

9581

КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ
имени АКАДЕМИКА А. А. БОГОМОЛЬЦА

Б

Б. П. СУЧКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ ОЗОНОМ
ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ
ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БРЮШНОГО ТИФА,
БАКТЕРИАЛЬНОЙ ДИЗЕНТЕРИИ,
ПОЛИОМИЕЛИТА И КОКСАКИОЗА

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук



КИЕВ — 1965

КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ
имени АКАДЕМИКА А. А. БОГОМОЛЬЦА

Б. П. СУЧКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ ОЗОНОМ
ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ
ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БРЮШНОГО ТИФА,
БАКТЕРИАЛЬНОЙ ДИЗЕНТЕРИИ,
ПОЛИОМИЕЛИТА И КОКСАКИОЗА

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

КИЕВ — 1965

Работа выполнена на кафедре коммунальной гигиены Киевского ордена Трудового Красного Знамени медицинского института имени академика А. А. Богомольца (ректор института профессор В. Д. БРАТУСЬ, заведующий кафедрой профессор Р. Д. ГАБОВИЧ).

Научное учреждение, давшее отзыв о работе:

Киевский институт усовершенствования врачей.

Научный руководитель доктор медицинских наук, профессор Р. Д. ГАБОВИЧ.

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки УССР, член-корреспондент АМН С.ССР, доктор медицинских наук, профессор Д. Н. КАЛЮЖНЫЙ.

Доктор медицинских наук, профессор П. Н. МОРГУНОВ.

Защита состоится на заседании Ученого Совета Киевского ордена Трудового Красного Знамени медицинского института имени академика А. А. Богомольца.

«... май ... 1965 года.

Автореферат разослан «... 24 ... 1965 г.

.....

Исторические решения XXII съезда КПСС и приня-
тая в 1961 году Программа Коммунистической партии
Советского Союза предусматривают проведение широ-
ких оздоровительных мероприятий, направленных на
сокращение общей заболеваемости и ликвидацию массо-
вых инфекционных заболеваний в стране.

Обеззараживание питьевой воды является одной из
эффективнейших мер профилактики бактериальных
кишечных и энтеровирусных заболеваний. В связи с этим
гигиеническое изучение перспективных методов обезза-
раживания питьевой воды имеет важное научное и
практическое значение. К числу перспективных методов
обеззараживания воды относят озонирование (Хло-
пин Г. В., 1922, Кульский Л. А., 1953, Кожинов В. Ф.,
1962 и др.).

Экспериментальные исследования по озонированию
питьевой воды, содержащей возбудителей брюшного
тифа, проводились Ольмюллером, 1892, Кальметтом,
1899, Ольмюллером и Пралем, 1902—1903, Проскауэром
и Шюдером, 1902—1903, Хлопиным Г. В. и Доброволь-
ским К. Э., 1907. Однако, перечисленные авторы факти-
чески не изучали зависимость эффекта обеззаражива-
ния воды от наиболее важных условий озонирования
(степени начального заражения воды, концентрации O_3
в озоно-воздушной смеси, продолжительности озониро-
вания, истинной обеззараживающей дозы озона, каче-
ства воды и степени её предварительной очистки, кон-
центрации остаточного озона и т. п.), поэтому получен-
ные ими данные свидетельствовали преимущественно
лишь о принципиальной возможности применения озона
в целях обеззараживания воды, содержащей возбу-
дителей брюшного тифа. О бактерицидном действии озона
в отношении возбудителей бактериальной дизентерии
известно еще меньше (Проскауэр и Шюдер, 1903).

В ряде работ, опубликованных за последнее время
(Лейгардо и соавт., 1949, Брингманн, 1954, Ракуши-

Работа выполнена на кафедре коммунальной гигиены Киевского ордена Трудового Красного Знамени медицинского института имени академика А. А. Богомольца (ректор института профессор В. Д. БРАТУСЬ, заведующий кафедрой профессор Р. Д. ГАБОВИЧ).

Научное учреждение, давшее отзыв о работе:

Киевский институт усовершенствования врачей.

Научный руководитель доктор медицинских наук, профессор Р. Д. ГАБОВИЧ.

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки УССР, член-корреспондент АМН СССР, доктор медицинских наук, профессор Д. Н. КАЛЮЖНЫЙ.

Доктор медицинских наук, профессор П. Н. МОРГУНОВ.

Защита состоится на заседании Ученого Совета Киевского ордена Трудового Красного Знамени медицинского института имени академика А. А. Богомольца.

«... май 1965 года.

Автореферат разослан «... 21 1965 г.

.....

Исторические решения XXII съезда КПСС и принятая в 1961 году Программа Коммунистической партии Советского Союза предусматривают проведение широких оздоровительных мероприятий, направленных на сокращение общей заболеваемости и ликвидацию массовых инфекционных заболеваний в стране.

Обеззараживание питьевой воды является одной из эффективнейших мер профилактики бактериальных кишечных и энтеровирусных заболеваний. В связи с этим гигиеническое изучение перспективных методов обеззараживания питьевой воды имеет важное научное и практическое значение. К числу перспективных методов обеззараживания воды относят озонирование (Хлопин Г. В., 1922, Кульский Л. А., 1953, Кожин В. Ф., 1962 и др.).

Экспериментальные исследования по озонированию питьевой воды, содержащей возбудителей брюшного тифа, проводились Ольмюллером, 1892, Кальметтом, 1899, Ольмюллером и Пралем, 1902—1903, Проскауэром и Шюдером, 1902—1903, Хлопиным Г. В. и Добровольским К. Э., 1907. Однако, перечисленные авторы фактически не изучали зависимость эффекта обеззараживания воды от наиболее важных условий озонирования (степени начального заражения воды, концентрации O_3 в озоно-воздушной смеси, продолжительности озонирования, истинной обеззараживающей дозы озона, качества воды и степени её предварительной очистки, концентрации остаточного озона и т. п.), поэтому полученные ими данные свидетельствовали преимущественно лишь о принципиальной возможности применения озона в целях обеззараживания воды, содержащей возбудителей брюшного тифа. О бактерицидном действии озона в отношении возбудителей бактериальной дизентерии известно еще меньше (Проскауэр и Шюдер, 1903).

В ряде работ, опубликованных за последнее время (Лейгардо и соавт., 1949, Брингманн, 1954, Ракуши-

на Е. П., 1957, Бардин Ю. А. и соавт., 1960, Дмитриева Т. А. и соавт., 1960, Вахлер Б. Л., 1961, 1962, 1963 и др.) содержатся данные, характеризующие зависимость обеззараживающего действия озона в питьевой воде, содержащей кишечную палочку, от некоторых условий её озонирования.

Вирулицидные свойства озона при обработке питьевой воды стали изучать сравнительно недавно (Геттхе и соавт., 1953, Ханн, 1956 и др.). При этом изучали лишь инактивацию вирусов полиомиелита, в то время как в патологии человека имеет важное значение и ряд других энтеровирусов, обнаруживаемых в сточных и питьевых водах (Келли, 1955, Мельник, 1956, Василенко С. М., 1957, Кларк и соавт., 1962 и др.).

Большинство перечисленных авторов из-за отсутствия необходимой экспериментальной базы проводили исследования в условиях, как правило, далеких от условий применения озона в современной практике водоснабжения, поэтому опубликованные в литературе данные не могут быть в достаточной мере использованы в интересах практики водоснабжения. Кроме того, эти данные не полны, а порой противоречивы.

Целью наших исследований являлось изучение эффективности обеззараживающего действия озона в питьевой воде, содержащей возбудителей брюшного тифа, бактериальной дизентерии и энтеровирусных инфекций (полиомиелита и коксакиоза) в условиях эксперимента, воспроизводящих широко варьирующие условия применения озона в практике водоснабжения. Для этого были изучены:

1) степень озонустойчивости 58 штаммов брюшнотифозных, дизентерийных бактерий и кишечной палочки и 2 штаммов энтеровирусов (полиомиелита и Коксаки);

2) влияние условий озонирования (степени начального заражения, физико-химических свойств воды, концентрации O_3 в озono-воздушной смеси, продолжительности озонирования, концентрации остаточного озона) на эффект обеззараживания воды от указанных микроорганизмов;

3) санитарно-показательное значение некоторых тестов при оценке надежности обеззараживания питьевой воды озоном (показательное значение кишечной палочки при обеззараживании воды, содержащей патогенные

бактерии кишечной группы; концентрации остаточного озона и др.);

4) возможность реактивации бактерий в озонированной воде.

В процессе выполнения работы всего было исследовано бактериологически около 5000 проб озонированной воды и вирусологически — 140 проб. Все пробы подвергались физико-химическому анализу.

Основные исследования по изучению обеззараживающего действия озона в отношении возбудителей брюшного тифа, бактериальной дизентерии и кишечной палочки выполнены с тремя типами воды: 1) контрольной — дистиллированной с фосфатным буфером (рН 6,8); 2) речной, очищенной до требований ГОСТ 2874-54; 3) речной неочищенной. Отдельные серии исследований проводили с различного рода подземными водами (грунтовой, аллювиальной, артезианскими).

В опытах было использовано 12 штаммов брюшнотифозных, 36 штаммов дизентерийных бактерий видов Флекснера, Зонне, Штуцера, 10 штаммов кишечной палочки, выделенных из различных объектов внешней среды. Для приготовления рабочих взвесей бактерий использовали суточные культуры, выращенные на мясопептонном агаре. Разведение взвесей осуществляли под контролем оптических эталонов ГКИ. За 30 минут до опытов рассчитанное количество бактерий вносили в бутылку с исследуемой водой, воду тщательно перемешивали. Перед началом опытов и в процессе их выполнения определяли концентрацию микроорганизмов в зараженной воде, фильтруя её через мембранные фильтры № 2 и проводя посев последних на агар Эндо.

Исследования выполнены с помощью экспериментальной стационарной озонирующей установки, разработанной на кафедре коммунальной гигиены Киевского медицинского института. Установка состоит из следующих основных технологических узлов: 1) осушителя воздуха; 2) обеспыливающего фильтра; 3) генератора озона (озонатора); 4) поглотителя окислов азота; 5) рабочей системы (стерилизующей колонны, в которой смешение озона-воздуха с водой осуществляется методом барботажа, поглотителя неиспользованного озона, реометра); 6) системы контроля (поглотителя озона, реометра); 7) воздуходувки; 8) высоковольтного транс-

форматора, позволяющего подавать на электроды озонатора ток напряжением от 1 тыс. до 60 тыс. вольт. Кафедральная установка позволяла произвольно менять и поддерживать на постоянном уровне концентрацию O_3 в озono-воздушной смеси в диапазоне от 0,5 до 20,0 мг/л. Большинство исследователей проводили опыты с озono-воздушной смесью, содержащей постоянную концентрацию O_3 . В связи с этим, если требовалось варьировать дозу озона, то это достигалось ими за счет изменения продолжительности озонирования, поэтому и доза озона, поданная на обеззараживание воды, многими экспериментаторами выражалась в продолжительности озонирования. Мы имели возможность варьировать дозу озона как за счет изменения продолжительности озонирования при постоянной концентрации O_3 в озono-воздушной смеси, так и за счет изменения концентрации O_3 в озono-воздушной смеси при постоянной продолжительности озонирования. Именно это обстоятельство позволяло воспроизводить разнообразие условий обеззараживания питьевой воды озонem на водопроводных станциях.

Те немногочисленные исследователи, которые выражали дозу озона не в продолжительности озонирования, а в количестве затраченного озона в мг на л воды, учитывали лишь количество поданного в воду озона, не принимая во внимание коэффициент его использования (процентное отношение количества озона, усвоившегося водой в процессе её озонирования, ко всему количеству поданного озона), то есть, они не определяли истинную обеззараживающую дозу озона. В наших же опытах учитывалось не только количество озона в мг, поданное на обработку 1 л воды (озон-брутто), но и та его часть, которая фактически усваивалась 1 л воды в процессе озонирования (озон-нетто). В связи с этим полученные нами данные могут быть использованы для расчета параметров производственных озонирующих установок, при различных коэффициентах использования озона.

В каждом опыте обеззараживали 500 мл воды. Из них в 100 мл тотчас же после окончания озонирования йодометрически (а в некоторых сериях исследований параллельно и фотометрически) определяли концентрацию остаточного озона. Оставшиеся 400 мл воды исследовали бактериологически: четыре пробы озонированной

воды объемом по 100 мл фильтровали через мембранные фильтры № 2 и последние помещали на поверхность агара Эндо в чашках Петри. Рост колоний учитывали ежедневно в течение 5 суток инкубации чашек Петри с посевами в термостате при температуре 37°C. Наши наблюдения показали, что после указанного срока инкубации новые колонии на поверхности агара Эндо уже не появлялись. Определение органолептических и физико-химических свойств исследуемой воды до и после озонирования осуществляли общепринятыми методами (Драчев С. М. и соавт., 1953).

Каждый опыт в одних и тех же условиях (серия исследований) повторяли 8—10 раз. Результаты бактериологических исследований обрабатывали статистическим методом (Ашмарин И. П., Воробьев А. А., 1962).

Изучение степени озонустойчивости различных штаммов брюшнотифозных и дизентерийных бактерий, а также кишечной палочки проводили в одинаковых условиях. Всего было проведено 58 серий подобного рода исследований. В таблице 1 представлены сводные данные о сравнительной озонустойчивости некоторых видов бактерий кишечной группы.

Таблица 1.

Сравнительная озонустойчивость некоторых видов бактерий кишечной группы.

Вид бактерий	Общее число штаммов	Число штаммов, для которых рассчитанные парации \bar{N} находятся в пределах:							
		0—1	2—3	4—5	6—7	8—9	10—11	12—13	14—15
<i>B. typhi abdominalis</i>	12	0	2	5	0	1	0	1	3
<i>B. dysenteriae</i>	36	0	5	10	11	6	2	1	1
<i>B. coli communis</i>	10	0	0	0	0	6	4	0	0

Таким образом, было установлено, что озонустойчивость изученных штаммов варьирует не только в пределах кишечной группы бактерий, но и в пределах отдельного вида. В целом же отмечается, что озонустойчивость большинства изученных штаммов бактерий кишечной группы приблизительно одинакова или очень близка, но имеются отдельные штаммы патогенных бактерий, озонустойчивость которых несколько выше озонустойчивости изученных штаммов кишечной палочки. К анало-

гичным выводам пришли Бедулевич Т. С., 1953; Пилипенко А. Н., 1956 и другие при изучении хлорустойчивости бактерий кишечной группы. Все дальнейшие исследования проведены с наиболее озонустойчивыми штаммами бактерий.

Влияние степени начального заражения воды на эффект её обеззараживания озоном изучали в 48 сериях исследований. Степень начального заражения воды составляла 1000, 10000, 100000, 1 млн. и 2 млрд. бактерий в 1 л. Бактериологические исследования воды производили после озонирования её в течение 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6 и 7 минут.

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением начального заражения питьевой воды брюшнотифозными, дизентерийными бактериями или кишечной палочкой эффект её обеззараживания заметно снижается лишь после достижения определенной, для данного типа воды, степени начального заражения (100 000 бактерий в 1 л в подземных водах, 10 000 бактерий в 1 л в речной воде, очищенной до требований ГОСТ 2874-54, до 1 000 бактерий в 1 л в речной неочищенной воде). Таким образом, экспериментально установлено, что само по себе увеличение концентрации бактерий оказывает меньшее влияние на исход обеззараживания воды озоном, нежели сочетание указанного фактора с ухудшением качества обеззараживаемой воды (повышением её цветности, окисляемости и т. п.).

Направленность процесса отмирания брюшнотифозных и дизентерийных бактерий в питьевой воде в процессе её озонирования была изучена путем специального анализа полулогарифмических кривых отмирания бактерий, построенных на основании данных собственных исследований. В результате было установлено, что процесс дезинфекции питьевой воды озоном от возбудителей брюшного тифа и бактериальной дизентерии характеризуется рядом особенностей, которые качественно отличают его от обычных мономолекулярных реакций:

1) С увеличением степени начального заражения до определенной для данного типа воды величины обнаруживается латентная фаза действия дезинфектанта; например, если степень начального заражения составляет 100 000 бактерий в 1 л, то при обеззараживании контрольной воды латентная фаза длится менее 30 секунд,

очищенной — около 1 минуты, неочищенной — около 3-х минут. До последнего времени указанная закономерность не была изучена, поэтому в литературе имелись сообщения о том, что озон действует на бактерии якобы по принципу «все или ничего» (Фетнер и Ингольс, 1956 и др.).

2) Среди находящихся в воде бактерий одного и того же вида и штамма имеются микробные клетки, которые обладают индивидуальной резистентностью к действию озона. В связи с этим процесс дезинфекции воды озоном не подчиняется уравнению Чик (1908), а описывается уравнением:

$$N = N_0' \times 10^{-k't} + N_0'' \times 10^{-k''t} + \dots + N_0^n \times 10^{-k^n t},$$

где N_0^n — начальная концентрация n-группы бактерий, константа отмирания которых k^n была постоянной в течение срока t . Однотипное уравнение отражает динамику отмирания бактерий в воде открытых водоемов под действием комплекса неблагоприятных факторов внешней среды (Фелпс, 1944). Биологическая общность указанных процессов подчеркивается рядом авторов (Вашков В. И., 1952; Черкинский С. Н., Трахтман Н. Н., 1962 и др.).

При изучении зависимости обеззараживающего действия озона от физико-химических свойств испытанных нами типов воды, было установлено, что для получения одного и того же эффекта на обработку неочищенной речной воды необходимо затрачивать примерно в 3 раза больше озона, чем на обработку этой же воды после её очистки до требований ГОСТ 2874-54 и примерно в 10 раз больше озона, чем на обработку контрольной или подземных вод. Следует отметить, что перед полным обеззараживанием воды её окисляемость снижается до определенного (для данного типа воды и при данной интенсивности озонирования) относительно стабильного уровня, то есть, основная масса окисляемых веществ разрушается раньше, чем наступает момент полного обеззараживания воды.

Было отмечено, что с увеличением загрязненности воды естественными примесями возникает необходимость соответственно увеличивать обеззараживающую дозу озона-нетто (так, например, на обеззараживание артезианской воды, содержащей до 100 000 патогенных

бактерий кишечной группы в 1 л, требуется около 2,0 мг/л озона-нетто, грунтовой — около 2,5 мг/л, речной, очищенной до требований ГОСТ 2874-54, — около 6—7 мг/л, речной неочищенной — до 22,0 мг/л; на обеззараживание речной воды, очищенной до требований ГОСТ 2874-54 и содержащей до 10 000 патогенных бактерий кишечной группы в 1 л, требуется около 4—5 мг/л озона-нетто). Это лишний раз свидетельствует в пользу того, что перед озонированием воду целесообразно очищать от посторонних примесей.

В наших исследованиях колебания температуры обрабатываемой воды от 0° до 18°С или активной реакции в пределах рН 5,8—8,5 не оказывали существенного влияния на исход её обеззараживания озоном (при одинаковых затратах озона-брутто), если степень начального заражения не превышала 10 000 патогенных бактерий кишечной группы в 1 л. С увеличением степени заражения повышение температуры как и повышение рН отрицательно сказывается на обеззараживании воды (для полного обеззараживания приходится увеличивать дозу озона-брутто).

Озонирующие установки, изготавливаемые в настоящее время промышленностью, могут подавать озono-воздушную смесь с концентрацией O_3 в ней от 1 до 12 мг/л, в среднем 7—10 мг/л. Продолжительность озонирования на водопроводных станциях обычно составляет 5—10 минут. Однако гигиенически обоснованные рекомендации к величине концентрации O_3 в озono-воздушной смеси и продолжительности озонирования до сих пор не были выработаны. В связи с этим нами сравнивался эффект обеззараживания воды при одинаковых затратах озона-брутто, но при различных концентрациях O_3 в озono-воздушной смеси и различной продолжительности озонирования. Так, например, речную воду, очищенную до требований ГОСТ 2874-54 и содержащую 2 млрд. патогенных бактерий кишечной группы в 1 л, обеззараживали одной и той же дозой озона-брутто порядка 30 мг/л. При этом в одной серии опытов указанную дозу озона-брутто подавали на обеззараживание воды в течение 15 минут (концентрация O_3 в озono-воздушной смеси достигала 1 мг/л), во второй — в течение 1,5 минут (концентрация O_3 в озono-воздушной смеси достигала 10 мг/л). В результате в первой серии опытов было за-

трачено 17,28 мг/л озона-нетто и в воде после её озонирования оставалось около 0,64% первоначального количества жизнеспособных бактерий, а во второй серии опытов, хотя было затрачено всего 15 мг/л озона-нетто, после озонирования в воде оставалось лишь 0,13% первоначального количества жизнеспособных бактерий. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что эффект обеззараживания питьевой воды озоном более выражен в том случае, если концентрация O_3 в озоно-воздушной смеси увеличивается. С увеличением концентрации O_3 в озоно-воздушной смеси и одновременным снижением продолжительности озонирования обеззараживающая доза озона-нетто снижается.

Установлено, что для каждого типа воды специфичны кривые нарастания концентрации остаточного озона и его распада. Это связано с тем, что часть поданного в воду озона-нетто расходуется на окисление примесей, в том числе микробных, другая часть разлагается с образованием обычного кислорода и некоторая часть может определяться в воде непосредственно вслед за озонированием в виде так называемого «остаточного озона». Природа последнего мало изучена. Наши исследования говорят о том, что, по-видимому, он представляет собой быстро распадающийся растворенный озон, определяемый фотометрически и йодометрически, и более стабильные перекисные соединения, определяемые только йодометрически. Скорость распада озона в воде зависит от ряда факторов, в том числе от содержания посторонних примесей, которые уже в следовых концентрациях катализируют реакции распада озона (Аллен, 1963).

Нами изучалась возможность определения обеззараживающей дозы озона-нетто по озон-потребности. Контрольную, очищенную и неочищенную воду обеззараживали дозами озона от 0,3 до 1,8 мг/л; от 2,0 до 13,0 мг/л; от 2,0 до 36,0 мг/л, соответственно. Озон-потребность измеряли минимальной дозой озона-нетто, после затраты которой вода была полностью обеззараженной, то есть, в воде оставалась показательная концентрация остаточного озона. Полученные данные позволяют констатировать, что контрольную воду, содержащую от 1 000 до 100 000 брюшнотифозных или дизентерийных бактерий в 1 л, обеззараживали дозой озона-нетто порядка

0,9 мг/л. При этом показательная концентрация остаточного озона составляла от 0,16 до 0,2 мг/л. С увеличением степени начального заражения до 1 млн. бактерий в 1 л при обеззараживании указанной воды оказалась эффективной доза озона-нетто 1,8 мг/л, а показательная концентрация остаточного озона увеличилась в 2 раза. При обеззараживании речной очищенной воды, содержащей от 1 000 до 10 000 брюшнотифозных или дизентерийных бактерий в 1 л, эффективной оказалась доза озона-нетто 4—5 мг/л, а концентрация остаточного озона 0,16 мг/л — показательной. С увеличением степени начального заражения очищенной воды до 100 000 бактерий в 1 л её обеззараживали дозой озона-нетто 6,5 мг/л, при этом показательная концентрация остаточного озона увеличивалась до 0,2 мг/л. С увеличением степени начального заражения указанного типа воды до 1 млн. бактерий в 1 л обеззараживающая доза озона и показательная концентрация его в воде возросли примерно в 2 раза. Для обеззараживания неочищенной речной воды, содержащей точно такое же количество бактерий, как очищенная, требовались примерно в 3 раза большие дозы озона-нетто, а о полном обеззараживании свидетельствовали примерно одинаковые концентрации остаточного озона, что и при обеззараживании контрольной и очищенной воды.

Ряд авторов (Ракушина Е. П., 1957; Вахлер Б. Л., 1963 и др.) указывают на возможность реактивации кишечной палочки в обеззараженной озоном воде. Мы продолжили изучение упомянутого явления. С этой целью в ряде опытов посев обеззараженной воды осуществляли не только сразу после окончания озонирования, но и через каждые 30 минут в течение 6 часов, а затем через 24 и 48 часов. В результате было установлено, что когда степень обеззараживания достигает даже высоких цифр (99,95%), но все же не является полной, из такой воды через несколько часов высевается значительно больше микроорганизмов, чем непосредственно после озонирования. В подобных случаях отмечается некоторое повышение концентрации бактерий в проозонированной воде в течение первых двух часов с момента окончания озонирования. В последующие четыре часа хранения воды концентрация жизнеспособных бактерий в ней изменяется волнообразно. Через шесть

часов в сохраняемой в стерильных условиях воде концентрация жизнеспособных бактерий резко возрастает и продолжает стремительно увеличиваться в течение первых и значительно меньше — вторых суток.

Если же при посеве 400 мл воды, отобранной сразу после окончания озонирования, не обнаруживается рост брюшнотифозных или дизентерийных бактерий, то и другие пробы той же воды, отобранные через несколько часов или суток, также не дают роста. Это наблюдается в тех случаях, когда к моменту окончания озонирования концентрация остаточного озона достигала показательных величин. Таким образом, в полностью обеззараженной озоном воде реактивация патогенных бактерий не отмечается.

В ряде исследований мы изучали в сравнительном плане обеззараживающее действие озона и активного хлора. Хлорирование воды проводили по методике, использованной в аналогичных исследованиях Бедулевиц Т. С., 1953 и Ласкиной В. П., 1956. Исследуемую воду заражали брюшнотифозными или дизентерийными бактериями из расчета 100 000 микробных тел в 1 л. Затем её обеззараживали одинаковыми дозами озона и активного хлора. Если продолжительность озонирования не превышала 3 минут, а продолжительность хлорирования — 30 минут, то полное обеззараживание артезианской воды обеспечивали одинаковые дозы озона или активного хлора (порядка от 1,0 до 2,0 мг/л); аллювиальной и грунтовой — 2,5 мг/л озона или 1,5 мг/л активного хлора; речной очищенной — 6—7 мг/л озона или 3,5 мг/л активного хлора; речной неочищенной — 22,0 мг/л озона или 4,0—6,0 мг/л активного хлора. Таким образом, на обеззараживание природных вод, содержащих значительное количество органических примесей и одинаковую концентрацию патогенных бактерий, озона затрачивается больше, нежели активного хлора. Это связано с тем, что озон обладает большим окислительным потенциалом, нежели активный хлор и поэтому в большей мере расходуется на окисление органических примесей.

Изучая по Тунбергу дегидразную активность патогенных бактерий кишечной группы под воздействием биологически эквивалентных подпороговых концентраций озона и активного хлора, мы установили, что ука-

занные дезинфектанты стимулируют ферментацию аминокислот (глутаминовой и гликоколовой). Подобные же данные были получены Трахтман Н. Н. и Липинской Р., 1960, изучавшими механизм действия хлора. Таким образом, механизм действия озона и активного хлора имеет некоторые общие черты, хотя между ними существуют и различия. Например, в наших экспериментах озон в подпороговых концентрациях стимулировал ферментацию многоатомного спирта-маннита, хлор же не изменял или угнетал его ферментацию.

Нами отмечено, что бактерии, высеваемые из проозонированной воды, лучше растут на тех питательных средах, в состав которых входят содержащие серу неорганические вещества. Было также установлено, что подвергшиеся действию озона бактерии кишечной группы испытывают повышенную потребность в аминокислотах, многоатомном спирте и источнике легкоусвояемой серы. Согласно данным Холлендера и соавт., 1951 и других авторов под воздействием свободных радикалов, образующихся в процессе радиоактивного облучения, бактериальные клетки также испытывают возрастающую потребность в аминокислотах, спиртах и источнике легкоусвояемой серы. Это позволяет предположить, что механизм обеззараживающего действия озона обусловлен образованием в воде свободных радикалов.

Наши исследования также показали, что брюшнотифозные, дизентерийные бактерии и кишечная палочка, высеваемые из проозонированной воды, имеют измененные морфологические, культуральные, тинкториальные, биохимические, антигенные и вирулентные (последние изучали лишь у брюшнотифозных бактерий) свойства. Измененные свойства сохраняются в течение длительного срока (срок наблюдений 2 месяца). В связи с этим выделение и идентификация бактерий кишечной группы из проозонированной воды затрудняются.

По требованию советского законодательства колииндекс обеззараженной питьевой воды не должен превышать 3. Это требование основано на результатах исследований, в которых изучалось обеззараживающее действие хлора (Бедулевич Т. С., 1953; Сегельман А. Л., 1954; Ласкина В. П., 1956; Черкинский С. Н., Трахтман Н. Н., 1962 и др.). Подобного рода исследований при озонировании воды еще не проводили. В связи с

этим нами сравнивалась динамика выживаемости озон-устойчивых штаммов брюшнотифозных и дизентерийных бактерий, а также кишечной палочки (средней озон-устойчивости), находившихся в воде в соотношениях 1:1 и 1:10. Выполнена 41 серия исследований. Установлено, что при озонировании питьевой воды, содержащей равные концентрации патогенных бактерий кишечной группы и кишечной палочки, коли-индекс 3 не свидетельствует о надежности её обеззараживания. Однако при озонировании воды, содержащей по крайней мере в 10 раз меньше возбудителей брюшного тифа или бактериальной дизентерии, чем кишечной палочки, коли-индекс 3 может служить показателем надежности обеззараживания. В естественных условиях концентрация патогенных бактерий кишечной группы в сотни и тысячи раз меньше, чем концентрация кишечной палочки, поэтому коли-индекс 3 в условиях практики водоснабжения еще с большей вероятностью (чем в условиях наших опытов) свидетельствует о полном обеззараживании озонированной воды.

Таким образом, требование ГОСТ 2874-54 относительно содержания кишечной палочки в питьевой воде гарантирует надежность её обеззараживания не только при хлорировании, но и при озонировании.

При изучении вирулицидных свойств озона в эксперименте были использованы штаммы Коксаки В типа 3 и полномнелита серотипа 3. Указанные вирусы были адаптированы к росту и культивировались на клетках амниотической оболочки плаценты (тканевой культуре «АМК»). Вирусологические исследования выполнены в лаборатории полномнелита Киевского института инфекционных болезней МЗ УССР с помощью экспериментальной портативной озонирующей установки (принцип её устройства не отличается от описанного выше, однако в портативной установке громоздкие детали электрооборудования заменены полупроводниковыми).

В эксперименте использована очищенная до требований ГОСТ 2874-54 и предварительно стерилизованная речная вода. В воду вносили центрифугированную вирусосодержащую жидкость. Концентрация активных вирусов в смеси достигала $5 \times 10^{3.5}$ ТЦД₅₀/мл, что во много раз превышает возможное заражение воды в естественных условиях. Вместе с содержащей вирусы жидкостью

в воду неизбежно вносились балластные органические вещества, которые во много раз повышали естественную окисляемость воды. В связи с этим следует учитывать, что в экспериментальных условиях озон расходовался не только на инактивацию вирусов, но и на окисление большого количества сопутствующих веществ. Поэтому затраты озона в эксперименте значительно больше, чем в условиях практики водоснабжения. В каждом опыте обеззараживали 3 пробы вирусосодержащей жидкости — каждую объемом по 50 мл. При этом в 1-й пробе определяли концентрацию вирусов до и после озонирования (в объеме 0,2 мл), во 2-й — концентрацию остаточного озона, в 3-й — перманганатную окисляемость (с нагреванием и без нагревания — так называемые «легкоокисляемые вещества»). Цитопатическое действие вирусов учитывали ежедневно на протяжении 7 суток. Количество доз ТЦД₅₀/мл подсчитывали по способу Рида и Менча. Полученные данные представлены в сводной таблице 2.

Таблица 2

Обеззараживание питьевой воды, содержащей возбудителей энтеровирусных заболеваний, методом озонирования

продолжительность озонирования (мин)	0	1/2	2/3	1	3	5	7	10	15
доза озона-нетто мг/л	0	1,4	1,8	3,1	5,6	7,1	8,9	12,0	22,0
концентрация остаточного озона мг/л	не определяется			следы			0,1	0,2	
% инактивации вирусов:									
полиомелита типа 3	0	0	0	0	0	0	90	97	99,7
Коксаки В типа 3	0	0	0	0	0	0	97	99,7	99,9
% снижения:									
а) перманганатной окисляемости при нагревании	—	—	—	—	2	3	10	20	30
б) перманганатной окисляемости на холоду	0	25	50	100	—	—	—	—	—

Как видно из таблицы 2, в течение первых 5-ти минут озонирования озон расходовался, главным образом, на окисление мертвых органических веществ. При этом в течение 1-й минуты озонирования так называемые «легкоокисляемые вещества» были полностью окислены.

Инактивация основной массы энтеровирусов произошла на 6—7 минуте озонирования — в момент появления следов остаточного озона в воде. Через 15 минут озонирования в воде оставалось около 0,3% первоначального количества вирусов полиомиелита и около 0,1% — вирусов Коксаки, концентрация остаточного озона составляла 0,2 мг/л. Фактически процесс инактивации энтеровирусов приблизился к полному завершению.

Динамика инактивации энтеровирусов, наблюдавшаяся нами в опытах, указывает на то, что вирусы Коксаки В типа 3 несколько менее устойчивы к действию озона, чем вирусы полиомиелита серотипа 3.

Определенная в условиях эксперимента величина обеззараживающей дозы озона-нетто не является истинной для условий обеззараживания воды от энтеровирусов на водопроводных станциях. Истинная обеззараживающая доза озона-нетто может быть определена другим путем — по затратам озона-нетто, обеспечивающим поддержание показательной концентрации остаточного озона в воде. В наших опытах процесс полной инактивации энтеровирусов приблизился к завершению после появления в воде 0,2 мг/л остаточного озона. Для её поддержания необходимо затратить 0,9 мг/л озона-нетто при обеззараживании контрольной воды, 6—7 мг/л — речной очищенной и до 22,0 мг/л — речной неочищенной. Таким образом, в условиях практики озонирования одни и те же дозы озона-нетто обеспечат полное обеззараживание воды не только от возбудителей брюшного тифа, бактериальной дизентерии, но и от возбудителей энтеровирусных инфекций.

ВЫВОДЫ:

1. Проведенные экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что озонирование является эффективным методом обеззараживания питьевой воды, содержащей возбудителей брюшного тифа, бактериальной дизентерии и энтеровирусы (полномиелита и Коксаки).

2. Сравнительное изучение озонустойчивости 58 штаммов брюшнотифозных, дизентерийных бактерий и кишечной палочки показало, что стойкость изученных видов бактерий и кишечной палочки к действию озона в условиях обеззараживания питьевой воды не обнаруживает существенных отличий, хотя встречаются штаммы патогенных бактерий, обнаруживающие несколько большую озонустойчивость, чем штаммы кишечной палочки средней озонустойчивости.

3. В условиях эксперимента, близких к условиям обеззараживания питьевой воды озоном на водопроводных станциях, установлено, что с увеличением начального заражения воды брюшнотифозными, дизентерийными бактериями или кишечной палочкой эффективность её обеззараживания заметно снижается лишь после достижения определенной, для данного типа воды, степени начального заражения (100 000 бактерий в 1 л в подземных водах, 10 000 бактерий в 1 л в речной воде, очищенной до требований ГОСТ 2874-54, до 1 000 бактерий в 1 л в речной неочищенной воде).

4. С увеличением степени загрязнения воды естественными примесями возникает необходимость соответственно увеличивать обеззараживающую дозу озонанетто (так, например, на обеззараживание артезианской воды, содержащей до 100 000 патогенных бактерий кишечной группы в 1 л, требуется около 2,0 мг/л озонанетто, грунтовой — около 2,5 мг/л, речной, очищенной до требований ГОСТ 2874-54, — около 6—7 мг/л, речной неочищенной — до 22,0 мг/л; на обеззараживание речной воды, очищенной до требований ГОСТ 2874-54 и содержащей до 10 000 патогенных бактерий кишечной группы

в 1 л, требуется около 4—5 мг/л озона-нетто). Полученные экспериментальные данные о расходе озона для обеззараживания воды могут быть использованы при проектировании озонирующих станций для расчета мощности генераторов озона.

5. Если в воде, отобранной после озонирования, патогенные бактерии кишечной группы не обнаруживаются (коли-титр больше 300 мл), то при её хранении реактивация микроорганизмов не наблюдается.

6. О надежном обеззараживании питьевой воды можно судить по концентрации остаточного озона и определению кишечной палочки:

а) концентрация остаточного озона порядка 0,15—0,2 мг/л свидетельствует об эффективности обеззараживания артезианской, грунтовой, речной, очищенной до требований ГОСТ 2874-54, и речной неочищенной воды, содержащей до 100 000 брюшнотифозных или дизентерийных бактерий в 1 л; с увеличением степени начального заражения воды показательная концентрация остаточного озона повышается;

б) сравнительное изучение динамики отмирания патогенных бактерий кишечной группы и кишечной палочки при озонировании питьевой воды показало, что коли-индекс 3 гарантирует надежность её обеззараживания от возбудителей брюшного тифа и бактериальной дизентерии.

7. В условиях проведенного лабораторного эксперимента (при котором интенсивность заражения испытуемой воды вирусами полиомелита и Коксаки и загрязнения её балластными органическими веществами во много раз выше, чем в естественных условиях) концентрация остаточного озона в воде порядка 0,2 мг/л свидетельствует о высокой степени инактивации энтеровирусов (99,7—99,9%). Установлено, что вирусы Коксаки В типа 3 менее стойки к действию озона, чем вирусы полиомелита серотипа 3.

8. С увеличением концентрации O_3 в озono-воздушной смеси и одновременным уменьшением продолжительности озонирования обеззараживающая доза озона-нетто снижается. Таким образом, повышение концентрации озона в озono-воздушной смеси позволяет уменьшить расход озона и объем сооружений, в которых происходит смешение озono-воздуха с водой.

**Список опубликованных работ, отражающих содержание
диссертации:**

1. Озонирование питьевой воды, содержащей возбудителей брюшного тифа (укр. яз.), Тезисы XX итоговой научной конференции аспирантов и клинических ординаторов Киевского медицинского института, К., 1963, 83—84.
2. Гигиенические вопросы озонирования воды, Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции по вопросам гигиены воды и санитарной охраны водоемов, М., 1963, 43—45 (в соавторстве с профессором Р. Д. Габовичем и аспирантом К. К. Врочинским).
3. Озонирование воды, зараженной возбудителями брюшного тифа, Врачебное дело, 1964, 5, 110—115.
4. Исследования по озонированию питьевой воды, содержащей патогенные бактерии и вирусы, Гигиена и санитария, 1964, 6, 22—29.
5. Озонирование питьевой воды, зараженной брюшнотифозными бактериями, вирусами полиомелита и Коксаки, Сб. «Гигиена» (Материалы к VII съезду гигиенистов УССР, К., 1964, 378—383).
6. Обеззараживание питьевой воды, содержащей возбудителей кишечных инфекций и энтеровирусы, методом озонирования, Сб. Вопросы гигиены населенных мест, К., 1964, т. 5.

Сдано в набор 19.I 1965 г. Подписано к печати 26.I 1965 г.
Бумага 84×108¹/₃₂. Физ. печ. лист. 0,625, условных 1,025.
БД 00014. Тираж 200. Бесплатно.

Заказ № 675. Областная типография Управления по печати
исполкома Черновицкого областного Совета депутатов трудящихся,
г. Черновцы, ул. Щорса, 23.

