

МЕТОД ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СПОСОБОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ METHOD OF HYGIENIC ASSESSMENT OF WATER DISINFECTION TECHNIQUES

***Е. В. Дроздова, В. В. Гурина, В. В. Бурая, А. В. Фираго, О. А. Емельянова,
А. И. Докутович, О. В. Саракач, М. В. Анисович
A. Drazdova, V. Hiryna, V. Buraya, A. Firaha, O. Emelianova, V. Sarakach,
A. Dakutovich, M. Anisovich***

*Научно-практический центр гигиены,
г. Минск, Республика Беларусь
water@rspch.by
Scientific Practical Center of Hygiene, Minsk, Republic of Belarus*

Научно обоснованы методологические подходы к оценке безопасности способов обеззараживания воды по критериям потенциального риска здоровью от воздействия побочных продуктов дезинфекции, подходы к выбору способов обеззараживания с учетом отдаленных эффектов воздействия побочных продуктов водоподготовки, формализованные в Инструкции по применению № 015-1118 «Метод гигиенической оценки безопасности способов обеззараживания воды» (утверждена заместителем Министра здравоохранения – Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 19.12.2018). Предназначена для повышения объективности оценки потенциальных рисков возникновения отдаленных последствий для здоровья, обусловленных применением обеззараживания питьевой воды и воды плавательных бассейнов.

Methodological approaches to assessing the safety of water disinfection methods according to the criteria of potential health risk from the effects of disinfection by-products, approaches to the choice of disinfection methods taking into account the long-term effects of water treatment by-products are scientifically substantiated. Formalized in the Instruction № 015-1118 “Method of Hygienic Assessment of Water Disinfection Techniques” (approved by the Deputy Minister of Health of the Republic of Belarus 19.12.2018). It can be used to improve the objectivity of the assessment of the potential risks of long-term health effects caused by the use of disinfection of drinking water and swimming pool water.

Ключевые слова: реагентные методы обеззараживания, побочные продукты дезинфекции, генотоксичность, интегральная токсичность, оценка рисков здоровью, безопасность.

Keywords: reagent disinfection methods, disinfection by-products, genotoxicity, integral toxicity, health risk assessment, safety.

Загрязнение поверхностных источников водоснабжения может происходить вследствие целого ряда причин. Основными источниками загрязнения являются организованные (сточные воды промышленных предприятий, городские сточные воды) и диффузные источники (смыв с водозаборных территорий), также загрязнение может происходить вследствие жизнедеятельности водного биоценоза водоема. Спектр основных химических и биологических загрязнителей зависит как от химического состава и биологического загрязнения сточных вод, так и природных факторов: времени года (температурные условия водоема), самоочищающей способности водоема. В этой связи очистка и обеззараживание воды, используемой в питьевом водоснабжении и для бассейнов, является обязательным условием обеспечения безопасности водопользования населения. Количество этапов и выбор методов очистки и обеззараживания источников воды определяется в соответствии с ее характеристиками, социально-экономическими и другими условиями.

Гигиенической основой определения выбора оптимального и наиболее эффективного метода очистки и обеззараживания питьевой воды является сопоставительный анализ преимуществ и недостатков их применения (способов обеззараживания – метод и режим обработки) в реальных условиях. При выборе метода обеззараживания питьевой воды помимо эффективности в отношении патогенных микроорганизмов следует учитывать опасность для здоровья остаточных количеств дезинфектантов и побочных продуктов дезинфекции (ППД). Современными методами химического анализа идентифицируются более 260 ППД, образующихся при хлорировании воды, в т. ч. хлороформ, дихлорбромметан, бромдихлорметан, трибромметан, трихлорфенол, 2-хлорфенол, дихлорацетонитрил, хлоргигридин, – высокотоксичные соединения, способные негативно влиять на здоровье человека. Ряд из соединений (хлороформ, бромдихлорметан) отнесены к группе канцерогенов с классом опасности 1 (чрезвычайно опасные) по санитарно-токсикологическому признаку. Накоплена достоверная информация по эпидемиологии случаев рака мочевого пузыря, толстой и прямой кишки, поджелудочной железы и головного мозга, связанных с употреблением хлорированной воды, содержащей ТГМ. Доказано их влияние на репродуктивную функцию женщин при употреблении питьевой воды с содержанием ТГМ более 80–100 мкг/л: повышение частоты нарушений течения беременности, внутриутробного развития плода, врожденных уродств. Установлена связь

между наличием ППД в воде и риском кожных и респираторных заболеваний при принятии душа или ванны. Ранее на основании результатов научных исследований (задание 5.2.9. ГНТП «Экологическая безопасность») были разработаны требования к контролю безопасности применения хлорирования для обеззараживания питьевой воды по содержанию ППД (тригалогенметанов – ТГМ), что соответствовало основным международным тенденциям и подходам. Данными современных исследований установлено, что одновременно в воде после обработки могут присутствовать до 260 ППД, и не только ТГМ (Woo et al., 2002, Richardson S.D., et al. 2007, Krasner S.W., 2009, Cao N. et al., 2009, Lui Q. et al., 2010, Bull R.J. et al., 2011), в то время как контроль безопасности обеззараживания воды проводится по содержанию остаточных продуктов и определенному (2–6 веществ в зависимости от метода обработки) перечню индикаторных ППД [1–3]. Несомненно, контроль всех ППД нецелесообразен, однако одновременное присутствие обладающих выраженной биологической активностью ППД, даже в следовых концентрациях может вызывать биологические эффекты, включая отдаленные (генотоксичность, канцерогенность, репротоксичность), что требует повышения информативности подходов к контролю безопасности дезинфекции с позиций риска здоровью от присутствия в воде токсичных ППД. Это определило актуальность НИР по заданию 01.01. ОНТП «Здоровье и среда обитания» (2016-2018).

В рамках НИР на основании углубленного анализа отечественных, международных подходов и подходов отдельных стран к оценке безопасности водопользования, обусловленного применением различных методов обеззараживания, подготовлена аналитическая информация о побочных продуктах дезинфекции, потенциально присутствующих в воде после хлорирования и озонирования в контексте их канцерогенного потенциала [4]. Изучен состав воды с акцентом на характеристику по содержанию побочных продуктов дезинфекции при применении реагентных методов (хлорирования, озонирования) с учетом сезонности. Экспериментально изучены влияние обеззараживания воды реагентными методами на ее генотоксичность в планшетном SOS-тесте, мутагенность в микроядерном тесте на эритроцитах мышей, интегральная токсичность в батарее тестов на водных тест-объектах. Результаты интегральной оценки показали корреляцию между увеличением интегральной токсичности в тесте на дафниях и более высокими уровнями хлороформа и в остаточного хлора в воде. Проведена оценка риска продуктов дезинфекции в питьевой воде и воде бассейнов (для различных возрастных групп, для спортсменов спорта высоких достижений, профессиональные риски). Научно обоснованы методологические подходы к оценке безопасности способов обеззараживания воды по критериям потенциального канцерогенного риска здоровью от воздействия побочных продуктов дезинфекции, подходы к выбору способов обеззараживания с учетом отдаленных эффектов воздействия побочных продуктов водоподготовки, которые формализованы в Инструкции по применению № 011-1118 «Метод гигиенической оценки безопасности способов обеззараживания воды» (утверждена заместителем Министра здравоохранения – Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 19.12.2018). В приложениях к Инструкции представлена характеристика патогенных микроорганизмов, передающихся с водой, включая их устойчивость к хлорированию (по данным ВОЗ), справочная информация о преимуществах и недостатках основных методов обеззараживания питьевой воды, а также краткая характеристика эффективности применения методов дополнительной очистки питьевой воды при обеззараживании хлорсодержащими препаратами, сопровождающейся образованием хлорсодержащих токсичных соединений.

Предложенный метод гигиенической оценки способов обеззараживания воды, применяемых при водоподготовке в конкретных централизованных системах питьевого водоснабжения, является комплексным, проводится по схеме из 6 этапов:

- 1) оценка эффективности в отношении основных видов водной микробиоты в зависимости от конкретных характеристик воды и применяемых режимов обеззараживания (изучение микробного состава по индикаторным микробиологическим показателям, идентификация микробиологического профиля воды);
- 2) оценка влияния способа водоподготовки на органолептические свойства воды;
- 3) аналитические исследования химического состава воды после обеззараживания, включая определение остаточных количеств дезинфектантов, продуктов трансформации (регламентируемых побочных продуктов дезинфекции);
- 4) оценка рисков здоровью от химического состава воды для различных групп населения: рисков немедленного действия, хронического неканцерогенного и канцерогенного;
- 5) оценка интегральной токсичности воды после обеззараживания методами биотестирования в батарее тестов в соответствии с утвержденными методами.

В качестве тест-объектов могут использоваться гидробионты, например, ракообразные дафнии (*Daphnia magna* Straus), инфузории (*Tetrahymena pyriformis*), клеточные культуры.

Для повышения чувствительности и надежности биотестирования проводят предварительное концентрирование (не менее 100 раз) проб воды, с помощью следующих приемов: выпаривание в вакууме, вымораживание, экстракция органическими растворителями, адсорбция/десорбция на активированном угле или полимерных синтетических сорбентах. Аналогично опытной пробе параллельно проводится концентрирование контрольной пробы (исходной воды). Следует учитывать, что все методы концентрирования приводят к снижению концентрации ЛОС в пробах воды, разрушению нестабильных веществ и тем самым – к недооценке их опасности. Отсутствие гибели дафний при биотестировании концентрированных проб водной вытяжки и контрольной воды свидетельствуют о том, что в испытуемой водной вытяжке не содержалось соединений в концентрациях, опасных для человека;

б) оценка отдаленных эффектов воздействия воды после обеззараживания, проводимая при обнаружении в воде аналитическими методами веществ, обладающих мутагенным и канцерогенным эффектом:

- оценка суммарной мутагенной активности / генотоксичности воды после обеззараживания;
- оценка канцерогенности воды после обеззараживания.

Уровень химического и микробиологического загрязнения исходной воды, используемой в питьевом водоснабжении должен соответствовать требованиям к источникам централизованного питьевого водоснабжения и к воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Объем и этапы необходимых исследований при гигиенической оценке способа обеззараживания определяются масштабом применения способа обеззараживания (количества водоснабжаемого населения) и лабораторными возможностями. Вне зависимости от объема исследований экспериментальная часть исследований должна быть спланирована с учетом сезонных характеристик природной воды (особенностей химического и микробиологического состава). Применение предложенной схемы в полном объеме позволяет дать комплексную гигиеническую оценку воды после обеззараживания при различных режимах и способах обеззараживания с учетом одновременного потенциального присутствия побочных продуктов обеззараживания, определяющих риск развития воднообусловленных заболеваний, в том числе отдаленные эффекты (канцерогенные, генотоксичность, мутагенность).

Применение экспериментальной схемы в базовом (минимальном, основном) объеме (этапы 1–4) позволяет дать базовую оценку безопасности способов обеззараживания воды.

Основными гигиеническими критериями оценки результатов с целью выбора методов очистки и обеззараживания питьевой воды являются:

1) эффективность метода обеззараживания в отношении возбудителей инфекционных заболеваний – возможность достижения отсутствия в воде патогенных для человека микроорганизмов (бактерий, вирусов, простейших, гельминтов): обеспечение соответствия показателям микробиологической безопасности и наличие эффекта последствия в разводящей сети (предпочтительно);

2) обеспечение достижения при применении эффективного режима обеззараживания соответствия питьевой воды нормативным требованиям безопасности по химическому составу по содержанию: остаточных количеств дезинфектантов, побочных продуктов дезинфекции (по индикаторным показателям для конкретного метода водоподготовки);

3) расчетный канцерогенный риск от химического загрязнения питьевой воды должен оцениваться как «приемлемый»;

4) отсутствие интегральной токсичности;

5) наличие возможности ведения мониторинга воды по показателям безопасности при применении выбранных методов водоподготовки, включая контроль образующихся побочных продуктов;

6) устойчивость эффекта и его малая зависимость от условий среды;

7) возможность дополнительного изменения физико-химических свойств воды (окисление легко окисляемых соединений, дезодорирование воды);

8) экономическая и социально-экономическая целесообразность – затраты на водоподготовку и доставку воды потребителю должны быть соизмеримы с возможностями оплаты и социальными выгодами (снижение заболеваемости, доверие потребителя производителям питьевой воды и надзорным органам), получаемыми в результате обеспечения безопасной питьевой водой;

9) предприятие водоподготовки не должно быть источником загрязнения окружающей среды и не должно создавать угрозу последствий техногенных катастроф для населения.

Оценка суммарной мутагенной активности / генотоксичности воды после обеззараживания может проводиться в соответствии с утвержденными методами, например, Инструкцией по применению № 012-1115 «Методы определения генотоксического действия химических токсикантов в краткосрочных тестах», утверждена заместителем Министра здравоохранения – Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 18.12.2015 г. Для оценки генотоксического действия химических токсикантов могут быть использованы краткосрочные тесты с использованием прокариотических организмов в качестве тест-систем. Используемые тест-культуры должны дополнять друг друга по чувствительности к различным группам химических веществ, типу определяемой мутации и др.

Ограничениями для использования краткосрочных тестов на базе прокариотических тест-систем являются: исследования химических веществ, обладающих сильной бактерицидной и (или) бактериостатической активностью, при исследовании генотоксичности веществ, специфически воздействующих на клетки млекопитающих (например, аналогов нуклеозидов), могут быть получены ложноотрицательные результаты; ограничением при проведении исследования может являться высокая начальная микробная контаминация исследуемого объекта. Положительный результат в тесте Эймса является основанием для запрещения способа обеззараживания в данных конкретных условиях. Отрицательный результат оценки СМА не позволяет с уверенностью утверждать, что в воде отсутствуют мутагены и канцерогены.

Комбинированные исследования хронической токсичности и канцерогенности проводятся на грызунах с целью получения данных о токсическом воздействии, включая потенциальную канцерогенность, определения органов-мишеней и возможности кумуляции [5]. Выбор вида грызуна должен быть обоснован. Предпочтитель-

ным видом грызунов являются крысы, хотя могут использоваться и другие виды, например, мыши. Схема исследования состоит из двух параллельных фаз: фаза исследования хронической токсичности продолжительностью 12 месяцев, фаза исследования канцерогенности продолжительностью 24 месяца (должна быть большей частью нормального жизненного цикла подопытных животных). Продолжительность исследования должна быть достаточна для любых проявлений кумулятивной токсичности, не смешиваясь при этом с проявлениями возрастных изменений. Исследуемый образец должен поступать ежедневно группам подопытных животных (обеспечивается свободный доступ к воде).

Наличие химического загрязнения воды снижает эффективность очистки и обеззараживания исходной воды; для определения метода обеззараживания и очистки при выраженном химическом (органическом и неорганическом) загрязнении необходимо проведение дополнительных аналитических и экспериментальных (модельных) исследований.

Предложенный метод гигиенической оценки безопасности способов обеззараживания воды может быть использован в комплексе медицинских услуг, направленных на медицинскую профилактику заболеваний населения, ассоциированных с образованием побочных токсичных продуктов обеззараживания при применении реагентных методов. В рамках госнадзора может использоваться при обосновании выбора наиболее безопасного способа обеззараживания питьевой воды, определяющего наименьшие риски здоровью населения, сравнительном анализе эффективности и безопасности различных режимов и способов обеззараживания в условиях конкретной системы водоснабжения, разработке профилактических мероприятий, направленных на повышение безопасности питьевой воды, повышения их эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Woo, Y.* Use of Mechanism-Based Structure–Activity Relationships Analysis in Carcinogenic Potential Ranking for Drinking Water Disinfection By-Products / Y. Woo [et al.] // *Env. Health Persp.* – 1999. – Vol. 107. – Suppl. 1. – P. 207–2017.
2. *Richardson, S. D.* Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research / S. D. Richardson [et al.] // *Mutat Res.* – 2007. – Vol. 636 (1–3). – P. 178–242.
3. *Bull, R. J.* Potential carcinogenic hazards of non-regulated disinfection by-products: haloquinones, halo-cyclopentene and cyclohexene derivatives, N-halamines, halonitriles, and heterocyclic amines / R. J. Bull [et al.] // *Toxicology.* – 2011. – Vol. 286 (1–3). – P. 1–19.
4. *Дроздова, Е. В.* К вопросу об образовании побочных продуктов дезинфекции питьевой воды (регламентируемых и эмерджентных), их генотоксических и канцерогенных свойствах: обзор проблемы и направления дальнейших исследований / Е. В. Дроздова [и др.] // *Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / М-во здравоохран. Респ. Беларусь. Науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. С. И. Сычик.* – Минск: РНПМБ, 2016. – Т. 1, вып. 26. – С. 95–98.
5. OECD TG № 453 «Combined Chronic Toxicity/Carcinogenicity Studies» (ОЭСР Руководство № 453 «Комбинированные исследования хронической токсичности и канцерогенности»): междунар. документ: разработан Организацией Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР/OECD).

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ REMOTE METHODS OF RADIATION THERAPY

Л. А. Жук, Г. Е. Тур
L. Zhuk, G. Tur

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
lutik25021984@gmail.com
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Во всем мире отмечается рост заболеваемости злокачественными новообразованиями, которые находятся на третьем месте по смертности населения после травм и сердечно-сосудистых заболеваний.

В настоящее время предпочтение отдается мультимодальному лечению онкологических заболеваний, в которое входит лучевая терапия. Лучевая терапия стремительно развивается, появляются более новые методики проведения. Техническое совершенствование аппаратов для лучевой терапии позволяет расширить показания для ее использования, а также снизить риск побочных реакций и осложнений лучевой терапии.

На сегодняшний день лучевая терапия представляет собой высокотехнологический процесс, использующий сложные электрофизические установки, мощные компьютерные станции и прецизионные дозиметрические приборы.