

На правах рукописи

ШУРЭНЦЭЦЭГ ХУРЭЛБААТАР

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
СПОСОБАХ ВОДОПОДГОТОВКИ

Специальность 03.00.16 – Экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Иваново 2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
“Ивановский государственный химико-технологический университет”
на кафедре «Промышленная экология»

Научный руководитель: Доктор химических наук,
профессор Гриневич Владимир Иванович

Официальные оппоненты: Доктор химических наук,
профессор Базанов Михаил Иванович
Кандидат химических наук,
доцент Ефимова Галина Александровна

Ведущая организация: Ковровская государственная технологическая
академия имени В.А. Дегтярева

Защита состоится «28» декабря 2009 г. в 12 часов в аудитории на за-
седании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д
212.063.02 в Государственном образовательном учреждении высшего про-
фессионального образования “Ивановский государственный химико-
технологический университет” по адресу:

153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО “Ивановский
государственный химико-технологический университет” по адресу:
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 10.

Автореферат разослан « 27 » ноября 2009 г.

Учёный секретарь совета, д.т.н., ст.н.с.



Гришина Е.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема содержания различных токсикантов в питьевой воде привлекает к себе внимание не только исследователей различных областей науки и специалистов водоподготовки, но и потребителей. Концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах варьируются в широких пределах и зависит от многих факторов. Доминирующим из них является хозяйственная деятельность человека, в результате которой поверхностные стоки и атмосферные осадки загрязнены разнообразными веществами и соединениями, включая и органические. Качество питьевой воды в значительной мере определяется стадией водоподготовки. В зависимости от того, какие для этого используют методы и реагенты, происходит формирование качества питьевой воды, поступающей в централизованную водопроводную сеть.

Сложность проблемы заключается в том, что набор органических загрязнителей, содержащихся в микроколичествах, как в поверхностных водах, так и питьевой воде очень широк и специфичен. Некоторые вещества, такие как пестициды, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), хлорорганические соединения (ХОС), включая диоксины, тяжелые металлы (ТМ) даже в микродозах чрезвычайно опасны для здоровья человека.

Поэтому выявление взаимосвязей между содержанием токсикантов в природных водах, являющихся источниками водоснабжения, и в питьевой воде в зависимости от способа водоподготовки имеет актуальное значение.

Поиск альтернативных методов водоподготовки также является актуальной задачей.

Основной целью данной работы было выявление приоритетных загрязнителей природной и питьевой воды, а также оценка возможности применения альтернативных методов водоподготовки.

Для достижения этих целей были выполнены:

- экспериментальные измерения наиболее важных показателей качества воды природной воды (сезонная и годовая динамика изменения качества) и воды из централизованной системы водоснабжения;
- измерения содержания токсикантов после альтернативных методов водоподготовки (озонирование и диэлектрический барьерный разряд - ДБР);
- оценка токсичности воды прошедшей различные виды обработки методом биотестирования;
- оценка влияния питьевой воды на здоровье населения по результатам эксперимента.

Новизна исследования. Определены критериальные загрязнители природных вод (углеводороды нефти и фенолы, ТМ, ХОС). Установлено влияние содержания токсикантов в природной воде на качество питьевой воды в зависимости от применяемого метода водоподготовки. Показано, что основной вклад в появление ХОС (хлорметанов) в питьевой воде дают растворенные в воде органические соединения. Выявлено, что после хлорирования содержание хлорорганических соединений в питьевой воде увеличивается в 1.2-24 раза, а после озонирования и обработки в ДБР снижается в среднем в 2 раза. Расчетами и экспериментально показано, что применение альтернативных

методов водоподготовки (озонирование, ДБР) позволяет снизить величину токсичности воды (биотестирование) и суммарного общетоксического риска для потребителей воды.

Практическая значимость. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для прогноза изменения качества природной и питьевой воды, а также для эколого-экономического обоснования необходимости модернизации систем водоподготовки, в частности для г. Иваново.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивалась использованием современных методов исследований и обработки результатов, выполненных в соответствии с действующей нормативной документацией (ГОСТ, СанПиН, ГН, МУК и др.), проверкой их на воспроизводимость, а также отсутствием противоречий с теми сведениями, которые были известны ранее.

Личный вклад автора. Анализ литературных источников, выбор объектов исследований с учетом их специфики, экспериментальные исследования выполнены лично автором. Постановка цели и задач исследования, интерпретация и анализ полученных результатов, формулирование основных выводов диссертационной работы, проведены соискателем и совместно с научным руководителем.

Публикация и апробация работы. Основные результаты диссертации были доложены и обсуждены на научной конференции «Санитарно-гигиеническая служба-70», Монголия, Улан-Батор, 2004; Scientific conference “Heritage and innovation of medical sciences in Mongolia”, Mongolia, Ulan Bator, 2006; на 8-м Международном конгрессе “Вода: экология и технология” ЭК-ВАТЭК-2008, г. Москва; на VII и VIII Региональной студенческой научной конференции с международным участием “Фундаментальные науки - специалисту нового века”, г. Иваново, 2008, 2009; на 89-й научно-практической конференции студентов и молодых ученых ИвГМА «Неделя науки-2009», Иваново, 2009.

По результатам исследований опубликовано 14 работ, включая 1 статью из перечня журналов, рекомендованных ВАК.

Объём диссертации. Диссертация изложена на 146 стр., содержит 41 табл., 53 рис. и состоит из введения, литературного обзора, методик исследований, обсуждения результатов, выводов и списка цитируемой литературы, включающего 122 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены основные источники загрязнения и факторы, влияющие на состояние природных вод (источников водоснабжения). Дан сравнительный анализ различных методов водоподготовки, позволяющих снижать содержание поллютантов в питьевой воде (хлорирование, озонирование, УФ-излучение). Установлено, что в настоящее время не существует универсального метода для всех видов обработки воды: подготовки питьевой воды, обезвреживания промышленных, бытовых и ливневых стоков. Показано, что изучение процессов поступления и миграции основных токсиантов в каждом конкретном водотоке является не только актуальным, но и

обязательным как для улучшения качества воды в нем, так и для выбора метода водоподготовки.

Во второй главе приведены объекты исследований: физико-географическая характеристика района Уводьского водозабора г. Иваново и общая характеристика системы водоснабжения г. Улан-Батора.

Приведено описание экспериментальных установок, а также методики озонирования и обработки в ДБР.

Показатели качества воды после озонирования, обработки в ДБР, воды из централизованной системы водоснабжения города и из водозабора, а также атмосферных выпадений проводили по стандартным методикам: рН - потенциометрическим методом; общую минерализацию (сухой остаток) - весовым методом; химическое (ХПК), биохимическое (БПК₅) потребление кислорода, растворенный кислород – титриметрическим методом; SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ - фотометрическим методом; фенолы, нефтепродукты и формальдегид - хемоллюминесцентным методом (Флюорат-2М), хлорорганические соединения (хлороформ, 1,2-дихлорэтан, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен, 1,1,2,2 тетрахлорэтан) и пестицидов (гамма ГХЦГ, ДДТ) – хроматографическим методом (газовый хроматограф марки «Биолют» с детектором электронного захвата (ДЭЗ)), содержание металлов Cu, Fe, Mn, Cr, Ni, Cd, Zn – атомно-абсорбционным методом (спектрофотометр «Сатурн»). Случайная погрешность измерения ХОС хроматографическим методом (доверительная вероятность 0,95) не превышала 25 %, а относительная погрешность измерения всех остальных показателей качества воды по стандартным методикам не превышала 20%.

Токсическое действие растворов определялось расчетным методом (расчет потенциальной токсичности - ПТ) и методом биотестирования (тест-объекты - *Daphnia Magna* (дафнии) и *Poecillia Reticulata Peters* (гуппи)). Погрешность метода биотестирования на дафниях составляет 66 %, на гуппи – 42 %.

В третьей главе проводится обсуждение полученных экспериментальных данных. *Качество воды в Уводьском водохранилище (водозабор).*

Результаты измерений основных показателей качества воды в районе водозабора г. Иваново (местечко Авдотьино, поверхностный источник водоснабжения) в течение 2003-2008 гг. показывают, что водоток испытывает повышенную нагрузку по следующим показателям (в долях ПДК по среднегодовому значению): БПК₅ (от 1.6 до 2), нефтепродукты (от 1.2 до 3.4), фенолы (от 5.1 до 10.2), железо (от 2.6 до 8.8), марганец (от 4.5 до 14), медь (от 3 до 8), цинк (от 1 до 4.5).

Содержание в Уводьском водозаборе органических веществ в составе растворенных форм и взвешенных частиц в 2008 г. зависит от сезонного фактора (в осенний период содержание органических соединений в растворенной форме увеличивается, а взвешенных частиц уменьшается). В фазу устойчивого водообмена содержание органических соединений выше, чем в зимние месяцы. По-видимому, это связано с более интенсивными процессами окисления, фотосинтеза или гидролиза части органических веществ и переводом их в растворенное состояние.

Наблюдается тенденция к уменьшению концентрации растворенного кислорода в период интенсивного фотосинтеза, то есть в теплое время года, что характерно для любых водоемов. Так летом, при увеличении интенсивности процессов фотосинтеза, концентрация растворенного кислорода падает в среднем до 8.3 мгО₂/л. Это приводит к снижению интенсивности окислительных процессов загрязняющих веществ, однако адекватного роста содержания органических соединений в летние месяцы не наблюдается. Наблюдения, проведенные в течение всего исследуемого периода (2003-2008 гг.) времени, показали, что количество растворенного кислорода в Уводьском водохранилище (водозабор) никогда не падало ниже нормы, и находилось в пределах 5.2-13.1 мгО₂/л.

Перманганатная окисляемость (ПО), характеризующая содержание органических и минеральных веществ, изменялась в течение 2003-2008 гг. в пределах, мгО₂/л: 4.8-16.3; а содержание биохимически окисляемых органических соединений (БПК₅) в воде водозабора колебалось от 2.3-5.76 мг О₂/л. Изменение среднегодового значения БПК₅ в интервале наблюдений 2003-2008 гг. имеет тенденцию к снижению.

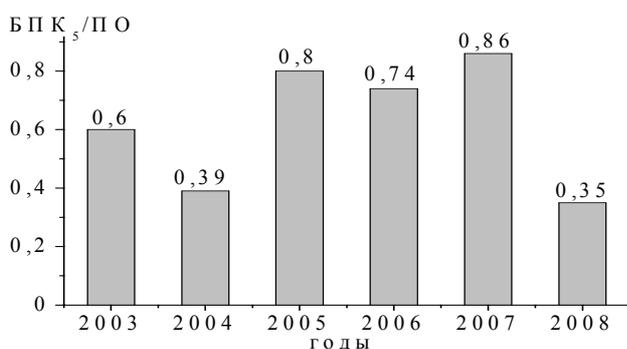


Рис. 1. Соотношение значений БПК₅/ПО (2003-2008 гг.)

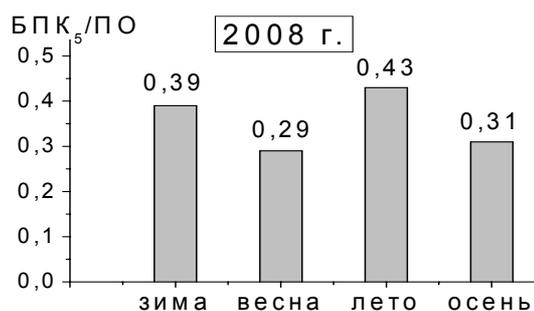


Рис. 2. Соотношение значений БПК₅/ПО в течение года.

Среднее отношение БПК₅/ПО (рис. 1) в первый год уменьшилось почти в 2 раза, а в период с 2004 по 2007 гг. наблюдается обратная тенденция. Отметим, что в 2008 г. отношение БПК₅/ПО заметно снизилось, особенно в весенний и осенний периоды (рис. 2). Это свидетельствует о накоплении трудно окисляемых органических веществ, что является как крайне негативным фактором для нормального функционирования водохранилища, а также должно сказываться на качестве питьевой воды.

По поступлению общего фосфора, трофическое состояние Уводьского водохранилища в 2003-2004 и 2008 годах занимает граничное состояние между мезотрофным (55 %) и эвтрофным (35 %).

Концентрации NO₃⁻, NO₂⁻ в летний период минимальны, что возможно, связано с незначительным притоком дождевой воды, а также отсутствием дополнительного поступления подземных вод и с развитием фитопланктона. Однако в осенний период концентрации NO₃⁻ увеличивается, что также объясняется вымыванием из почв почвенного органического вещества и отходов жизнедеятельности живых организмов и их последующем окислении.

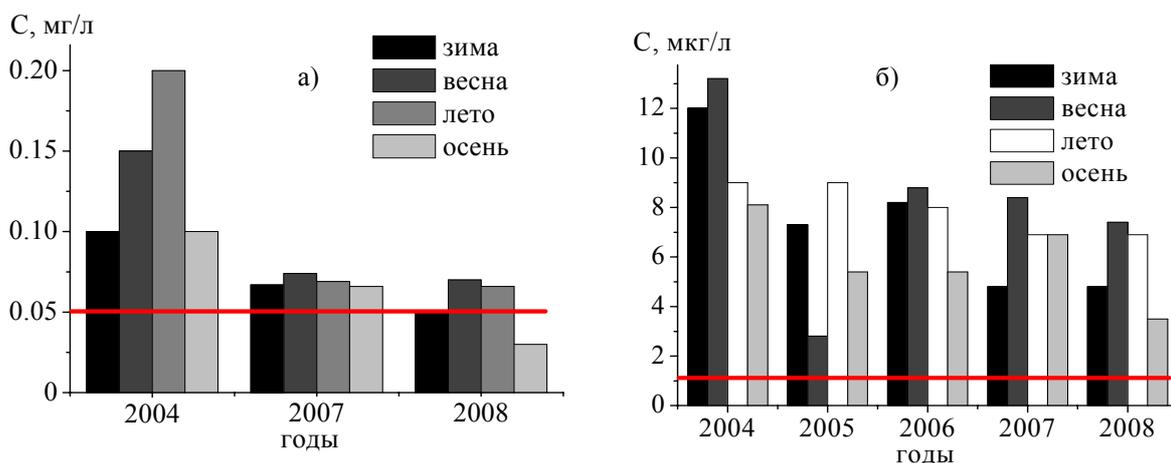


Рис. 3. Сезонное изменение концентрации нефтепродуктов (а), фенолов (б) в районе водозабора.

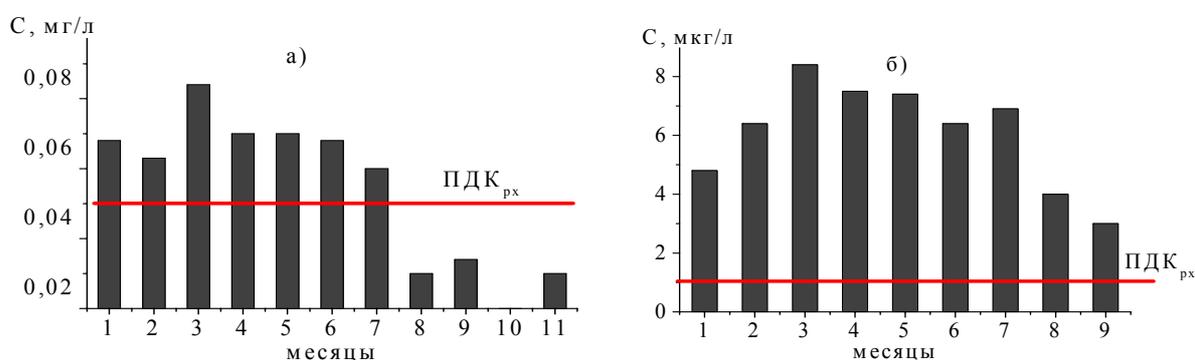


Рис. 4. Изменение концентрации нефтепродуктов (а), фенолов (б) в течение года.

Контроль за содержанием фенолов и нефтепродуктов в течение всего периода наблюдений показывает практически постоянное превышение нормируемых величин (рис. 3, 4). Так максимальное содержание углеводородов нефти наблюдалось в 2003-2004 гг. и составляло в среднем 3 ПДК_{рх} (ПДК_{рх} = 0.05 мг/л), однако в 2005-2008 гг. произошло уменьшение их концентрации до 1.2 ПДК. Необходимо отметить то, что максимум концентрации приходится на весенний период (фаза весеннего водообмена, рис. 4а). Следовательно, накопление биохимически не окисляющихся органических веществ, является, прежде всего, следствием загрязнения водохранилища нефтепродуктами, что и подтверждается минимальным отношением БПК₅/ПО (рис. 2). Максимальные концентрации фенолов (рис. 4б) были также зарегистрированы в весенний и летний периоды и составляли соответственно 7.4 и 6.9 мкг/л, что превышает нормируемое значение в 7.4 – 6.9 раза.

Содержание ТМ в районе водозабора в течение последнего года наблюдения, как правило, выше нормируемых величин, в частности концентрация железа в среднем выше ПДК_{рх} в 2.4 раза, меди – в 3 раза, марганца в 4.5 раза (табл. 1). Концентрация железа подвержена заметным сезонным колебаниям. Максимальное содержание наблюдалось в летние и зимние месяцы и составляло 0.78 и 0.52 мг/дм³ соответственно. Обычно в водоемах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации замет-

но увеличение концентрации железа в придонных слоях воды. Осенне-весеннее перемешивание водных масс (гомותרмия) сопровождается окислением Fe(II) в Fe(III) и выпадением последнего в виде Fe(OH)₃. Однако анализ изменения содержания тяжелых металлов в районе водозабора в течение всего периода наблюдения (2003 - 2008 гг.) показывает положительную тенденцию, а именно снижение среднегодовой концентрации всех исследуемых металлов.

Оценки качества воды по комплексному показателю (индекс загрязненности водотока - ИЗВ) показали, что в 2003-2005 гг. его величина составляла 6.9-8.8, что соответствует 6-му классу – «вода очень загрязненная» (табл. 1). Основной вклад в величину ИЗВ дают соединения марганца, железа и фенолы. С 2006 по 2008 г. наблюдается уменьшение величины ИЗВ, который составил 2.9-4.6, что соответствует четвертому и пятому классу – грязная и загрязненная.

Таблица 1

Тенденция изменения качества воды в районе водозабора (2003-2008 гг.)

Год	Характеристика качества воды			Ингредиенты, ответственные за формирование ИЗВ (доли ПДК _{р.х})
	ИЗВ	Класс качества	Характеристика качества	
2003	7.2	VI	Очень грязная	Mn (14), Fe(8.8), фенол(8.55), Cu (8), H/пр(3), БПК ₅ (2.7)
2004	8.8	VI	Очень грязная	Mn (27), фенол(10.2), Fe(7.4), Cu (6), H/пр(3.4), БПК ₅ (1.3)
2005	6.9	VI	Очень грязная	Mn (26), Fe(5.4), фенол(5.1), Cu (3), БПК ₅ (2.6), H/пр(1.36)
2006	4.4	V	Грязная	Cu (7), фенол(6.7), Mn (6), Fe(4.1), БПК ₅ (2.35), H/пр(1.36)
2007	4.6	V	Грязная	Cu (7), фенол(6.9), Mn (6), Fe(4.7), БПК ₅ (2.9), H/пр(1.36)
2008	2.9	IV	Загрязненная	фенол(6.1), Mn (4.5), H/пр(1.2), Cu (3), Fe(2.6), БПК ₅ (1.1)

Хлорированные углеводороды в воде Уводьского водохранилища (водозабор)

Годовые и сезонные тренды концентраций ХОС в воде Уводьского водохранилища показаны на рис. 5-8. Диапазон варьируемых значений в течение последнего года наблюдения для хлороформа (2 класс опасности (КО)) составляло от 5.4 до 16.4 мкг/л, при среднем значении 11.2 мкг/л, что в 2.2 раза выше ПДК_{р.х}, для хлорфенолов (2,4 дихлорфенол, 2,4,6 трихлорфенол – 1 КО) диапазон варьирования концентраций составил 0.1 – 0.4 мкг/л (1-4 ПДК_{р.х}), а для CCl₄ (2 КО) максимальное значение достигало значения 1.9 мкг/л при нормируемом отсутствии содержания данного вещества в водоеме, т.е. водные экосистемы испытывают повышенные нагрузки по данным соединениям. В весенний и осенний периоды отмечалось повышенное содержание хлороформа, концентрации составляли 16.4 мкг/л (3.3 ПДК_{р.х}) и 15.6 мкг/л (3.1 ПДК_{р.х}) соответственно (рис. 5).

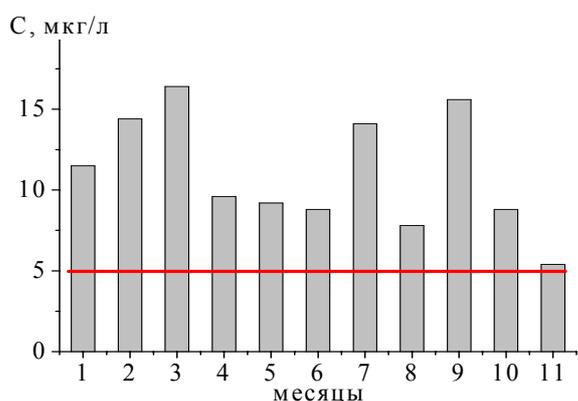


Рис. 5. Изменение концентрации хлороформа в течение года (2008 г.).

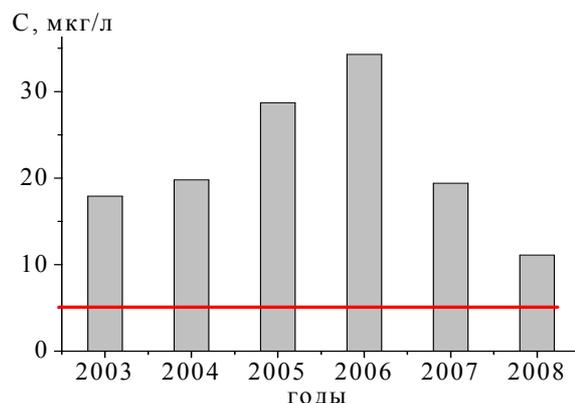


Рис. 6. Изменение среднегодового значения хлороформа (2003-2008 гг.).

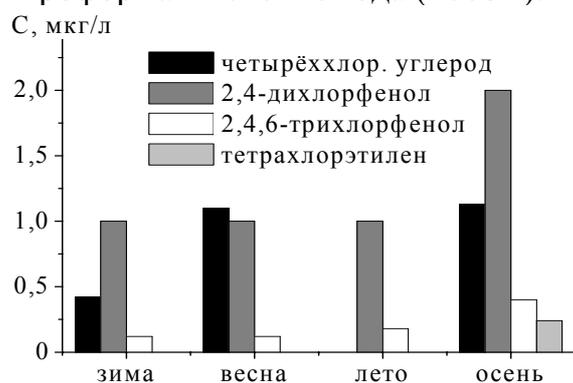


Рис. 7. Сезонное изменение концентрации ХОС (2008 г.).

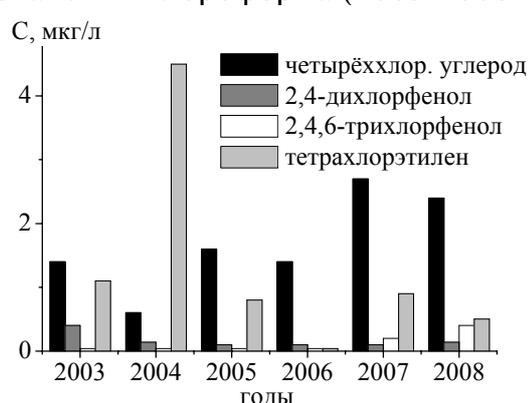


Рис. 8. Изменение среднегодового значения ХОС (2003-2008 гг.).

Качество пресных подземных вод

Вода из подземного источника в районе д. Юркино (ОНВС-2) имеет повышенное относительно ПДК содержание нитритов, железа общего, марганца, меди, цинка, четыреххлористого углерода и тетрахлорэтилена, в частности концентрация железа общего в среднем выше ПДК_{р.х.} в 6 раз, меди в 5 раз, цинка в 3 раза, марганца в 50 раз.

Концентрация хлорорганических соединений, образующихся при хлорировании грунтовых вод, была ниже по сравнению с концентрациями, наблюдаемыми при хлорировании воды Увдовского водохранилища, что также свидетельствует о меньшем содержании органических загрязнителей в подземных источниках питьевой воды г. Иванова.

Влияние атмосферных осадков

Концентрации фенолов в осадках составляет (2.3-2.6 мкг/л). Тем не менее, столь значительное содержание фенолов в осадках может вносить заметный вклад в загрязнение воды, особенно в паводковый период, что и наблюдается при весенних замерах. Загрязненность атмосферных выпадений нефтепродуктами, по сравнению с содержанием их в водоеме в весенний паводок, невелика и составляет для снега 0.08 мг/л (1.6 ПДК_{р.х.}). Зимние осадки содержали значительно больше металлов, чем «мокрые» выпадения. Так, с зимними осадками выпало Cu-0.01, Zn-0.03, Ni-0.03, Mn-0.03, Fe-0.4, Cr-0.012 мг/л, с дождями Zn-0.014, Fe-0.04 мг/л. С учетом того, что в 2008 году в воде водозабора максимальное содержание цинка, железа общего и меди отмечено

в зимний период, можно сделать вывод о том, что атмосферные осадки вносят определенный вклад в загрязнение воды Увудьского водозабора.

Четвертая глава посвящена изучению качества питьевой воды после различных методов водоподготовки. Качество питьевой воды из централизованной системы водоснабжения не удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов по следующим показателям:

- 1) перманганатная окисляемость превышает нормируемое значение (5 мг O_2 /л) в среднем 1.2 раза, что свидетельствует о наличии в воде повышенных концентраций химически трудно окисляющихся органических веществ;
- 2) в течение 2000-2005 гг. среднегодовое содержание фенолов составляло около 1.5 мкг/л и превышали нормируемое значение (1 мкг/л) в 1.5 раза, а начиная с 2006 г. превышения по данному показателю не зарегистрировано;
- 3) в отдельные годы наблюдается превышение допустимого содержания железа общего (2000 г., 2002-2007 гг.) и марганца (2003-2004 гг., 2007 г.).

По всем остальным контролируемым показателям превышения нормативных значений не наблюдалось. Тем не менее, нужно отметить, что после хлорирования концентрации ХОС в питьевой воде возрастают.

Результаты исследований, проведенных в 2008 г., показали, что в целом качество питьевой воды удовлетворительное. Содержание хлороформа и четыреххлористого углерода в питьевой воде г. Иваново варьировались в диапазоне концентраций 106.5-161.1 мкг/л и 1.1-3.1 мкг/л, соответственно, и не превышало нормативов РФ.

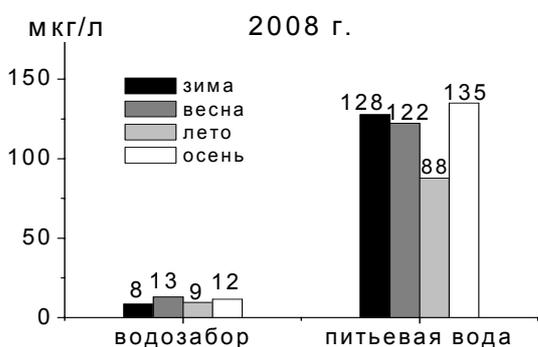


Рис. 9. Зависимость содержания хлорированных углеводородов (в пересчете на Cl) от времени года на водозаборе и питьевой воде.

Другим источником образования ХОС в питьевой воде является растворенное и взвешенное органическое вещество в источнике водоснабжения. Из данных рис. 10 следует, что на образование хлороформа в питьевой воде оказывает влияние как наличие растворенных (коэффициент корреляции (R) равен 0.72), так и суммарное содержание органических веществ ($R=0.84$), содержащихся в воде водохранилища. Причем на его содержание в питьевой воде оказывает влияние наличие как трудно (ПО), так и биохимически легко окисляемых (BPK_5) органических соединений (рис. 11, $R_{BPK_5} = 0.83$; $R_{ПО} = 0.78$).

Измерение концентрации галогенсодержащих углеводородов показало, что их суммарное содержание, в пересчете на хлор, в 10-11 раза выше в питьевой воде по сравнению с содержанием в источнике водоснабжения (рис. 9).

Для питьевой воды максимальное содержание наблюдалось в осенний период, а для воды в районе водозабора - в весенний и составляло 135 мкг/л и 13 мкг/л соответственно.

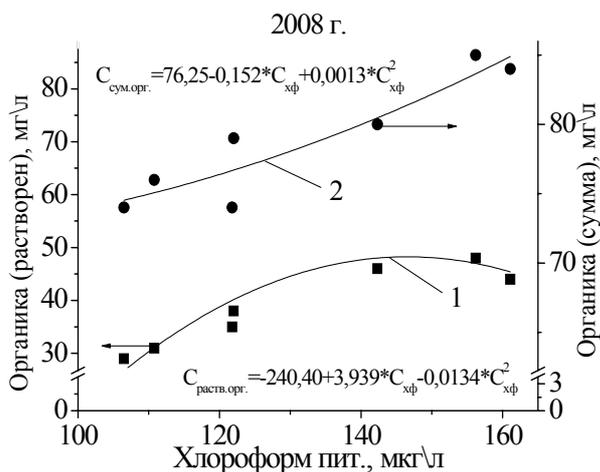


Рис. 10. Корреляционная зависимость концентрации хлороформа от растворенных (1) и суммы (2) органических соединений.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что химический состав воды в водоисточнике имеет непосредственное влияние на качество питьевой воды.

Качество воды после альтернативных методов водоподготовки Образование канцерогенных органических соединений при обеззараживании воды хлором является главной причиной поиска и внедрения альтернативных методов водоподготовки. Поэтому следующим этапом работы было исследование возможности применения диэлектрического барьерного разряда (ДБР) и метода озонирования для подготовки воды питьевого качества для г. Иваново.

В табл. 2 приведены сравнительные показатели качества воды из водозабора, водопровода и природной воды, обработанной в ДБР и озоном. После хлорирования содержание хлорорганических соединений в питьевой воде увеличивается в 1.2-24 раза (больше всего для хлороформа), а после озонирования и обработки в ДБР снижается более чем в два раза. Таким образом, применение озонирования и ДБР в качестве одной из стадий водоподготовки оказывается весьма эффективным с точки зрения снижения концентрации в питьевой воде хлорорганических соединений. Полученные результаты показывают, что при обработке воды как в ДБР, так и озонированием наблюдается значительное снижение концентраций большинства исследуемых органических соединений, однако происходило накопление альдегидов, в частности содержание формальдегида возросло в 3.8 раза (ДБР) по сравнению с природной водой.

Максимальная эффективность окисления нефтепродуктов под воздействием O_3 составляет около 99 %, а при обработке в ДБР она равна 93 %. Это связано с тем, что в ДБР обрабатываемая вода стекает в реакторе в пленочном режиме, т.е. в отличие от озонирования, где реакции окисления проходят в объеме раствора, в ДБР все процессы протекают в тонком слое жидкости. Содержание фенолов в воде водозабора составляет 4.3 мкг/л, а после обработки как в ДБР, так и методом озонирования их концентрация была ниже предела обнаружения. Экспериментальные данные показывают, что при обработке в ДБР, и при озонировании значение ПО снижается, т.е. можно сделать вывод,

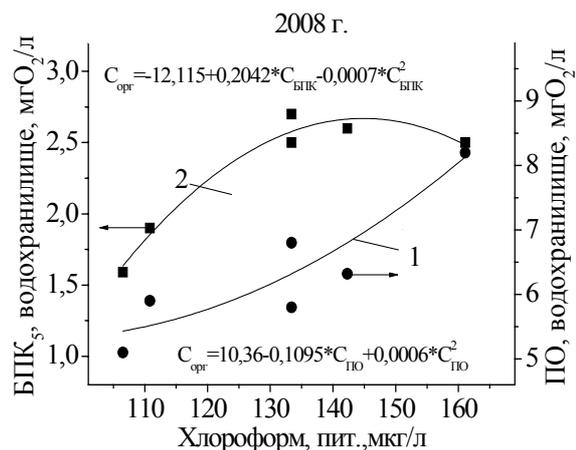


Рис. 11. Взаимосвязь содержания хлороформа в питьевой воде от ПО (1) и БПК₅ (2).

что оба метода являются эффективными для окисления органических соединений, присутствующих в воде.

Таблица 2

Качество воды после альтернативных методов водоподготовки

Показатель качества воды в пробе воды	Значение показателя в пробе				
	Водозабор	Водопровод	Озонирование	ДБР	ПДК _{рх} /ПДК _{пит}
рН	7.8	7.5	8.5	8.4	6-8.5/6-9
ПО, мгО ₂ /л	5.6	4.56	2.32	1.33	15/5
БПК ₅ , мгО ₂ /л	1.2	0.9	1.34	2.2	-
БПК ₅ /ПО	0.2	0.19	0.57	1.6	-
Раствор. кислород мгО ₂ /л	10.9	10.3	12.5	8.58	>6(л.) >4(з.)
Сухой остаток, мг/л, в т.ч.	203	218	229	218	1000
-органические	61	71	30	26	-
-неорганические вещества	142	147	199	192	-
Азот аммонийный, мг/л	0.66	0.57	0.66	3.9	0.5/2
Марганец, мг/л	0.02	0.02	0.011	0.002	0.01/0.1
Цинк, мг/л	0.015	0.5	0.09	0.01	0.01/5
Железо, мг/л	0.15	0.11	0.04	0.004	0.1/0.3
Медь, мг/л	0.001	0.007	0.0025	0.003	0.001/1
Фенол, мкг/л	4.3	<0.5	<0.5	<0.5	1/1
Нефтепродукты, мг/л	0.01	<0.005	<0.005	<0.005	0.05/0.1
Формальдегид, мг/л	0.076	<0.02	0.053	0.292	0.1/0.05
Хлороформ, мкг/л	5.8	145.6	3.1	<0.6	5/200
Четыреххлористый	2.4	2.6	1.3	1.8	отс/6
Трихлорэтилен, мкг/л	0.5	0.7	0.5	<0.1	10/-
Тетрахлорэтилен, мкг/л	0.16	0.17	0.17	<0.1	160/-
2,4-дихлорфенол, мкг/л	0.12	0.22	<0.1	0.11	0.1/2
2,4,6-трихлорфенол, мкг/л	<0.1	0.18	<0.1	0.15	0.1/4

Микробиологические показатели качества воды: В природной воде (водозабор) были обнаружены термотолерантные колиформные бактерии, сульфитредуцирующие клостридии и БГКП (коли-формы). При обработке воды как в ДБР, озонировании, так и после хлорирования (городской водопровод) наблюдается значительное снижение всех исследуемых показателей до требуемых норм.

Оценка токсичности: Методом биотестирования проводилась оценка токсичности воды, взятой из водозабора, из системы водопровода г. Иванова, а также после обработке воды в ДБР и озонировании. Полученные результаты показывали, что после обработки в ДБР токсичность природной воды, оцененная расчетным и экспериментальным (биотестирование) методами снижается в 1.1 и 2 раза соответственно, а после озонирования – в 2.4 и 2 раза.

Также были проведены оценки возможности применения рассмотренных альтернативных методов для подготовки питьевой воды г. Улан-Батор. Данный вопрос является актуальным в связи с тем, что дебит основного источника водоснабжения (артезианская вода) исчерпывается, численность населения увеличивается, поэтому в ближайшей перспективе планируется использовать воду поверхностного источника – р. Тул.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение озонирования и ДБР в качестве одной из стадий водоподготовки оказывается эффективным с точки зрения снижения концентрации в питьевой воде хлорорганических соединений. Однако следует отметить, что применение обоих способов обработки воды имеет и отрицательные стороны. Так при обработке в ДБР происходит увеличение содержания в воде формальдегида и аммонийного азота.

Глава 5. Оценка влияния питьевой воды на здоровье населения. С помощью компьютерной программы «Чистая вода», разработанной научно-производственным объединением «ПОТОК» г. Санкт-Петербург, была выполнена оценка соответствия питьевой воды по контролируемым показателям и произведена оценка риска нарушения функционирования органов и систем человека при употреблении воды, прошедшей водоподготовку.

Результаты расчета показывают значительное уменьшение риска неблагоприятных органолептических эффектов при потреблении питьевой воды, как немедленного действия, так и хронической интоксикации относительно природной воды в районах водозабора. Значимую часть в данную величину вносят такие показатели для водозабора: фенолы, нефтепродукты, железо и марганец; для питьевой воды железо и марганец. С другой стороны после процесса водоподготовки (м. Авдотьино) наблюдается увеличение риска канцерогенных эффектов, основной вклад в который вносят ХОС. Показано, что современное состояние потребляемой населением г. Иванова питьевой воды, приводит к ухудшения его здоровья и как следствие сокращению продолжительности жизни (табл. 3).

Показано, что наибольшее сокращение продолжительности жизни определяется факторами, формирующими канцерогенные эффекты, величина которых определяется содержанием ХОС. Из полученных данных следует, что приоритетными загрязнителями природной воды (Уводьское водохранилище) являются: фенолы, нефтепродукты, железо и марганец, а питьевой воды – ХОС.

Полученные величины рисков попадают в область недопустимого риска ($10^{-2} \dots 10^{-4}$), т.е. необходимо проведение мероприятий, независимо от масштабов финансовых расходов. Так как основной проблемой в системе водоподготовки является образование ХОС при хлорировании воды, а из-за большой протяженности трубопроводов в городе нельзя полностью исключить хлорирование из процесса водоподготовки, то сделать это возможно, заменив хлор на 1-ой ступени хлорирования другим окислителем, в качестве которого предлагается озон, а на 2-ой ступени – хлорирование.

В практике применяется экономическая оценка воздействия окружающей среды на здоровье, которая складывается исходя из стоимости жизни и суммы плат на восстановление здоровья. Поэтому был рассчитан ущерб (У) здоровью населения г. Иваново (406 тыс. чел.) от потребления питьевой воды, прошедшей подготовку, по статистической стоимости жизни (табл. 3) Современное состояние потребляемой населением г. Иванова питьевой воды, приводит к ухудшению его здоровья и, как следствие, сокращению продолжительности жизни (мужчины – 7.7 лет, женщины – 10 лет). Необходимо отметить, что при обработке воды как в ДБР, так и озонированием наблюдается снижение данного показателя.

Таблица 3

Сокращение ожидаемой продолжительности для каждой рассматриваемой группы населения после хлорирования, озонирования и ДБР

№	Наименование риска R, доли отн. ед.	LLE = L × R	
		Мужчины	Женщины
1	Средняя продолжительность жизни,	59.3	72.7
2	Средний возраст населения, год	36.8	43.24
3	Ожидаемый остаток жизни L, год	22.5	29.24
4	Риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (немедленного действия)*	0.001	Показатель, характеризующий возникновение неустойчивых отрицательных реакций организма на потреблённую питьевую воду (тошнота, диарея, аллергические реакции и др.). Органолептические показатели немедленного действия в большинстве случаев не приводят к сокращению продолжительности жизни.
		0.001	
		0.001	
		LLE	
5	Риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (хроническая интоксикация)*	0.005	Показатель, характеризующий возникновение устойчивых отрицательных реакций организма на потреблённую питьевую воду (приобретённая “глобальная” аллергия, болезни органов дыхания, зрения, анемии органов осязания и др.)
		0.003	
		0.002	
		LLE	
6	Риск канцерогенных эффектов*	0.218	Показатель, характеризующий возникновение мутагенных и канцерогенных эффектов в организме человека (раковые опухоли, в т.ч. нарушение воспроизводящей функции организма, изменение ДНК и др.)
		0.015	
		0.016	
		LLE	
7	Риск общетоксический (развития хронической интоксикации)*	0.119	Показатель, характеризующий развитие у человека заболеваний органов дыхания, эндокринной системы, мочеполовых путей и др.
		0.056	
		0.288	
		LLE	
Сокращение ожидаемой продолжительности жизни $\sum LLE$, год		7.7 / 1.7 / 6.9	10 / 2.2 / 8.96
Расчет ущерба здоровью населения по статистической стоимости жизни			
Ущерб от СПЖ выраженный в денежном эквиваленте, €/чел		34 691.5 / 7 659.2 / 31087.3	36 749.6 / 8084.9 / 32927.7
У, млрд. €		9.7 / 2.1 / 8.7	

Примечание: * - первая цифра - хлорирование; вторая - озонирование; третья - ДБР.

Основные результаты и выводы:

1. Показано, что вода в Уводьском водохранилище в течение всего периода наблюдений может быть охарактеризована по величине ИЗВ как грязная и загрязненная. В воде водохранилища в повышенных концентрациях содержатся (цифры - доли ПДК_{рх}) БПК₅ (от 1.6 до 2), нефтепродукты (от 1.2 до 3.4), фенолы (от 5.1 до 10.2), железо (от 2.6 до 8.8), марганец (от 4.5 до 14), медь (от 3 до 8), цинк (от 1 до 4.5).
2. Определены приоритетные поллютанты из числа исследованных в природной воде (фенолы, нефтепродукты, железо и марганец).
3. Показано, что в воде из централизованного водоснабжения в повышенных концентрациях содержатся фенолы, тетрахлорметан, железо и марганец.

4. Установлено, что на образование хлороформа в питьевой воде при хлорировании природной воды оказывает влияние как наличие растворенных так находящихся в составе взвешенного вещества органических соединений.
5. Показано, что после хлорирования содержание хлорорганических соединений в питьевой воде возрастает в 1.2 - 24 раза, а после озонирования и обработки в ДБР природной воды их содержание уменьшается в не менее, чем в 2 раза, но при этом возрастает содержание в воде альдегидов и азота аммонийного. Следовательно, озонирование, как и ДБР можно применять в качестве одной из ступеней в процессах водоподготовки.
6. Результаты оценки токсичности объектов исследования, полученные расчетным и экспериментальным (биотестирование) методами, показали, что после обработки в ДБР токсичность природной воды снижается в 1.1 и 2 раза соответственно, а после озонирования – в 2.4 и 2 раза.
7. Установлено, что величина риска здоровья населения от употребления воды, основной вклад в который вносят ХОС, попадает в область недопустимого риска ($10^{-2} \dots 10^{-4}$).

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах

1. Гриневич, В.И. Очистка природных вод озонированием и в диэлектрическом поверхностно-барьерном разряде / В.И. Гриневич, Т.В. Извекова, Н.А. Пластинина, Х. Шурэнцэцэг. // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2009. – Т.52. – Вып.9. – С. 110-112.

2. Тувшинжаргал, Г. Биологическая модель исследования токсического и мутагенного эффекта загрязнения воды реки Туул / Г. Тувшинжаргал, Х. Шурэнцэцэг, Н. Сайжаа. // Журнал “Медицина”. 2003. – № 1. – С. 17-21.

3. Шурэнцэцэг, Х. Гигиеническая оценка содержания ртути в окружающей среде и здоровье населения / Х. Шурэнцэцэг, Н. Сайжаа, Ж. Купул и др. // Бюллетень Восточно-Сибирского-Научного Центра Сибирского Отделения РАМН. 2005. - № 8. – Вып. 46. – С. 85-86.

4. Купул, Ж. Медико-гигиеническая оценка содержания свинца в окружающей среде / Ж. Купул, Л.Нарантуяа, Ж.Халзанхуу, Х.Шурэнцэцэг и др. // Бюллетень Восточно-Сибирского-Научного Центра Сибирского Отделения РАМН. 2005. - № 8. – Вып. 46. – С. 27-29.

5. Шурэнцэцэг, Х. Оценка качества и безопасности питьевой воды / Х. Шурэнцэцэг, И. Болормаа, Ш. Энхцэцэг. // Сборник докладов научной конференции “Санитарно-гигиеническая служба-70”, Монголия, Улан-Батор, 2004. – С. 50-51.

6. Сайжаа, Н. Химические, физические, биологические факторы риска, влияющие на здоровье населения крупных городов Монголии, их гигиеническая оценка / Н. Сайжаа, Ж. Купул, Л. Нарантуяа, Х. Шурэнцэцэг и др. // Сборник докладов научной конференции “Санитарно-гигиеническая служба-70”, Монголия, Улан-Батор, 2004. – С. 40-42.

7. Shurentsetseg, Kh. Usage and hygienic assessment of chlorine compounds / Kh. Shurentsetseg, J. Kupul. // Scientific conference “Heritage and innovation of medical sciences in Mongolia”, Mongolia, Ulan Bator, 2006. – PP. 38-40.

8. Извекова, Т.В. Эффективность фильтров-водоочистителей накопительного типа для удаления остаточных критериальных загрязнителей питьевой воды в г. Иваново / Т.В. Извекова, В.И. Гриневич, Х. Шурэнцэцэг. // Материалы 8-го Международного конгресса “Вода: экология и технология” ЭК-ВАТЭК-2008 [электронный ресурс], М.: ЗАО “Фирма СИБИКО Интернэшнл”, 2008, “Водоснабжение”.

9. Извекова, Т.В. Удаления загрязнителей питьевой воды в г. Иваново при помощи фильтров накопительного типа / Т.В. Извекова, Ю.В. Фролова, Х. Шурэнцэцэг. // Материалы VII Региональной студенческой научной конференции с международным участием “Фундаментальные науки - специалисту нового века”, Иваново, 2008. – С. 205.

10. Шурэнцэцэг, Х. Плазмохимический способ подготовки воды питьевого качества / Х. Шурэнцэцэг, В.И.Гриневич, А.А. Гуцин, Т.В. Извекова, И.В. Можжухин. // Материалы 89-й ежегодной научно-практической конференции студентов и молодых ученых ИвГМА «Неделя науки-2009», Иваново, 2009. – С. 213.

11. Дробышева, А.С. Исследование токсичности модельных растворов методом биотестирования / А.С. Дробышева, А.А. Потехина, Х. Шурэнцэцэг, В.И. Гриневич, Т.В. Извекова, А.А. Гуцин. // Материалы 89-й ежегодной научно-практической конференции студентов и молодых ученых ИвГМА «Неделя науки-2009», Иваново, 2009. – С. 209.

12. Шурэнцэцэг, Х. Подготовка воды питьевого качества методом озонирования / Х. Шурэнцэцэг, В.И. Гриневич, Т.В. Извекова, А.А. Гуцин, В.А. Калагина. // Материалы 89-й ежегодной научно-практической конференции студентов и молодых ученых ИвГМА «Неделя науки-2009», Иваново, 2009. – С. 216.

13. Шурэнцэцэг, Х. Кинетика очистки воды из водозабора г. Иваново окислительными методами / Х. Шурэнцэцэг, В.И. Гриневич. // Материалы VII Региональной студенческой научной конференции с международным участием “Фундаментальные науки - специалисту нового века”, Иваново, 2009. - Т. 1. – С. 79.

14. Шурэнцэцэг, Х. Озонирование – как метод подготовки воды питьевого качества / Х. Шурэнцэцэг, А.А. Гуцин, Н.А. Кувыкин, В.А. Калагина. // Материалы VII Региональной студенческой научной конференции с международным участием “Фундаментальные науки - специалисту нового века”, Иваново, 2009. - Т. 1. – С. 66.

Автор выражает глубокую признательность всему коллективу кафедры “Промышленная экология” за помощь в обсуждении материалов диссертации.