0,150	<0,150	<0,150
278400	333	1	1	0,18	<0,150	<0,150	<0,150
463908	486	1	0	2,0	<0,150	<0,150	<0,150
302196	288	3	48	2,3	<0,150	<0,150	<0,150
344298	1287	2	0	3,31	<0,150	<0,150	<0,150
616632	1260	4	1	3,6	<0,150	<0,150	<0,150
150000	1350	15	9	> 5,00	<0,150	<0,150	<0,150
361920	1562	21	8	> 5,00	<0,150	<0,150	<0,150
578400	4230	22	11	> 5,00	0,171	<0,150	<0,150
429600	4773	150	30	> 5,00	0,189	<0,150	<0,150
184080	3744	28	33	> 5,00	0,215	<0,150	<0,150
15840	1296	26	34	> 5,00	0,304	<0,150	<0,150

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что приоритетными цианотоксинами в питьевой воде разводящей сети г. Москвы являются гепатоканцероген микроцистин-LR и нейротоксины: анатоксин-а, небелковая кислота ВМАА, вызывающая гибель нейронов.

Учитывая полученные экспериментальные данные о содержании микроцистина-LR в воде водоемчиков г. Москвы, в соответствии с третьей задачей проведен сравнительный анализ российской и зарубежной литературы для обоснования его гигиенического норматива.

Микроцистин-LR содержится внутри активно растущих цианобактериальных клеток, его высвобождение в окружающую воду происходит, главным образом, пассивно при старении, гибели и лизисе ЦБ, хотя в небольшой степени возможно и активное выделение токсина молодыми растущими ЦБ клетками. Он представляет собой циклический пептид, состоящий из 7 аминокислот и обязательно включающий лейцин (L) и аргинин (R) (*Chorus I. et al., 1999; Buratti F.M. et al., 2017*).

Микроцистин-LR является высокоактивным ингибитором эукариотических белковых серин-треониновых фосфатаз типа 1 и 2А. Органом мишенью для него является печень. Под действием токсина баланс процессов фосфорилирования и дефосфорилирования в гепатоцитах нарушается, в итоге клетки печени могут разрушаться, что в тяжелых случаях вызывает смерть из-за печеночной недостаточности. Ингибирование фосфатаз при длительном воздействии малых доз микроцистина-LR индуцирует пролиферацию клеток,

гипертрофию печени и, в конечном итоге, развитие первичных опухолей печени (Волошко Л.Н., 2016, Buratti F.M. et al., 2017).

В экспериментальных исследованиях (Fawell J.K. et al., 1999) при энтеральном введении микроцистина-LR в дозах 0, 200, 600 и 2000 мкг/кг влияние на репродуктивную функцию животных и эмбрион оказала только доза 2000 мкг/кг. В отношении генотоксического эффекта имеются предположения, что выявляемые *in vivo* и *in vitro* повреждения ДНК скорее свидетельствуют о вторичной генотоксичности микроцистина-LR, чем о его непосредственном взаимодействии с ДНК. Мутагенного действия микроцистина-LR в тесте Эймса не выявлено (Buratti F.M. et al., 2017).

В экспериментах на животных не выявлено прямого канцерогенного эффекта микроцистина-LR. Однако результаты ряда исследований свидетельствуют о его действии как промоутера развития раковых опухолей. Это позволило МАИР в 2006 г. отнести микроцистин-LR к группе 2В – возможным канцерогенам для человека.

Накопленная к настоящему времени информация о влиянии микроцистина-LR на организм лабораторных животных свидетельствует о том, что, несмотря на публикацию в последнее десятилетие результатов ряда новых экспериментов по оценке его токсического действия, наиболее надежным по-прежнему остается исследование J.K. Fawell et al. (1999) по изучению общетоксического действия токсина в дозах 40, 200 и 1000 мкг/кг в субхроническом опыте с энтеральным введением мышам. Именно исходя из дозы 40 мкг/кг, установленной J.K. Fawell et al. (1999) в качестве NOAEL, и с учетом коэффициента запаса, равного 1000, ВОЗ рассчитана недействующая доза микроцистина-LR, равная 0,04 мкг/кг, и рекомендован норматив предельно допустимого содержания его в питьевой воде на уровне 1 мкг/л, включенный в Руководство по контролю качества питьевой воды (ВОЗ, 2011).

Подход к регламентированию содержания микроцистина-LR в воде, принятый в ВОЗ, остается наиболее востребованным в международном масштабе, большая часть стран, установивших в настоящее время национальные нормативы микроцистина-LR в воде (таблица 5), ориентируется на рекомендации ВОЗ. В то же время в Австралии и в Канаде установлены несколько менее строгие требования – 1,5 и 1,3 мкг/л соответственно.

Таблица 5 – Нормативные уровни содержания микроцистина-LR в питьевой воде в разных странах

Страна	Нормативный уровень, мкг/л
Аргентина, Бразилия, Китай, Чешская Республика, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Италия, Япония, Корея, Нидерланды, Норвегия, Новая Зеландия, Польша, Южная Африка, Испания, Сингапур, Турция, Уругвай	1,0
Австралия	1,3
Канада	1,5

Анализ данных отечественной и международной литературы, посвященной оценке токсичности и регламентирования содержания микроцистина-LR в воде, позволил сделать следующие выводы. Установленная в 3-х месячном опыте доза 40 мкг/кг, «не оказывающая вредного эффекта», что в отечественной терминологии соответствует понятию «пороговая доза» (Синицына О.О. и соавт., 2003), с наибольшей степенью определенности и с применением соответствующих «коэффициентов запаса» может быть использована для определения максимальной недействующей дозы и последующего расчета нормативного уровня микроцистина-LR в воде. Этот уровень-0,001 мг/л, рекомендованный ВОЗ, может быть принят как максимальная недействующая концентрация микроцистина-LR по санитарно-токсикологическому показателю вредности при обосновании ПДК микроцистина-LR в воде водных объектов в соответствии с методологией гармонизации гигиенических нормативов веществ в воде (Красовский Г.Н. и соавт., 2006). Установление показателей по

органолептическому и общесанитарному показателям вредности не проводили по причинам, изложенным в статье *Егоровой Н.А. и соавт. (2018)*.

В качестве ПДК микроцистина-LR в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения, включая питьевую воду, обоснована величина 0,001 мг/л, соответствующая современному общемировому уровню знаний, по санитарно-токсикологическому показателю вредности. Поскольку микроцистин-LR является потенциальным канцерогеном, он должен быть отнесен к веществам 1 класса опасности.

В целях разработки рекомендаций по лабораторному контролю СЗВ и продуктов их жизнедеятельности, а также по снижению загрязнения ими питьевой воды (**четвертая задача**) проведен анализ эффективности технологий очистки воды до питьевого качества, применяемых на станциях водоподготовки. Оценка проведена на примере РСВ г. Москвы.

Процесс очистки воды на РСВ происходит на 4-х технологических линиях (рисунок 9) и предусматривает как традиционную двухступенчатую схему, так и очистку воды с использованием озона с последующей фильтрацией через фильтры с активированным гранулированным углем и песчаные фильтры с кварцевым песком.

Согласно полученным результатам, эффективность очистки исходной воды от клеток ЦБ на всех технологических линиях РСВ водоподготовки составила от 96,1 до 99,84% (рисунок 10).

Максимальное количество клеток ЦБ удаляется с основной массой взвеси в отстойниках. При этом, если на технологических линиях №1, 2 и 3 эффективность данного этапа в среднем составляет 49,1%, то на технологической линии №4 степень очистки в 1,5 раза выше. Это можно объяснить тем, что концентрация добавляемых в смеситель перед отстойниками обеззараживающих средств (гипохлорит натрия) на этой технологической линии в 6 раз был больше (0,8-1,0 мг/л), чем на технологических линиях, включающих озонирование (0,1-0,2 мг/л). Под действием обеззараживающих средств происходит гибель ЦБ, последующее их осаждение и удаление с основной массой загрязнений.

Достаточно эффективны в плане очистки воды от ЦБ фильтры с 1,6-метровой загрузкой из кварцевого песка, где удаляется в среднем 46% клеток ЦБ. Контактные бассейны, озонирование и угольные фильтры практически не оказывают влияния на количество клеток ЦБ. Полученные данные свидетельствуют о том, что применяющаяся на РСВ технология водоподготовки эффективно обеспечивает снижение численности живых клеток СЗВ.

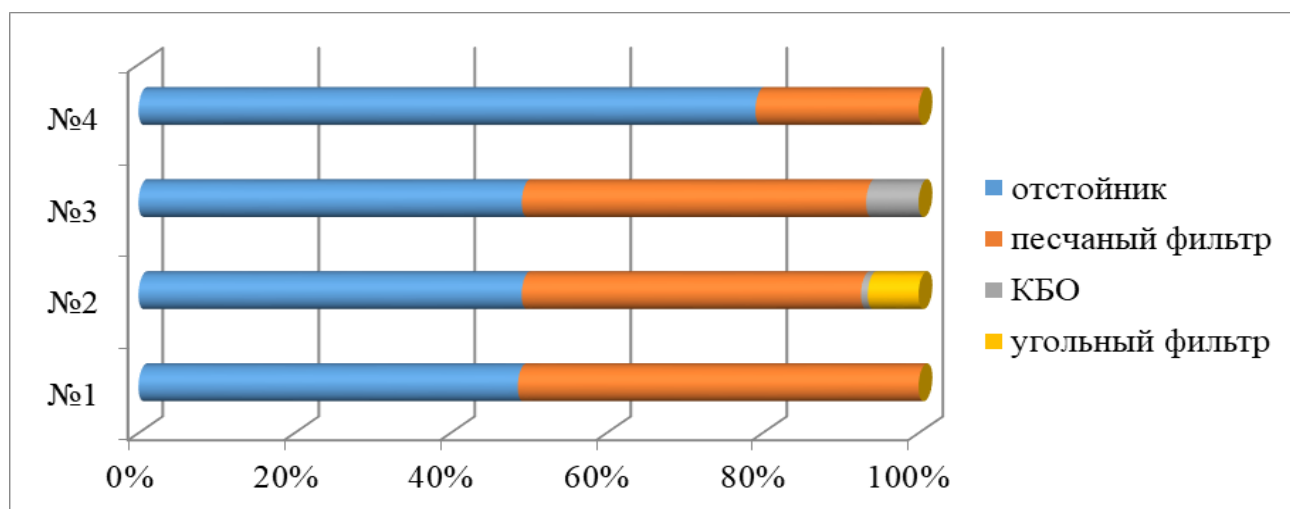


Рисунок 10 – Эффективность очистки исходной воды от клеток ЦБ по этапам очистки на технологических линиях РСВ.

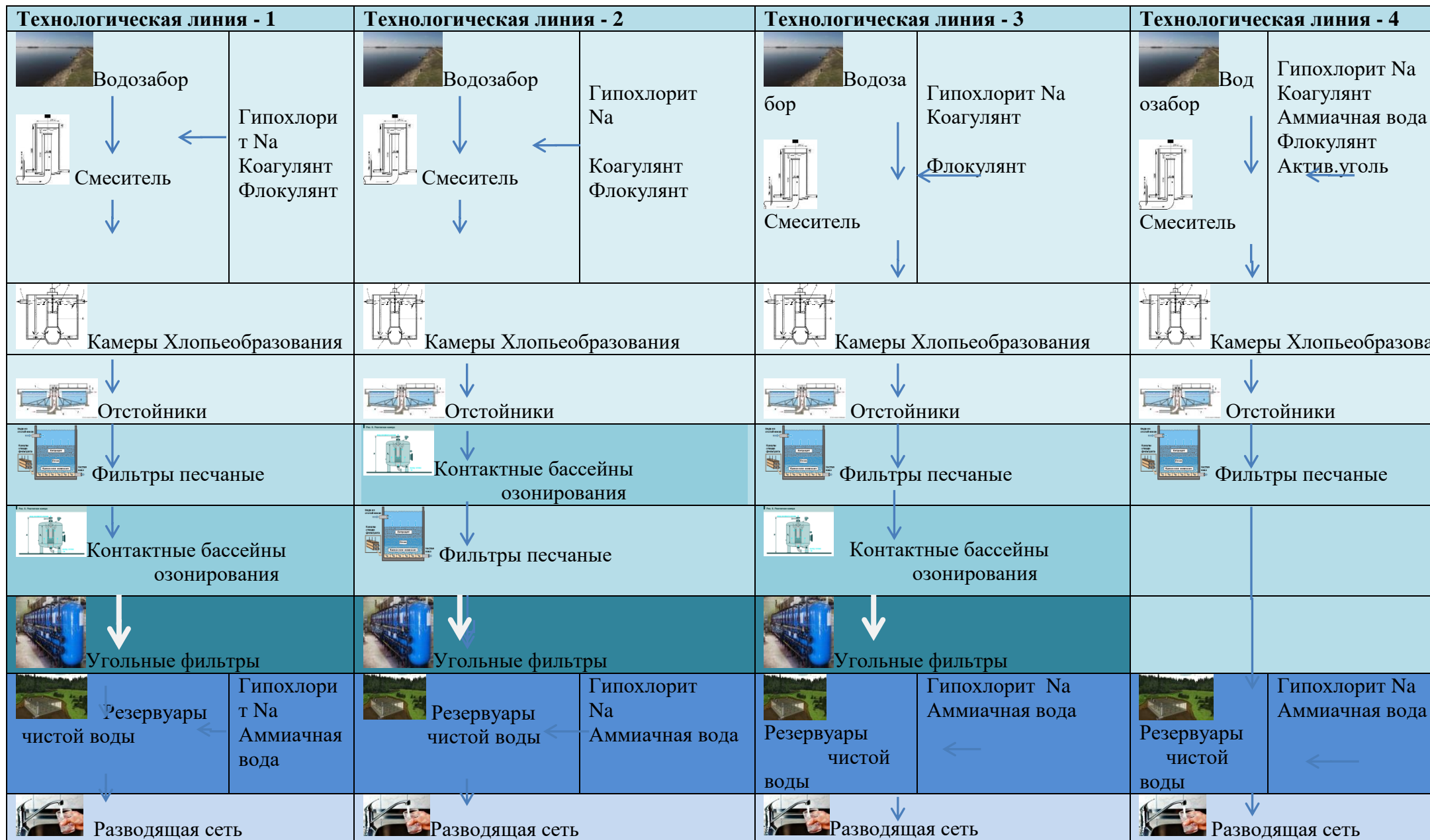


Рисунок 9 – Технологическая схема очистки воды на РСВ

Контактные бассейны, озонирование и угольные фильтры практически не оказывают влияния на количество клеток ЦБ. Полученные данные свидетельствуют о том, что применяющаяся на РСВ технология водоподготовки эффективно обеспечивает снижение численности живых клеток СЗВ.

В то же время анализ многолетних максимальных значений содержания геосмина в исходной и питьевой воде РСВ за период 2009-2015 гг., представленных на рисунке 11, свидетельствует о низкой барьерной роли очистных сооружений в отношении этого метаболита ЦБ.

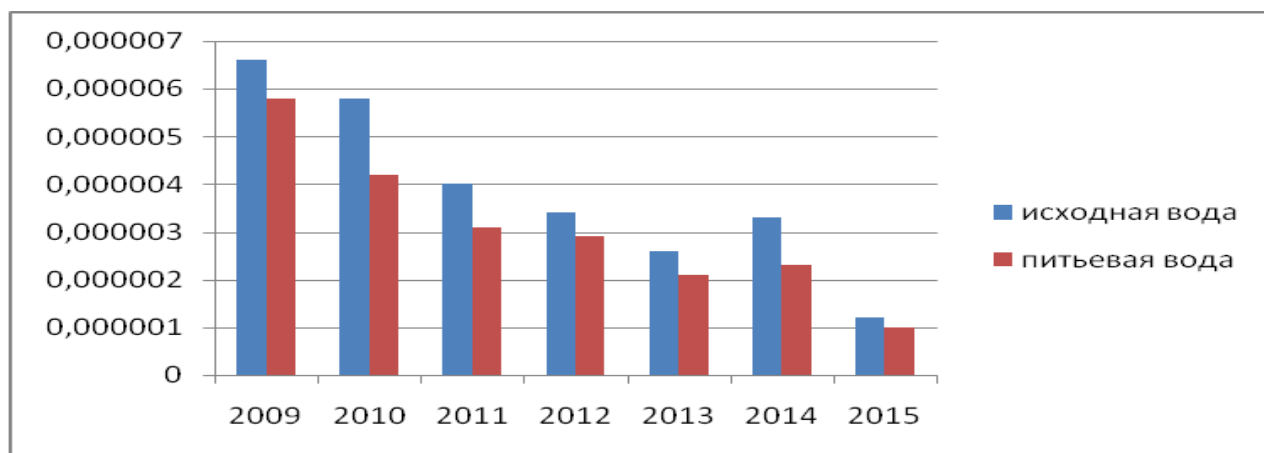


Рисунок 11 – Многолетние максимальные значения содержания геосмина в исходной и питьевой воде РСВ за период 2009-2015 гг.

Максимальные концентрации геосмина в исходной воде, а также на выходе со станций водоподготовки в питьевой воде превышали порог восприятия запаха 0,000004 мг/л (*Du H. et al., 2012*). Эффективность очистки питьевой воды от геосмина не превышала 31 % (рисунок 12).

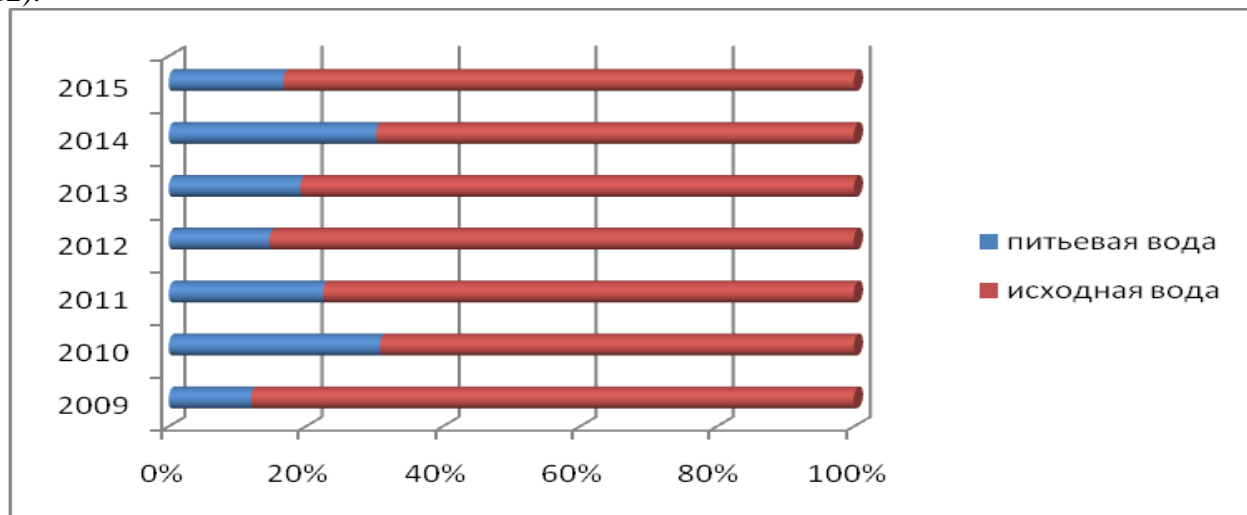


Рисунок 12 – Эффективность очистки питьевой воды от геосмина на РСВ за период 2009-2015 гг.

В таблице 6 представлены обобщенные результаты собственных исследований природной и питьевой воды РСВ, проведенных в период с 11 июля по 27 октября 2016 г, на содержание токсинов ЦБ и эффективность очистки питьевой воды от них. Пробы отбирались с учетом времени прохождения воды по технологическим линиям.

Эффективность очистки исходной воды от токсинов ЦБ на РСВ в отношении токсина ВМАА составила 45%, в отношении микроцистина-LR – 100%. В отношении анатоксина-а существующая схема водоподготовки РСВ не эффективна. При содержании анатоксина-а в исходной воде на водозаборе РСВ ниже нижнего предела обнаружения его концентрация в

питьевой воде возростала в 3,5 раза, что, вероятно, связано с поступлением токсина в воду при разрушении клеток ЦБ в процессе водоподготовки.

Таблица 6 – Эффективность очистки природной воды от токсинов ЦБ на РСВ

Токсин	Природная вода	Питьевая вода	Эффективность очистки %
Анатоксин-а, мкг/л	1,313	4,244	-69
Микроцистин LR, мкг/л	0,914	0	100
Сакситоксин, мкг/л	0	0	0
Цилиндроспермопсин, мкг/л	0	0	0
ВМАА, мкг/л	90,56	49,74	45

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существующая схема водоподготовки на РСВ достаточно эффективно очищает исходную воду от клеток ЦБ, но не эффективна в отношении цианотоксинов и геосмина.

Учитывая постоянно изменяющиеся климатические условия и антропогенное влияние на водные объекты, и, соответственно, изменение их микробиоцинозов необходима система постоянного гигиенического мониторинга. В настоящее время существует несколько различных систем лабораторного контроля ЦБ в природной воде, однако, они направлены на экологический контроль и не в полной мере учитывают требования санитарно-эпидемиологического надзора.

В результате проведенной верификации существующих как российских, так и зарубежных подходов к контролю ЦБ и их токсинов в воде разработана многоуровневая система мониторинга, которая позволит эффективно использовать материально-технические, кадровые и финансовые ресурсы, а также решит ряд проблем, которые в настоящее время снижают санитарно-эпидемиологическую надежность существующего лабораторного контроля.

Основные этапы системы мониторинга, направленные на снижение воздействия цианотоксинов на здоровье человека, представлены на рисунке 12.

1 этап

Ежемесячный мониторинг численности СЗВ в воде источника питьевого водоснабжения в соответствии с методическими указаниями по учету фитопланктона в лабораториях АО «Мосводоканал»

2 этап

В период с июня по октябрь еженедельный мониторинг численности и видового состава СЗВ в воде источника питьевого водоснабжения в соответствии с методическими указаниями по учету фитопланктона в лабораториях АО «Мосводоканал»

3 этап

В период с августа по октябрь еженедельный мониторинг микроцистина-LR в воде водоисточника и питьевой воде.

4 этап

В случае обнаружения микроцистина-LR в питьевой воде в концентрациях выше 0,001 мг/л:
 - повышение эффективности промывки фильтрующей загрузки;
 - замена фильтрующей загрузки (в случае неэффективности изменения режима промывки)

Рисунок 12 – Рекомендации по лабораторному контролю за загрязнением СЗВ и продуктами их жизнедеятельности воды водоисточников и питьевой воды, а также снижению загрязнения ими питьевой воды

ВЫВОДЫ

1. Численность фитопланктона в воде Волжского источника питьевого водоснабжения города Москвы в 2009-2015 гг. составляла от 552 до 2506 кл/мл, Москворецкого водоисточника – от 3726 до 15647 кл/мл, при этом максимальные концентрации обнаружены на водозаборе РСВ, где доля ЦБ в общей численности фитопланктона составляла 28-35%. Максимальный рост СЗВ наблюдался в конце лета и в начале осени (август, сентябрь).

2. Концентрация общего фосфора на водозабор РСВ города Москвы, выбранном в качестве наиболее проблемного по содержанию СЗВ, в период 2009-2014 гг. составляла более 2 ПДК (7,1 мг/л). Содержание общего азота в воде Москворецкого водоисточника в 1,5-2 раза превышало его содержание в воде Волжского водоисточника. Доля дисперсии зависимой переменной (биомасса СЗВ), объясняемая моделью зависимости от концентрации общего фосфора, составляет 78%, а от концентрации общего азота – 79%, что свидетельствует о необходимости повышения эффективности очистки сточных вод от этих биогенных элементов, сбрасываемых в Москворецкий источник водоснабжения города Москвы.

3. В 2009-2015 гг. в Москворецком источнике водоснабжения г. Москвы доминировали роды СЗВ *Aphanizomenon* (66,4% проб), *Microcystis* (13,2%), *Oscillatoria* (7,15%) и *Anabaena* (2,79%). Эти роды являлись приоритетными и в питьевой воде, подаваемой РСВ, (79,4%, 4,32%, 10,2%, 2,56%, соответственно). Продуктами жизнедеятельности указанных родов являются высокоопасные цианотоксины: анатоксин-а, сакситоксины, цилиндропермопсины, микроцистины и β -N-метиламино-L-аланин, а также одоранты: геосмин и 2-метилизобарнеол. Максимальные концентрации геосмина в исходной и питьевой воде на РСВ в осенний период превышали порог восприятия запаха 0,004 мкг/л в 2,35 (0,0094 мкг/л) и в 1,65 (0,0066 мкг/л) раз, соответственно.

4. Приоритетными цианотоксинами в воде водоисточника и питьевой воде города Москвы в 2016 г. являлись нейротоксин анатоксин-а, небелковая кислота бета-N-метиламин-L-аланин, вызывающая гибель нейронов, а также гепатотоксин микроцистин-LR, концентрации которого в природной воде водоисточника превышали рекомендованный ВОЗ уровень (1 мкг/л) в 2 и более раз. Обнаружено, что в питьевой воде на выходе с РСВ содержание анатоксина-а в 1,6 раз, а в питьевой воде разводящей сети – в 2,4 раза выше его уровня в исходной воде водозабора.

5. Для являющегося потенциальным канцерогеном микроцистина-LR обоснована предельно допустимая концентрация в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования на уровне 0,001 мг/л по санитарно-токсикологическому признаку вредности, 1 класс опасности (потенциальный канцероген). Разработана методика определения его содержания в воде методом иммуноферментного анализа, базирующегося на технологии твердофазного конкурентного иммуноферментного анализа с фотометрической детекцией, который позволяет с высокой точностью определять микроцистин-LR с нижним пределом измерения 0,1 мкг/дм³.

6. Эффективность технологий очистки исходной воды водоисточника до питьевого качества, применяемых на РСВ, от клеток ЦБ составила от 96,1 до 99,8%. Максимальное количество клеток ЦБ удаляется с основной массой взвеси в отстойниках (49,1%) и на фильтрах с 1,6 метровой загрузкой из кварцевого песка (46%). Эффективность очистки исходной воды от геосмина не превышала 35%, от токсинов ЦБ в отношении бета-N-метиламин-L- аланина – 45%, в отношении микроцистина-LR – 100%.

7. Разработанная многоуровневая система гигиенического мониторинга, направленная на снижение воздействия цианотоксинов на здоровье человека, включает

определенные, дифференцированные во времени сезонные параметры биомониторинга по показателям численности, видового состава СЗВ и их приоритетных цианотоксинов. В случае обнаружения микроцистина-LR в питьевой воде в концентрациях выше 0,001 мг/л даны рекомендации по снижению загрязнения ими питьевой воды: повышение эффективности промывки фильтрующей загрузки и замена фильтрующей загрузки (в случае неэффективности изменения режима промывки).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Актуальным направлением продолжения исследований является нормирование других цианотоксинов в воде водных объектов. Учитывая полученные результаты, в первую очередь, необходимо продолжить исследования в отношении приоритетных для водоисточников и питьевой воды города Москвы цианотоксинов: анатоксина-а, небелковой кислоты бета-N-метиламин-L-аланин. Необходимо изучить проблему «цветения» поверхностных водоисточников РФ. Это позволит обеспечить эффективный гигиенический мониторинг с учетом местных особенностей, разработать и реализовать целенаправленные гигиенические мероприятия по снижению или устранению вредного воздействия цианотоксинов на здоровье населения.

Выражаю благодарность за научное сопровождение исследований и консультирование доктору медицинских наук, профессору, академику РАН Рахманину Юрию Анатольевичу и доктору медицинских наук, профессору, ведущему научному сотруднику лаборатории эколого-гигиенической оценки и прогнозирования токсичности веществ ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Минздрава России Жолдаковой Зое Ильиничне, а также заместителю генерального директора, начальнику Управления водоснабжения АО «Мосводоканал» Шушкевичу Евгению Владимировичу и руководителю компании «Стайлаб», кандидату химических наук Галкину Александру Викторовичу за помощь в проведении настоящих исследований.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В научных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации

1. **Кузь Н.В.** К вопросу о совершенствовании системы оценки качества питьевой воды (на примере цианобактерий) / Кузь Н.В. // Здоровье населения и среда обитания. 2014. - №10(259). -С. 11–13.
2. **Кузь Н.В.** Проблема «цветения» водоисточников. Оценка влияния процессов водоподготовки на содержание цианобактерий в питьевой воде хозяйственно-питьевого водоснабжения города Москвы / Кузь Н.В., Сеницына О.О. // Здоровье населения и среда обитания. 2017. -№ 9(294). -С. 38-43.
3. **Кузь Н.В.** Информационные технологии анализа и оценки содержания геосмина в воде / Кузь Н.В. // Информационные и телекоммуникационные технологии. 2018. -№ 39. -С. 50-63.
4. Егорова Н.А. Материалы к обоснованию гигиенического норматива микроцистина-LR в воде водных объектов / Егорова Н.А., **Кузь Н.В.**, Сеницына О.О. // Гигиена и санитария. 2018. –Т.97.-№ 11. -С. 1046-1052.

В научных изданиях вне перечня ВАК

5. Силиверстов В.А. Проблемы присутствия альгофлоры в питьевых и природных водах / Силиверстов В.А., **Кузь Н.В.** // Экология человека и медико-биологическая безопасность населения: Сб. тезисов докл. VI междунар. симпозиума. М., 2010. -С. 88.
6. **Кузь Н.В.** Цианобактерии и продукты их жизнедеятельности в питьевой воде /Кузь Н.В. // Окружающая среда и здоровье. Здоровая среда – здоровое наследие: Материалы V Всеросс. научно-практич. конф. молодых ученых и специалистов с междунар. участием. М., 2014 г.- С. 274-275.
7. **Кузь Н.В.** Проблема «цветения» поверхностных водоисточников города Москвы / Кузь Н.В. // Экология человека и медико-биологическая безопасность населения: Сб. матер. XII Международного симпозиума. М., 2018 г. -С. 64-69.
8. **Кузь Н.В.** Актуальность развития цианобактерий для безопасности водоснабжения города Москвы / Кузь Н.В. // Экология человека и медико-биологическая безопасность населения: Сб. матер. XIII Международного симпозиума. М., 2019 г. -С. 76-81.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЦБ	Цианобактерии
СЗВ	Синезеленые водоросли
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ВСВ	Восточная станция водоподготовки
ЗСВ	Западная станция водоподготовки
РСВ	Рублевская станция водоподготовки
ССВ	Северная станция водоподготовки
ВМАА	Небелковая кислота бета-N-метиламин-L-аланин

Научное издание

Кузь Надежда Валентиновна

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГИГИЕНИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО
КОНТРОЛЮ И СНИЖЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
ЦИАНОБАКТЕРИЯМИ И ЦИАНОТОКСИНАМИ**

14.02.01- Гигиена

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук