

А.А. Курьекій

СЕРЕБРЯНАЯ
ВОДА

ИЗДАНИЕ ДЕВЯТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И
ДОПОЛНЕННОЕ

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 1987

Книга знакомит читателя с физико-химическими свойствами и физиологическим действием серебряной воды и ее концентратов, получаемых путем растворения серебряного анода под действием электрического тока. Показано особенно эффективное действие электролитического серебра при обеззараживании питьевой и минеральной воды, пищевых продуктов и в лечебно-профилактической практике.

Даются способы интенсификации этого процесса путем одновременного применения ряда окислителей, а также воздействия ультразвука, ультрафиолетовых лучей или наложения электрического поля. Описаны установки и приборы для получения серебряной воды в цехах промышленных предприятий, в лечебных учреждениях, в санаториях, на морских и речных судах, в плавательных бассейнах, в быту.

Рассчитана на широкий круг читателей. Будет полезна специалистам, работающим в области коммунального хозяйства, медицины, в пищевой промышленности.

Ответственный редактор доктор биологических наук

М. Н. Ротмистров

Рецензенты доктор химических наук *В. Д.*

Гребенюк доктор медицинских наук *Н. И.*

Омельянец

Редакция научно-популярной литературы

Заведующий редакцией *А. М. Азаров*

К $\frac{1806000000-171}{M221(04)-87}$ 549-87

© Издательство «Наукова думка», 1982

© Издательство «Наукова думка», 1987

Издание девятое, переработанное и
дополненное

ПРЕДИСЛОВИЕ К ДЕВЯТОМУ ИЗДАНИЮ

В книге рассказывается о серебре — микроэлементе, необходимом для нормального функционирования ряда органов живого существа, а также о растворах серебра, так называемой «серебряной воде», обладающей высокими бактерицидными свойствами.

Последнее делает ее перспективным реагентом не только для обеззараживания и консервирования питьевых и минеральных вод, жидких пищевых продуктов, как дезинфектанта воды в плавательных бассейнах, но и для использования в лечебно-профилактических целях.

Интерес к этому препарату не ослабевает, положительные свойства серебряной воды все чаще подтверждаются новыми работами.

Заводское производство бытовых приборов и стационарных установок расширило границы использования серебряной воды.

В девятом издании книги рассматривается современное состояние вопросов применения серебряной воды и теоретическое обоснование этого процесса.

Описаны усовершенствованные установки и конструкции нонато-ров-приборов для ее получения в санаториях, на морских и речных судах, на космических кораблях, в быту и т. д.

В девятом издании учтены вопросы читателей, возникшие после выхода предыдущих книг.

Автор считает своим неременным долгом особо отметить добрые советы и поддержку при выпуске первых изданий академиков АН УССР А. В. Палладина, Н. Д. Стражеско, Р. Е. Кавецкого, академиков АМН СССР А. Н. Марзеева, А. Н. Сысина, заслуженного врача УССР М. А. Ромоданова и доцента А. А. Вокара.

Автор выражает благодарность доктору медицинских наук А. В. Павлову, доктору биологических наук М. А. Ротмистрову, доктору химических наук В. Д. Гребенюку и научным сотрудникам Института коллоидной химии и химии воды им. А. В. Думанского АН УССР О. С. Савлук, Н. Г. Потапченко и Е. Ю. Дейнеге за редактирование и помощь в подготовке рукописи к изданию.

Академик АН УССР заслуженный деятель науки и техники
УССР профессор *Л. А. Кульский*

ПРЕДИСЛОВИЕ К СЕДЬМОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящая книга написана видным советским ученым академиком АН УССР Л. А. Кульским, известным специалистом в области очистки и обеззараживания природных и сточных вод.

Являясь одним из создателей нового направления химической технологии — химии и технологии очистки воды, Л. А. Кульский своими

трудами заложил теоретическую основу для разработки важных проблем химической очистки природных и промышленных сточных вод. Наряду с развитием теоретических вопросов этой важной отрасли науки, Л. А. Кульский внес огромный вклад в инженерное решение многих задач водоснабжения населенных мест и охраны водоемов. Еще в 1930 г. им был сконструирован первый отечественный хлоратор напорного типа для обеззараживания хлором питьевой воды, получивший широкое распространение и признание в нашей стране. Под руководством и при непосредственном участии Л. А. Кульского в годы Великой Отечественной войны были разработаны конструкции электролитических установок для получения гипохлорита и хлора из растворов поваренной соли, создан полевой напорный хлоратор для Советской Армии, сконструирован ряд других аппаратов для очистки и обеззараживания воды.

В послевоенные годы на основе исследований Л. А. Кульского, его учеников и сотрудников был разработан метод интенсификации процессов водоочистки с помощью неорганического флуоралюгата — активной кремниевой кислоты — и сконструирована соответствующая высокоэффективная и надежная аппаратура для его практического применения в водоснабжении.

Работы, проведенные Л. А. Кульским и под его руководством, дали также возможность теоретически обосновать условия использования адсорбционных и ионообменных процессов для глубокой очистки промышленных стоков и позволили создать ряд типовых технологических схем очистки стоков и извлечения из них ценных компонентов.

Исследованиями возможности применения серебра для обработки воды Л. А. Кульский начал заниматься еще в 30-х годах. Тогда им был разработан метод получения растворов серебра с помощью анодного растворения металла и сконструирована соответствующая отечественная аппаратура — ионаторы.

На протяжении многих лет Л. А. Кульский и его ученики продолжают изучать свойства растворов серебра, возможности их использования для консервирования питьевой воды и других целей, совершенствуют конструкции ионаторов.

Л. А. Кульский в книге «Серебряная вода», выходящей уже седьмым изданием, с большим увлечением и научным энтузиазмом рассказывает о достоинствах и многих преимуществах этого метода обработки воды. И хотя в данном вопросе еще не сказано последнее слово, а раздел о применении растворов серебра для лечебных целей остается спорным, в определенных случаях электролитические растворы серебра имеют явное преимущество перед другими способами и могут получить большое распространение.

Все это делает книгу Л. А. Кульского, несомненно, полезной и нужной. Ее с интересом прочтут не только специалисты, но и все те, кто интересуется проблемами охраны здоровья народа.

Доктор медицинских наук А. В. Палладин

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

В 1930 г. академик АН УССР Л. А. Кульский впервые разработал электрохимический метод обеззараживания питьевой воды серебром. Двумя годами позже сходная методика была опубликована в Германии, а еще позднее — в Англии. Сейчас этот метод применяется и в ряде других стран. Хотя о многих целебных качествах воды, обработанной серебром, знали еще в глубокой древности, начало систематической разработки метода применения серебра для обеззараживания и консервирования воды было положено лишь Л. А. Кульским.

На протяжении многих лет Л. А. Кульский с увлечением и настойчивостью изучает свойства серебряной воды, ее применение для обеззараживания и консервирования питьевой воды и пищевых продуктов. В 1946 г. вышло первое издание книги «Серебряная вода»: пятое издание ее было опубликовано в 1968 г., и теперь уже появилась необходимость в шестом издании, что свидетельствует о широком признании работ Л. А. Кульского и интересе к его книге.

Автор этой книги не только изучил свойства серебряной воды и ее концентратов, но и разработал ряд вариантов ионаторов — приборов для получения электролитических растворов серебра, в том числе упрощенные варианты ионатора ЛК-27, дающие возможность широко применять серебряную воду в быту.

В последние годы интерес к серебряной воде сильно возрос. Серебро оказалось не только прекрасным консервантом питьевой воды и продуктов питания, но и хорошим лечебным средством.

В этой книге, дополненной и переработанной для 6-го издания, Д. А. Кульский подробно и ярко, в общедоступной форме знакомит читателя со свойствами серебряной воды и ее концентратов, ее физиологическим действием, способами получения и перспективами применения в быту, в медицине и в пищевой промышленности.

Можно пожелать этой интересной и полезной книге большого распространения, равно как дальнейшего еще более широкого использования электролитических растворов серебра на практике, а автору академику АН УССР Л. А. Кульскому — продолжать со свойственным ему увлечением и настойчивостью приносящую уже столько пользы работу по изучению и внедрению в практику серебряной воды.

Герой Социалистического Труда
академик *А. В. Палладин*

ВВЕДЕНИЕ

Технике очистки питьевой воды от вредных веществ, и особенно от болезнетворных организмов, во всех странах в последние годы уделяется все большее внимание. Уже сейчас широко используются такие обеззараживающие средства, как хлор, озон, ультрафиолетовые лучи; нашли применение в практике водоподготовки новые коагулянты и флокулянты, начинают применяться вещества, обладающие адсорбционными, адгезионными и другими свойствами. И все-таки как ни велики успехи по обеспечению населения доброкачественной водой, по-прежнему причиной распространения ряда заболеваний является вода, содержащая патогенные бактерии и вредные вещества. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения, от инфекций, передающихся через воду, ежегодно на нашей планете заболевает до 500 млн. человек и свыше 5 млн. детей погибает. Эти данные показывают всю важность и остроту постановки вопроса о расширении исследований в области очистки воды.

В нашей стране исключительное значение придается мероприятиям по охране здоровья населения и мерам санитарной профилактики.

Еще на заре Советской власти под непосредственным руководством В. И. Ленина в государственных масштабах осуществлялись эффективные мероприятия по охране здоровья трудящихся. Достаточно сказать, что уже в первую пятилетку на водоснабжение было затрачено 129,9 млн. руб. и построены водоводы протяженностью 528 км. Благодаря проведенному комплексу мероприятий по оздоровлению внешней среды намного по сравнению с 1917 г. снизилась; заболеваемость полиомиелитом и дизентерией, а с 1960 г. такие инфекционные заболевания, как сыпной тиф, столбняк, бешенство, туляремия, встречаются лишь спорадически.

Однако, несмотря на достигнутые успехи в оздоровлении внешней среды, разработка надежных методов профилактики инфекционных заболеваний, и в первую очередь обеззараживания питьевой воды, остается актуальной.

В постановлениях партии и правительства последних лет подчеркивается важность широкой борьбы с наиболее опасными инфекционными заболеваниями.

В настоящее время в практике водоподготовки все шире применяется серебро и его соли.

Получивший всеобщее признание метод обеззараживания воды электролитическим серебром (растворением в воде металла с помощью электрического тока) впервые был разработан автором этой книги еще в 1930 г. Спустя два года аналогичная методика была опубликована в Германии, а примерно через двенадцать лет — в Англии. Сейчас этот метод применяют в США, Франции, ЧССР, ФРГ и ряде других стран.

Работами отечественных и зарубежных исследователей, а также нашими работами был установлен высокий антимикробный эффект серебра уже в концентрации 0,05 мг/л. Было показано, что серебро обладает широким спектром антимикробного действия, подавляя как грамотрицательные, так и грамположительные микроорганизмы и вирусы.

Особенно важно, что серебро является высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении таких патогенных микроорганизмов, которые вызывают острые кишечные инфекции (дизентерию, брюшной тиф, холеру и др.). Гибель возбудителей дизентерии, сальмонеллезов и энтеропатогенной кишечной палочки под действием серебра наступала в основном через 40—50 мин при концентрации его 0,1—0,2 мг/л.

Установлено также, что серебро обладает ценным свойством консервировать воду на длительное время. Вода, обработанная серебром в концентрации 0,1 мг/л, сохраняет высокие санитарно-гигиенические показатели в течение года и более, тогда как в контроле обнаруживалось значительное количество микроорганизмов, в том числе и кишечной палочки.

Однако, несмотря на довольно полную изученность антимикробных свойств серебра, широкое применение его в практике водоснабжения сдерживалось недостаточными сведениями о его токсичности. Ведь вещества, вводимые в питьевую воду, не должны оказывать какого-либо вредного действия на организм человека и животных. И исследование, проведенные автором с участием ряда санитарно-гигиенических институтов Министерства здравоохранения УССР и Министерства здравоохранения СССР, показали, что серебро в концентрации 0,1—0,2 мг/л соответствует таким требованиям. В опытах на экспериментальных животных достоверно установлено, что серебро в концентрации

0,1—0,2 мг/л не влияет на противомикробный и противовирусный иммунитет, соотношение форменных элементов крови и ее протеиновую формулу, функциональное соотношение печени и селезенки, а также на выработку условных рефлексов даже при длительном его применении. С целью сделать этот метод доступным и способствовать его широкому внедрению в различные области народного хозяйства были определены оптимальные условия получения водных растворов серебра и разработана простая, компактная, автоматически действующая аппаратура — ионаторы типа ЛК* различного назначения и производительности.

Еще в начале 60-х годов ионаторами ЛК-28 (ИЭМ-50) морского исполнения было оснащено до 100 крупных морских сухогрузных судов Черноморского пароходства (среди них «Полтава», «Перекоп», «Берислав», «Сочи», «Славянск», «Партизанская слава» и др.), а также ряд крупных судов Балтийского пароходства и Мурманского тралового флота. Это позволило сократить валютные затраты на покупку питьевой воды в зарубежных портах, снизило заболеваемость среди моряков, улучшило санитарно-гигиенические условия водообеспечения судов.

Высокую оценку воде, обработанной серебром, дали наши космонавты. Практика показала, что обработка бортовых запасов питьевой воды серебром обеспечивает сохранение ее высоких органолептических и санитарно-гигиенических свойств в условиях космических полетов различной продолжительности.

Серебро также оказалось прекрасным консервантом минеральной воды. В настоящее время на многих заводах безалкогольных напитков нашей страны минеральную воду обеззараживают серебром. Благодаря этому отпала необходимость выдерживать готовую продукцию с целью улучшения ее бактериологических показателей, что дало значительную экономию средств.

Используется серебро и в пищевой промышленности при консервировании и дезинфекции фруктовых и овощных соков и некоторых продуктов питания. Нашла устойчивое признание и применение серебряная вода и в быту.

Не будучи медиком, автор все же считал полезным привести описанные в литературе (нашей и зарубежной) многочисленные данные об использовании высокого антимикробного эффекта серебра в медицинской практике.

Все эти аспекты затронуты в этой книге. В ней показаны свойства серебряной воды и ее концентратов, способы

* ЛК — инициалы автора.

получения и применения и их перспективы. Описаны отечественная и зарубежная аппаратура. Таким образом, сделана попытка ответить наиболее полно на многочисленные запросы, с которыми обращались и обращаются в Академию наук УССР лица и учреждения, интересующиеся серебряной водой.

Отзывы, поступающие из ряда зарубежных стран, а также от наших научных организаций, специалистов и предприятий самого различного профиля, убеждают, что перспективы использования этого ценного препарата в ряде отраслей нашего народного хозяйства огромны.

И очень приятно то, что приоритет разработки метода получения высокоэффективных водных растворов электролитического серебра, его научное обоснование и аппаратное оформление принадлежит Советскому Союзу.

АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ СЕРЕБРА

Целебные свойства воды, приобретаемые ею после контакта с металлическим серебром, были известны еще в глубокой древности. Об этом свидетельствуют медицинские труды, написанные на санскрите [182]. Историк античного мира Геродот приводит сведения о том, что в V в. до н. э. персидский царь Кир во время походов пользовался питьевой водой, сохраняемой в серебряных «священных» сосудах. В индусских религиозных книгах встречаются упоминания об обеззараживании воды путем кратковременного погружения в нее раскаленного серебра либо в результате длительного контакта с этим металлом в обычных условиях. В некоторых странах существовал обычай при освящении колодцев бросать в них серебряные монеты, а также хранить воду в серебряных чашах. Считалось, что это улучшает качество воды, но, конечно, на протяжении многих столетий люди не имели ни малейшего представления о сущности происходящих при этом процессов.

В конце XIX в. внимание исследователей привлекают ценные дезинфицирующие свойства некоторых металлов. В литературе появляются сообщения о способности металлов (меди, серебра) при контакте с водой убивать находящиеся в ней микроорганизмы. Это открытие, принадлежащее швейцарскому ботанику К. Негели, было опубликовано в его известном труде в 1893 г. [196]. Негели наблюдал действие серебра на пресноводные водоросли. Он описал два вида процессов, происходящих в клетке под влиянием серебра. Под воздействием больших концентраций серебра оболочка клетки сжималась одновременно с хлоропластом (это же происходит при отравлении другими тяжелыми металлами). Под воздействием слабых растворов серебра (1 : 100000000) хлоропласт отделялся от оболочки и сжимался. Такое явление Негели назвал олигодинамией (от греческих слов «олигос» — следы и «динамис» — действие, то есть действие следов). Ученый установил, что серебро проявляет олигодинамические свойства только в растворенном виде [179].

Герцберг подтвердил опыты Негели. Он наблюдал на твердых питательных средах, засеянных бактериями, во-

круг капли коллоидного серебра стерильную зону. Наличие такой зоны исследователь объяснил воздействием высокой концентрации серебра в ее центральной части и олигодинамическим действием серебра у краев. Такое объяснение вполне соответствовало теории Негели.

Винцент, сравнивая активность некоторых металлов, установил, что наиболее сильное действие на бактерии оказывает серебро, затем медь и золото.

Так, дифтерийная палочка погибала на серебряной пластинке через три дня, на медной — через шесть дней, на золотой — через восемь. Стафилококк погибал на серебре через два дня, на меди — через три, на золоте — через девять дней. Тифозная палочка на серебре и меди погибала через 18 ч, а на золоте — через шесть-семь дней.

В 1907 г. русский ученый Г. А. Сериков [126] установил в эксперименте, что химически чистое металлическое серебро малобактерицидно.

П. Е. Ермолаев [41], Е. А. Плевако [117] и другие отечественные исследователи показали, что эффект уничтожения бактерий серебром зависит от образования на поверхности металла солей и оксидов. Эти соединения, растворяясь в воде, дают ту или иную концентрацию ионов серебра, обуславливающую его бактерицидное действие.

Ермолаев и др. в своих опытах помещали серебряную пластинку в чашку Петри на агар, предварительно засеянный кишечной палочкой. Если поверхность пластинки не была отмыта от окисной пленки и солей серебра, вокруг нее через 48 ч роста бактерий не обнаруживали. На агаре была ясно видна стерильная зона радиусом 2—3 мм. Если пластинку тщательно отмывали водным раствором аммиака, стерильная зона вокруг нее не возникала.

Плевако помещал спираль из серебряной проволоки (содержание серебра 99,999%, длина 20 м, диаметр 0,4 мм) в сосуд со 100 мл * дистиллированной воды. Спустя 24, 48 и 72 ч испытывалось бактерицидное действие этой воды на кишечную палочку. Время контакта с бактериями составляло 24 ч, после чего делали посев на обычные среды. Проволока испытывалась как с отмытой (25%-ным раствором аммиака), так и с неотмытой поверхностью. Опыты

* С 1 января 1963 г. в Советском Союзе введена Международная система единиц СИ, однако для удобства пользования данными, приведенными в книге, автор сохранил метрическую систему единиц, как более известную широкому кругу читателей. Ниже приведены соотношения основных единиц прежних систем, встречающихся в работе, и единиц системы СИ: $1 \text{ ат} = 9,8 \text{ Б}10^4 \text{ Н/м}^2 = 0,981 \text{ бар}$; $1 \text{ г} \Rightarrow = 10^{-3} \text{ кг}$; $1 \text{ л} = 1,0^{-3} \text{ м}^3$; $1 \text{ мА} = 10^{-3} \text{ А}$; $1^\circ \text{С} = 1\text{К} - 273, 15^\circ$.

показали, что отмытое серебро теряет бактерицидные свойства. Аналогичные опыты С. В. Моисеева [104] с посеребренным песком подтвердили это.

Не менее убедительные результаты получены Тиле и Вольфом. Они экспериментально изучили бактерицидный эффект нескольких гальванических пар: серебро—золото, серебро — платина, серебряный порошок — палладий, уголь — серебро.

Тиле и Вольф показали, что в таких парах биологически активными являются растворимые электроды. Вокруг катодов стерильная зона не наблюдалась или была незначительной, а вокруг серебряного анода была шире, чем вокруг пластинки из того же металла, не включенной в электродную пару. Добавление 0,00005 г угля к 1 г серебряного порошка значительно усиливало бактерицидный эффект.

Эксперименты автора данной книги, как и опубликованные позднее работы других исследователей, подтверждают приведенные выше факты и позволяют сделать вывод о том, что именно ионы металлов и их диссоциированные соединения (вещества, способные в воде распадаться на ионы) вызывают гибель микроорганизмов. Во всех случаях при бактерицидном эффекте степень активности серебра тем больше, чем выше концентрация ионов в растворе [69— 71, 73—75, 84, 85].

Образование электродных пар способствует переходу металла, выступающего в роли анода, в раствор в виде ионов. По той же причине окисленные металлы (покрытые пленкой из окиси или перекиси того металла) обладают большей активностью, чем неокисленные. Наличие в воде посторонних веществ отрицательно влияет на бактерицидность, если они связывают ионы серебра и малодиссоциированные или труднорастворимые, выпадающие в осадок соединения.

Среди многочисленных теорий, рассматривающих характер действия серебра на микроорганизмы, одной из наиболее распространенных является адсорбционная теория, которой придерживались Вигнати и Шнабель [221], Ляйтнер [187], Жакоб и Моно [181], Циммерман [225, 226] и л. п. Основное положение этой теории сводится к тому, что клетка теряет жизнеспособность в результате взаимодействия электростатических сил, возникающих между отрицательно заряженными бактериями и положительно заряженными ионами серебра, адсорбции последних на бактериальной клетке. В пользу адсорбционной теории многими исследователями получены убедительные данные. Так,

Ляйтнер установил, что в комплексе «бактерия — серебро» последнее можно вытеснить веществами, ионы которых сильнее взаимодействуют с поверхностью бактерий. При этом антимикробный эффект ослабевает.

Еще в 1919 г. Заус проследил отложение серебра в теле микроорганизмов и установил, что различные бактерии фиксируют неодинаковое количество серебра в зависимости от своего размера. Так, дрожжи в разведении $1 : 10^5$ накапливали до 4% серебра по отношению к сухому весу, а более мелкие бактерии (например, *Escherichia coli*) - соответственно меньше.

Фрейндлих и Солнер [175] путем химического анализа обнаружили адсорбированное серебро на клетках олигодинамически умерщвленной водоросли.

П. Ф. Кнафельман [51] методом титрования ионов серебра, оставшихся в растворе после адсорбции, установила, что степень адсорбции весьма высокая и вполне достаточная для того, чтобы вызвать гибель бактериальной клетки.

Некоторые исследователи особое значение придают физико-химическим процессам, протекающим в протоплазме бактерий. В 1921 г. Вернике высказал предположение о том, что действие ионов серебра на бактерии состоит в окислении протоплазмы кислородом, растворенным в воде, причем серебро играет роль катализатора. Исходя из этого, можно предположить, что ионы металлов являются главным образом передатчиками кислорода, а само окисление заключается как в непосредственном присоединении кислорода, так и в дегидрировании соединений протоплазмы.

Другой теории придерживались Орцеховский и Штольц [200]. Исходя из своих исследований, они высказывали предположение об отсутствии непосредственного олигодинамического действия серебра на микробную клетку. По их мнению, серебро, образуя комплексные соединения, является переносчиком Cl -ионов. Положительно заряженные ионы серебра подводят отрицательно заряженные Cl -ионы к поверхности микробной клетки, где они, соединяясь с водородом, образуют соляную кислоту, вызывающую «ферментативную анархию» в клетке.

Выводы Бринкмана [168] не подтверждают этих предположений. Так, изучая с помощью электронного микроскопа кишечные палочки, на которые действовали серебром, хлором и озоном, он не обнаружил никаких структурных изменений в этих бактериях под влиянием серебра, тогда как хлор и озон вызывали подобные нарушения.

В то же время проведенные нами электронно-микроскопические исследования целых клеток позволили установить следующее: а) дозы серебра от 0,5 до 5 мг/л не оказывают влияния на морфологическую структуру бактериальных клеток; б) с повышением дозы дезинфектантов цитоплазма уплотняется тем больше, чем больше экспозиция.

Эти данные послужили основанием для изучения изменений ультраструктурной организации клетки под действием указанных доз дезинфектантов*.

Электронно-микроскопическое изучение ультратонких срезов микробной клетки позволило более детально выявить изменения под действием серебра. Эти исследования показали, что серебро в концентрациях 1—2 мг/л вызывает лишь незначительное уплотнение цитоплазмы и отхождение ее от клеточной стенки (срок наблюдения 15—20 мин); при концентрации серебра 5 мг/л выявляются изменения субмикроскопической структуры бактериальных клеток, проявляющиеся в сжатии цитоплазмы, которое наступало уже через 30 мин контакта. Наблюдались также изменения в нуклеоиде клетки — под действием серебра 5 мг/л нуклеоид резко уплотняется. Морфологические и ультраструктурные изменения бактериальной клетки зависят от концентрации дезинфектанта и времени контакта [91].

Значительный вклад в решение проблемы антимикробного эффекта серебра внесли Ворац и Тоферн [166], которые объясняют олигодинамическое действие серебра выведением из строя ферментов, содержащих БН- и СООН-группы. Нарушение одного из таких ферментов приводит к выключению функций всей системы клетки.

Г. Н. Першин [115] и другие исследователи также считали, что гибель бактерий под действием серебра наступает вследствие инактивации ферментных систем путем связей ЭН-групп дегидразных ферментов, например, сукцинат-оксидаза, холиноксидаза [37]. По мнению Уэбба [140], ионы серебра вначале вызывают стимуляцию процесса дыхания, а затем его резкое угнетение.

Тонли и Вильсон [216] механизм действия серебра на клетку объясняли нарушением ее осмотического равновесия.

Имеются данные, подтверждающие образование комплексов нуклеиновых кислот с тяжелыми металлами [59, 162]. Установлено, что серебро связывается с азотистыми

* Применение повышенных концентраций серебра, взятых для данных исследований, объясняется тем, что для электронно-микроскопических работ используется высокая микробная нагрузка — 4—5 млрд. микробных клеток в 1 мл.

основаниями дезоксирибонуклеиновой кислоты, вследствие чего нарушается стабильность ДНК и соответственно жизнеспособность бактерий.

Под влиянием серебра происходит изменение культуральных и биохимических свойств кишечных бактерий [8].

С. Токао [214] установил, что серебро в концентрациях 1—5 мг/л угнетает биосинтез рибофлавина у *Candida globosa*.

Гуссо с сотрудниками [178] высказал предположение, что ионы серебра, подобно адреналину, каталитически влияют на ферментные системы. Такой же точки зрения придерживаются Г. Н. Першин [115], В. А. Турпаев [138] и др.

Имеются данные, свидетельствующие о том, что сопротивляемость действию серебра связана с содержанием липидов в бактериальной клетке. Чем больше липидов, тем выше сопротивляемость бактерий [226].

В литературе появились также дополнительные сведения о влиянии серебра на ферменты микробной клетки. Так, Брег и Рейни [165] показали, что ионы серебра ингибировали окисление глюкозы, глицерина, fumarата, сукцината, лактата и эндогенных субстратов интактными клеточными суспензиями кишечной палочки. Они показали, что ионы серебра реагировали с респираторной цепью на двух уровнях. Наиболее чувствительным к ингибированию было место, расположенное между В-цитохромами и цитохромом A_2 . Второй уровень ингибирования находился между местом субстратного взаимодействия с респираторной цепью и флавопротеином.

Однако перечисленные работы полностью не раскрыли причин гибели микроорганизмов под влиянием серебра.

В Институте коллоидной химии и химии воды АН УССР под руководством автора были развернуты исследования по уточнению механизма действия серебра на микробную клетку.

Известно, что поглощение металла клеткой может происходить тремя различными путями: 1) адсорбцией металла клеточной поверхностью; 2) активным переносом металла в клетку и 3) двухфазным процессом: первая фаза — адсорбция, которая быстро сменяется второй фазой — «активным транспортом» металла в клетку. Опытами, проведенными сотрудниками этого института, было показано, что поглощение серебра клетками микроорганизмов независимо от их видового состава идет по первому пути. Установлено, что у различных видов микроорганизмов происходит высокая адсорбция серебра микробной

клеткой. В колбы емкостью 250 мл с содержанием серебра 0,05, 0,1, 0,5 мг/л вносили 18-часовые культуры *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans* в концентрации 10^5 особ./л и инкубировали на качалке при температуре 37 °С в течение часа. Затем пробы центрифугировали при 6 тыс. об/мин в течение 10 мин. Определение концентрации серебра в надосадочной жидкости в разные промежутки времени показало, что при дозе 0,05 мг/л все внесенное серебро сорбировалось бактериями, при дозе 0,1 мг/л — на 90%, а при дозе 0,2 мг/л — только на 50%.

Относительно локализации серебра в микробной клетке наиболее подробные данные приведены в работах В. Н. Голубович [25—28]. Культура дрожжей после обработки ионами серебра разрушалась и центрифугировалась при 2 тыс. об/мин в течение 10 мин. Были получены две фракции: осадок, содержащий клеточные стенки и мембраны, и супернатант. Изменение количества серебра показало, что 90% Ag⁺ содержится во фракции клеточных стенок и мембран. В другом опыте изучалась адсорбция серебра протопластами клеток (клетки без оболочек). Оказалось, что протопласты, так же как и целые клетки, быстро связывали внесенное серебро, однако гибли они гораздо быстрее, чем целые клетки.

Также было показано, что характер поглощения ионов серебра и меди клетками *S. utilis* различный. Так, поглощение серебра бактериями происходило весьма быстро, не зависело от температуры энергетического субстрата и физиологического состояния культуры, т. е. было вызвано физико-химической адсорбцией серебра поверхностью клеток. Полное же насыщение клеток медью происходило только через 2 часа, зависело от температуры и представляло собой активный транспорт [148].

Голубович [26] предполагает, что более сильный бактерицидный эффект серебра по сравнению с другим металлом связан с большей скоростью его проникновения в клетку. В связи с тем, что протопласты клеток разрушаются при более низких концентрациях серебра, чем сама клетка, автор объясняет механизм токсического действия серебра нарушением функций цитоплазматической мембраны.

Изучение влияния серебра на активность бактериальных ферментов, которые, как известно, локализуются в цитоплазматической мембране, показало, что серебро угнетает дегидрогеназы Сахаров и глютаминовой кислоты.

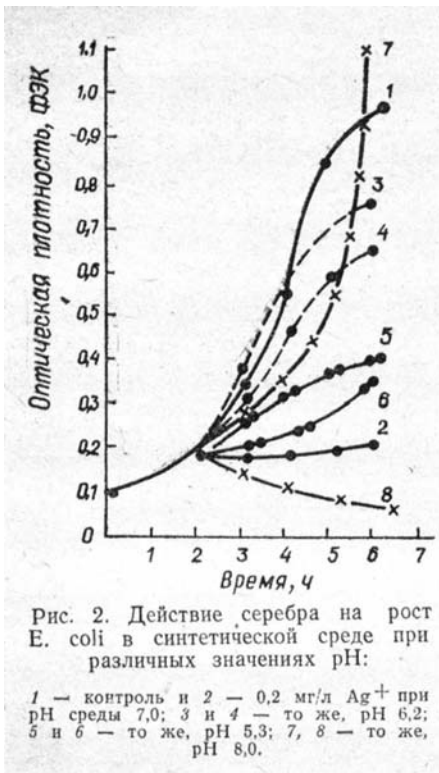
Проведенные нами исследования по изучению влияния серебра на дегидрогеназную активность кишечной палочки показали, что серебро угнетает изоцитрат-, сукцинат-,



а-кетоглутарат, малат- и оируватдегидрогеназную активность. Между степенью угнетения и концентрацией дезинфектанта наблюдалась прямая зависимость. Ингибирование дегидрогеназной активности бактерий возрастало с увеличением концентрации, а также времени контакта [105].

Таким образом, механизм действия серебра на микробную клетку в свете современных данных заключается в том, что оно сорбируется клеточной оболочкой, при этом клеточная оболочка выполняет защитную функцию и сама клетка остается жизнеспособной, хотя нарушаются некоторые ее функции, например деление (бактериостатический эффект). Как только на поверхности клетки сорбируется избыточное количество серебра, последнее проникает внутрь клетки и задерживается цитоплазматической мембраной. В цитоплазматической мембране расположены основные ферментные системы клетки. Серебро блокирует бактериальные ферменты, в результате чего клетка гибнет.

Это подтверждают и наши эксперименты, в которых показано, что процесс инактивации *E. coli* серебром в синтетической среде состоит из двух фаз: первая — фаза замедленной инактивации (концентрация серебра 0,02—0,08 мг/л), вторая — быстрая фаза, которая, возможно, сопровождается действием ингибитора на несколько метаболических реакций клетки. Следует отметить, что в отличие от других тяжелых металлов, например, меди, действие серебра, как показали наши исследования, сопровождается резким усилением антимикробного эффекта начиная с концентрации 0,08 мг/л Ag^+ и выше (для данных конкретных условий; см. рис. 1). Место перелома прямой зависит от количества клеток в момент внесения серебра. Если сереб-



ро вносили в среду с 4×10^7 клеток в 1 мл среды, то точка перегиба наблюдалась при концентрации серебра 0,008 мг/л Ag^+ , когда же клетке было вдвое больше ($9,8 \times 10^7$), эта точка смещалась до 0,15 мг/л серебра.

Однако при изучении влияния pH воды на антимикробную активность серебра нами установлено повышение этой активности в щелочной среде по сравнению с кислой и нейтральной. Изучение влияния серебра на кинетику роста *E. coli* 1257 при различных pH синтетической среды также показало, что серебро наиболее эффективно задерживает рост в слабощелочной среде — при pH 8 и выше. Так, на рис. 2 показано, что серебро в кон-

центрации 0,2 мг/л при pH 5,3 только незначительно уменьшает скорость роста по сравнению с контролем; при pH 7 серебро в той же концентрации задерживает рост на 4 ч, а при pH 8 — оптическая плотность культуральной жидкости непрерывно падает, что свидетельствует о гибели культуры. Возможно, это связано с нарушением стабильности и проницаемости клеточных мембран, а также с изменением их способности взаимодействовать с необходимыми или нежелательными для них метаболитами [118].

Эффект уничтожения бактерий препаратами серебра чрезвычайно высокий. По данным В. А. Углова [139], он в 1750 раз сильнее действия карболовой кислоты в той же концентрации и в 3,5 раза сильнее действия сулемы. По нашим данным, серебряная вода активнее хлора, хлорной извести, гипохлорита натрия и других сильных окислителей в одинаковых концентрациях (рис. 3).

Работы по изучению действия тяжелых металлов, и в частности серебра, преимущественно проводились с покоящимися суспензиями микроорганизмов. При этом было ус-

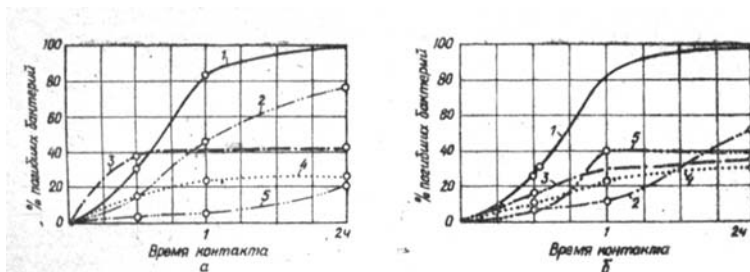


Рис. 3. Сравнение бактерицидности различных дезинфицирующих препаратов на кишечной палочке (а) и бактерии Флекснера (б). Концентрация реагента 1 мг/л, температура 7°C: 1 — серебряная вода; 2 — аммарген; 3 — фенол; 4 — хлор; 5 — хлорная известь.

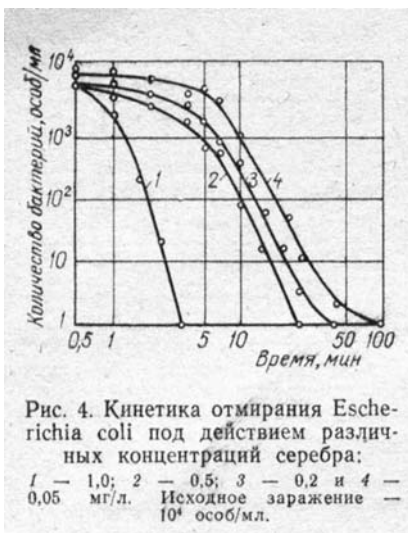
тановлено, что чувствительность разных видов патогенных и сапрофитных организмов к серебру не одинакова.

Дж. Портер [204] на основании проведенных им исследований указывает, что из штаммов *Staphylococcus aureus*, *Brucella abortus*, *Ebertella typhosa*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio comma*, *Bacillus subtilis*, *Mycobacterium phlei* наиболее подвержены действию серебра микобактерии.

Группу кишечных бактерий и стафилококки по эффективности действия серебряной воды на эти микроорганизмы можно расположить в такой ряд: кишечные палочки < бактерии Флекснера < бактерии Эберта < стафилококки [139].

Кинетика отмирания бактерий под влиянием серебра показана на рис. 4. Видно, что скорость отмирания *Escherichia coli* зависит от концентрации серебра. Так, при дозе 1 мг/л гибель кишечной палочки наступает через 3 мин, при дозе 0,5 мг/л — через 20 мин, при дозе 0,2 мг/л — через 50 мин, а для дозы 0,05 мг/л требуется около 2 ч контакта для полного бактерицидного эффекта. Интересно отметить, что начало антимикробного действия серебра также зависит от его концентрации. Для дозы 0,05 мг/л это 5 мин, для 0,2 мг/л — 3 мин, для 0,5 — 2 мин. Действие серебра в дозе 1 мг/л и выше наступает с момента введения дезинфектантов.

Зависимость ингибирования роста культуры *S. utilis* ионами серебра от их концентрации установлена В. Н. Голубович и И. Л. Работновой [27]. Полученные исследователями данные свидетельствуют о том, что концентрация ионов серебра 0,0047 мг полностью подавляет рост 1 млн. клеток в 1 мл, в то время как 0,0006—0,0008 мг Ag^+ на 1 млн. клеток/мл стимулирует рост микробной популяции.



Наряду с этим они определили диапазон концентраций ионов серебра от 0,13 до 0,54 мг/л, при котором торможение скорости роста *S. utilis* ионами металла подчиняется уравнению неконкурентного торможения энзиматических реакций. Ag^+ в этом интервале концентраций тормозит одну реакцию в метаболизме, являющуюся «узким местом» для процесса роста популяции.

В Последнее время появились сообщения о том, что очень важным санитарно-показательным микроор-

ганизмом наряду с кишечной палочкой является энтерококк. Было установлено, что энтерококки по устойчивости к хлору значительно превосходят штаммы вируса полиомиелита и практически стоят на уровне аттенуированного вируса. Устойчивость энтерококков к хлору также значительно выше, чем устойчивость кишечной палочки.

Г. П. Калина [49] считает, что энтерококковый индекс (титр) следует определять при исследовании воды с повышенными концентрациями солей, воды плавательных бассейнов, консервированных пищевых продуктов, а также в случаях, когда есть опасность заражения объекта патогенными микроорганизмами, более устойчивыми, чем кишечная палочка, например энтеровирусами.

В связи с этим нами были исследованы антимикробные свойства серебра по отношению к *Streptococcus faecalis*. Опыты убедительно показали, что серебряная вода обладает высоким бактерицидным эффектом и в этом случае: Гипохлорит натрия, хлорная вода, йод и даже азотнокислое серебро выявили себя менее активными, чем растворы серебра, полученные методом электролиза [66] *.

* В периодической литературе серебро, содержащееся в серебряной воде, полученной электрохимически, называется по-разному.

Применяются такие названия, как электрокатодное, электролитическое, электрохимически растворенное, электролизное или аподи растворенное серебро. Все эти названия правомочны. Цитируя работы исследователей далее, автор придерживался употребляемой ими терминологии. Однако последний термин нам представляется наиболее точным, так как указывает на электрод, на котором ведется растворение! Во всех случаях, говоря об антимикробном эффекте анодных растворов

В. С. Брызгунов и др. [10] в своих работах показали, что такое серебро обладает более высоким антимикробным эффектом, чем пенициллин, биомицин и другие антибиотики, и оказывает губительное действие на антибиотикоустойчивые штаммы бактерий.

В литературе встречается указание на то, что грамотрицательные бактерии более чувствительны к серебру, чем грамположительные.

Крузе,

Фишер [186], Авакян [2] и другие исследователи отмечают, что наиболее устойчивы к серебру дрожжи и дрожжеподобные грибы. В отношении плесневых грибов серебро [185, 197] также малоактивно. Кроме того, высокую устойчивость к действию серебра проявляют тионовые и сульфатредуцирующие бактерии [208].

Как правило, патогенные микроорганизмы более чувствительны к серебру, чем сапрофиты. Циммерман в своем литературном обзоре сообщает, что штаммы водных бактерий привыкают к серебру. Однако существует и обратное мнение. Так, Л. Ф. Шанина [155] считает, что кишечная палочка, внесенная в минеральные воды, законсервированные серебром, не образует устойчивых штаммов.

Приводятся также данные, согласно которым при малых концентрациях серебро не только не вызывает гибели микроорганизмов, но очень часто стимулирует их рост [141, 224].

Поданным Липпельта [166], 1 мг/л серебра в течение 30 мин вызывает полную инактивацию вирусов гриппа штаммов А1, В и Митрс-штамма.

А. В. Маселюк и О. С. Невкипилая [98] называют более высокую концентрацию серебра (10 мг/л), в течение

ного серебра, следует иметь в виду, что вместе с последним в растворе всегда присутствуют ионы гипохлорита и перекисные соединения, образующиеся на аноде. Поскольку при совместном их присутствии антимикробное действие усиливается (т. е. наблюдается синергический эффект), то и эффект анодно-растворенного серебра всегда выше, чем растворов, содержащих такое же количество серебра, введенного в виде простых солей.



Рис. 5. Чувствительность различных видов микроорганизмов к серебру: 1 — *Aspergillus niger*; 2 — *Pseudomonas pyocyanea*; 3 — *Candida utilis*; 4 — *Mycobacterium sp.*

Таблица 1. Влияние электролитических растворов серебра и хлора на возбудителей острых кишечных заболеваний

Микроорганизм	Время контакта, мин	Контроль	Доза серебра, мг/л			Доза хлора, м/л 1,0
			0,1	0,2	0,5	
<i>Возбудители дизентерии</i>						
Shigella sonnei штамм 1919	2	980	618	576	600	576
	10	612	284	260	176	410
	20	840	280	296	100	216
	30	580	184	160	6	208
	40	680	58	40	0	104
	50	560	11	2	0	24
	60	612	0	0	0	8
	120	480	0	0	0	0
Shigella sonnei штамм 4081	2	512	400	324	400	506
	10	496	264	216	176	412
	20	480	184	276	136	302
	30	496	120	132	80	240
	40	440	63	65	15	140
	50	420	1	2	0	120
	60	368	0	0	0	43
	120	400	0	0	0	0
Shigella flexneri штамм 4492	2	298	262	280	208	220
	10	262	76	30	3	36
	20	286	18	16	2	30
	30	276	2	4	0	12
	40	282	1	0	0	9
	50	276	0	0	0	4
	60	288	0	0	0	2
	120	262	0	0	0	1
Shigella newcastle штамм 4114	2	320	296	208	200	210
	10	286	104	76	62	112
	20	264	72	40	18	98
	30	312	84	20	12	74
	40	296	10	0	0	15
	50	288	0	0	0	2
	60	264	0	0	0	0
	120	260	0	0	0	0
<i>Возбудители тифо-паратифозных инфекций и сальмонеллезов</i>						
Salmonella paratyphi А штамм 8138	2	769	620	688	576	660
	10	632	2	1	0	2
	20	616	0	0	0	1
	30	632	0	0	0	0
	40	628	0	0	0	0
	50	616	0	0	0	0
	60	630	0	0	0	0
	120	638	0	0	0	0

Продолжение табл. 1

Микроорганизм	Время контакта, мин	Контроль	Доза серебра, мг/л			Доза хлора, мг/л 1,0
			0,1	0,2	0,5	
Salmonella typhi штамм 495	2	1156	944	756	612	1088
	10	1142	81	112	26	512
	20	1120	28	26	2	344
	30	1136	1	1	0	304
	40	1204	0	0	0	100
	50	1088	0	0	0	23
	60	1104	0	0	0	5
	120	1120	0	0	0	0
Salmonella derby штамм 4209	2	466	448	440	356	308
	10	386	28	32	16	62
	20	288	14	4	3	44
	30	368	1	0	0	38
	40	362	0	0	0	23
	50	386	0	0	0	19
	60	344	0	0	0	4
	120	360	0	0	0	0
Salmonella bovis mor- bificans штамм 4411	2	446	576		560	684
	10	560	26		12	416
	20	512	3		4	400
	30	448	2		0	456
	40	536	0		0	256
	50	400	0		0	204
	60	518	0		0	112
	120	498	0		0	10
Salmonella anatum штамм 4370	2	1280	1064		640	1024
	10	1422	188		64	960
	20	1240	144		2	572
	30	1408	24		3	512
	40	1120	1		0	320
	50	1012	0		0	184
	60	1040	0		0	5
	120	1036	0		0	1

Возбудители холеры

Vibrio cholerae asiati- sea 157 серотип Ога- ва из Афганистана	30	+	0	0	0	—
	60	+	0	0	0	—
	120	+	0	0	0	—
Vibrio cholerae asi ati- sea 141 серотип Ина- ба из г. Калькутты	30	+	98	0	0	—
	60	+	0	0	0	—
	120	+	0	0	0	—
Vibrio El-Tor 319, серотип Огава, Кара- Калпакская АССР	30	+	0	0	0	—
	60	+	0	0	0	—
	120	+	0	0	0	—
Vibrio- El-Tor 125, серотип Инаба 1970 г.	30	+	0	0	0	—
	60	+	0	0	0	—
	120	+	0	0	0	—

Примечание. Условные обозначения: + рост бактерий (при concentra-
ции 1 млн. особей в 1 мл); — опыт не ставился.

30 мин вызывающую полное торможение РГА (реакции гемагглютинации) вирусов гриппа штаммов А₁, ПАН, А_{2sing}, А₂₋₆₅, Сендай, А_{PR-8}. Оказалось, что действие серебра на вирусы снижается с увеличением числа пассажей последних. Этими авторами обнаружено также, что серебряная вода, приготовленная электролитическим способом, более активна, чем раствор азотнокислого серебра той же концентрации.

Вопрос о влиянии серебра на бактериофаг до настоящего времени остается неясным. Так, по данным Брауне [166], даже высокие дозы серебра только весьма незначительное время действуют на бактериофаг. Напротив, Эберт, -Шапиро [173], Мегау [192], Л. В. Григорьева [30, 31] утверждают, что серебро обладает активностью по отношению к бактериофагу.

Действие серебра на рост некоторых видов микроорганизмов было изучено также В. Н. Голубович [25]. Опыты проводились с микроорганизмами, относящимися к различным таксономическим группам: *Aspergillus niger*, *Pseudomonas pyocyaneum*, *Mycobacterium* sp. и *Candida utilis*. Было установлено, что наиболее чувствительны к серебру *Mycobacterium* sp. Активность серебра в отношении *Pseudomonas pyocyanea* и *Candida utilis* выражается близкими величинами, а наиболее устойчивой оказалась культура *Aspergillus niger*.

Как видно из рис. 5, серебро проявляет свою активность в отношении названных микроорганизмов в концентрациях 0,01—0,05 мг/л.

В Институте инфекционных болезней МЗ УССР, в Институте эпидемиологии, микробиологии и паразитологии МЗ УССР, а также на Таджикской противочумной станции изучалось действие серебра на возбудителей инфекционных заболеваний, передающихся через воду, таких как холера, дизентерия, брюшной тиф и др. Как видно из табл. 1, в таких случаях антимикробный эффект серебра очень высок. Бактерицидный эффект серебра проявляется уже при концентрации 0,1—0,2 мг/л и времени контакта от 10 до 60 мин. Наиболее чувствительными оказались возбудители холеры, затем возбудители тифо-паратифозных инфекций и дизентерийные бактерии [35, 36].

Исследованиями за рубежом было установлено также, что под действием ионов серебра сравнительно быстро погибают протеи [176], сальмонеллы, пигментные бактерии, вибрионы [207, 209] и прочие микроорганизмы.

Свежие, только что выделенные штаммы устойчивее " старых лабораторных штаммов [184]. Серебро не убивает

спорообразующие бактерии, но прорастание спор в присутствии его ионов задерживается [186].

По мнению некоторых ученых (Либ, Крузе, Фишер и др.), на кислотоустойчивые, туберкулезные, а также сапрофитовые водные бактерии серебро действует значительно менее эффективно.

Достаточно подробно действие серебра на вирусы было исследовано в Киевском институте общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Марзеева Л. В. Григорьевой [32]. Ею изучен эффект обеззараживания серебром воды, содержащей различные бактерии и вирусы кишечной группы, которые встречаются в естественных условиях в водоемах. Она показала, что бактериофаг кишечной палочки № 163, вирусы Коксаки серотипов А₅, А₇, А₁₄ обладают значительно ; большей устойчивостью к серебру, чем бактерии. Так, полная их инактивация достигается концентрациями серебра 0,5—5,0 мг/л, тогда как эшерихии, сальмонеллы, шигеллы и другие кишечные бактерии инактивируются дозой лишь 0,1-0,2 мг/л.

Следует отметить, что заражение воды вирусами всегда сопровождается внесением в пробу большого количества органических веществ (измельченная ткань, аллантоиновая жидкость и др.), которые адсорбируют на себе ионы серебра; тем самым вызывается необходимость (в отличие от естественных условий) увеличения его вирулицидной концентрации.

Поскольку бактерицидное действие серебра зависит от физико-химических условий среды, разными исследователями при определении летальных доз серебра были получены неодинаковые данные.

Так, по данным Е. А. Плевако [117], водные растворы солей серебра убивают кишечные палочки в концентрации 10⁹ особ/л через 24 ч при дозе всего 0,04 мг/л. Это соотношение величин относится к области биотических воздействий малых количеств веществ, например, гормонов, витаминов, микроэлементов. Другие авторы, в частности К. Вурман, Б. Полак, указывают бактерицидную концентрацию серебра — 0,05—0,1 мг/л. По нашим данным, а также по данным Х. Стухлика и Д. Джеймса, бактерицидная концентрация составляет 0,2 мг/л при времени контакта 30 мин.

Сотрудники Института коллоидной химии и химии воды АН УССР [68] изучили действие электролитического серебра на водоросли, которые вызывали обрастание трубопроводов артезианского водопровода г. Киева и ухудшали органолептические свойства воды (чаще всего в обраста-

Таблица 2. Влияние электролитических растворов серебра на

Микроорганизм	Концентрация		
	10 ³	10 ⁵	10 ⁷
<i>Proteus vulgaris</i>	+++	—	—
<i>Bacillus megatherium</i>	+++	+++	+++
<i>Escherichia coli</i>	+++	+++	+++
<i>Bacterium prodigiosum</i>	+++	+++	+++
<i>Bacillus mesentericus</i>	+++	+++	+++
<i>Bacterium pyocyaneum</i>	+++	—	—
<i>Bacillus anthracoid</i>	+++	+++	+++
<i>Salmonella paratyphi A. 290^a</i>	+++	+	—
<i>Shigella flexneri N 170</i>	+++	+	—
<i>Shigella newcastle «Сергеев»</i>	+++	+	—
<i>Staphylococcus aureus 209</i>	+++	+	—
<i>Candida albicans 62</i>	+++	—	—
<i>Candida tropicalis</i>	+++	—	—
Стафилококк, устойчивый к эритромицину	+++	+++	+
Стафилококк, устойчивый к биомицину	+++	+++	+++
Стафилококк, устойчивый к пенициллину	+++	+++	+++
Стафилококк, устойчивый к колимицину	+++	+++	+++

Примечание. Условные обозначения: +++ интенсивный рост; составляла 10 мг/л и лишь для *Candida tropicalis* — 5 мг/л.

ниях встречалась *Chloroglea pallida*). Опыты показали, что 0,5 мг/л серебра при температуре 20 °С и времени контакта 1—2 сут — минимальная эффективная доза, вызывающая гибель этих водорослей; при температуре 10°С такой же эффект наблюдается при дозе серебра 1,0 мг/л.

Перечисленные нами материалы, к сожалению, недостаточно раскрывают антимикробное воздействие серебра на более широкий спектр микроорганизмов, встречающихся в водной среде.

Эти соображения заставили нас исследовать олигодинамическое действие серебра на широком спектре, состоящем из 107 микроорганизмов.

В табл. 2 представлены предварительные данные по влиянию электролитических растворов серебра на выживаемость грамположительных, грамотрицательных бактерий и грибов рода *Candida*, учитывающуюся по трехбалльной системе. Наиболее чувствительными к серебру оказались неспоровые грамположительные и грамотрицательные бактерии. Спорообразующие бактерии были более резистентными.

В табл. 3 и 4 на основании полученного большого экспериментального материала установлены оптимальные условия инактивации патогенных микроорганизмов¹ (107 штам-

различные микроорганизмы

особ./мл

10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++	---	---	---	---	---	---
+++	++	++	+	+	+	---
---	---	---	---	---	---	---
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
+++	+++	---	---	---	---	---
+++	++	---	---	---	---	---
+++	+	---	---	---	---	---

++ слабый рост; + начало роста; — отсутствие роста. Концентрация Ag^+

мов) при обеззараживании воды серебром и определен спектр их чувствительности к серебру.

Следует отметить и неодинаковую чувствительность к серебру различных штаммов одного вида бактерий. Так, у шигеллы зонне часть штаммов (80,2%) полностью погибала в течение 20—60 мин контакта, остальные же (19,8%) — лишь через 2 ч.

Из 33 изученных штаммов сальмонелл наибольшей чувствительностью к серебру обладали возбудители паратифа А, оба штамма погибали через 10—20 мин, и эти результаты воспроизводились. Все 5 штаммов возбудителя брюшного тифа и большинство других сальмонелл, относящихся к различным группам, погибали в присутствии серебра через 30—40 мин. Однако встречались более устойчивые штаммы, гибель которых наступала спустя 1 ч после контакта с серебром.

Наибольшей устойчивостью обладали эшерихии. Из энтеропатогенных форм этих бактерий только для двух штаммов, оба серотипа 0—135, продолжительность бактерицидного контакта с серебром не превышала 30—40 мин, для остальных штаммов (0—124, 0—144, 0—25) — 60—120 мин. Непатогенные серотипы эшерихий также погибали после одно- или двухчасового контакта с серебром.

Т а б л и ц а 3. Действие серебра (0,1 мг/л) на кишечные бактерии

Вид бактерий	Количество штаммов	Количество штаммов, погибших при контакте с серебром через			
		20 мин	40 мин	60 мин	120 мин
Шигелла:					
зонне	46	2	18	37	46
флексера	15	0	4	14	15
Ньюкастл	1	0	0	1	—
Сальмонелла	33	2	24	33	—
Эшерихия	12	1	4	8	12
Всего:	107				

Наблюдая различные чувствительности штаммов изученных видов бактерий к применявшимся концентрациям серебра, мы попытались связать это явление с ферментативной активностью бактерий по отношению к углеводам — рамнозе, ксилозе и мальтозе. Из 46 изученных штаммов шигелл зонне 33 штамма ферментировали рамнозу и мальтозу, 6 — все три углевода, 7 — не ферментировали рамнозу, мальтозу, ксилозу.

Данные табл. 5 показывают, что штаммы, ферментирующие рамнозу и мальтозу, в основном устойчивы к бактерицидному действию серебра. Шигеллы зонне, ферментирующие мальтозу, ксилозу и рамнозу, а также не ферментирующие углеводы, погибали под действием серебра в течение 40—120 мин.

Т а б л и ц а 4. Действие различных концентраций серебра на кишечные бактерии (в числителе — при концентрации 0,2 мг/л; в знаменателе — 0,5 мг/л)

Вид бактерий	Количество штаммов	Количество штаммов, погибших при контакте с серебром через			
		10 мин	20 мин	40 мин	60 мин
Шигелла	62	0	2	52	62
		6	59	62	—
Сальмонелла	33	0	2	31	33
		5	30	33	—

Таблица 5. Действие серебра на штаммы шигелл зонне с различной ферментативной активностью

Свойства штаммов	Количество штаммов	Количество штаммов, погибших при контакте с серебром через			
		20 мин	40 мин	60 мин	120 мин
Ферментирующие:					
рамнозу, мальтозу	33	2	15	28	33
рамнозу, мальтозу, ксилозу	6	0	2	4	6
Интактные по отношению к рамнозе, ксилозе, мальтозе	7	0	2	4	7

Следовательно, серебро одинаково губительно действует на шигеллы зонне, обладающие различной ферментативной активностью.

В связи с широким применением в медицинской практике антибиотиков появилось большое количество резистентных к ним микроорганизмов. Представляло интерес изучить чувствительность таких штаммов к действию серебра.

В литературе имеется сообщение, что бактерии, устойчивые к пенициллину и биомицину, не обладают устойчивостью к серебру и его препаратам.

Нами было изучено действие серебра на 59 штаммов патогенных кишечных бактерий, обладающих лекарственной устойчивостью к пенициллину, стрептомицину, тетрациклину и левомицетину. Как показали опыты (табл. 6), шигеллы, сальмонеллы и патогенные эшерихии, устойчивые к действию антибиотиков, в присутствии небольших количеств серебра погибали в течение 20—120 мин. При этом погибали и кишечные бактерии, устойчивые к нитрофурановым препаратам.

Следовательно, антимикробное действие серебра не связано со степенью их устойчивости к антибиотикам и химиопрепаратам. Это может иметь важное практическое значение для дальнейшей разработки вопроса применения серебра в медицине.

Помимо кишечных бактерий, объектом нашего изучения были также патогенные для человека грибы рода *C. albicans*. Исследовано 9 штаммов, выделенных из фекалий больных кишечными заболеваниями. Результаты опытов показали, что при концентрации 0,1 мг/л серебро обладает выраженным фунгицидным действием. При микробной на-

Таблица 6. Действие серебра на кишечные бактерии, устойчивые к антибиотикам

Вид бактерий	Количество штаммов, устойчивых к антибиотикам	Количество штаммов, погибших при контакте с серебром через			
		20 мин	40 мин	60 мин	120 мин
Шигелла:					
зонне	32	2	11	24	32
флекснера	6	0	2	5	6
Сальмонелла	14	0	10	14	—
Эшерихия	7	1	2	5	7
Всего:	59				

грузке 10^9 клеток на 1 л гибель грибов *S. albicans* наступает через 30 мин контакта с серебром, а при более высокой нагрузке (10^9 клеток) основная масса их погибала спустя один час после начала опыта [106].

Параллельно с выяснением антимикробного спектра серебра нами были проведены исследования по интенсификации бактерицидного действия серебра с помощью перекиси водорода, активного хлора, ультрафиолета и ультразвука, а также электрического поля. Опыты показали, что добавление в питьевую воду перекиси водорода в концентрации 3 мг/л позволяет получить надежный обеззараживающий эффект при дозе серебра 0,05 мг/л и времени контакта 20 мин. Антимикробный эффект серебра и перекиси водорода сохраняется даже при внесении в пробы воды добавочного заражения *Escherichia coli* (рис. 6). Эти данные показывают, что метод обработки серебром в сочетании с перекисью водорода может применяться как для обеззараживания, так и для консервирования питьевой воды. При добавлении в питьевую воду сначала хлора (1 мг/л), а затем через 5—10 мин серебра (0,05 мг/л) бактерицидный эффект дезинфектантов усиливается, время контакта сокращается, а консервирующие свойства серебра сохраняются на протяжении 7 месяцев и более [67, 85]. Ультрафиолетовые лучи также значительно усиливают антимикробное действие серебра. Как видно из рис. 7, совместное воздействие серебра и ультрафиолета позволяет получить надежный обеззараживающий эффект практически через 1—2 мин. Метод комбинирования серебра и ультрафиолета перспективен для применения его с целью обработки воды в условиях высоких скоростей ее потока, когда продолжительное время контакта воды с дезинфектантами невозможно.

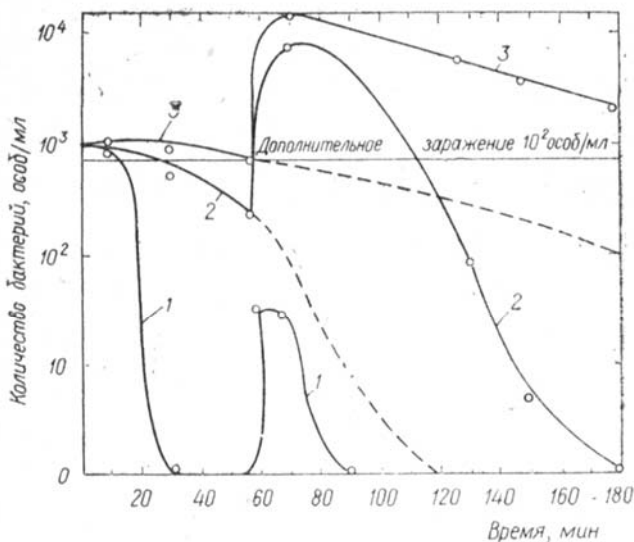


Рис. 6. Влияние добавочного заражения *Escherichia coli* на бактерицидный эффект серебра и перекиси водорода: 1 — 0,05 мг/л Ag^+ + 3 мг/л H_2O_2 ; 2 — 0,05 мг/л Ag^+ ; 3 — контроль.

Бактерицидный эффект малых доз серебра в воде может быть также значительно повышен и ускорен при воздействии ультразвука [158].

Применение ультразвука, даже в нелетальных для клетки концентрациях, ослабляет клеточные барьеры, способствует быстрому проникновению серебра внутрь клетки и поражению им ее жизненно важных центров.

Выполненные в ИКХХВ АН УССР исследования свидетельствуют о том, что при 3-минутном озвучивании воды, обсемененной кишечной палочкой 830 особ./мл и содержащей серебро в концентрации 0,05 мг/л, достигалась стопроцентная гибель бактерий.

Нами также изучено суммарное воздействие хлора и серебра и установлено, что введение дезинфектантов в последовательности — хлор, а затем серебро (без увеличения их допустимых концентраций) обеспечивает более эффективное обеззараживание воды по сравнению с отдельным их использованием. Опыты были проведены на возбудителях дизентерии, брюшного тифа и паратифов, сальмонеллах, энтеропатогенных типах эшерихий.

Применение такого комбинированного способа обеззараживания воды показало, что бактерицидное его действие

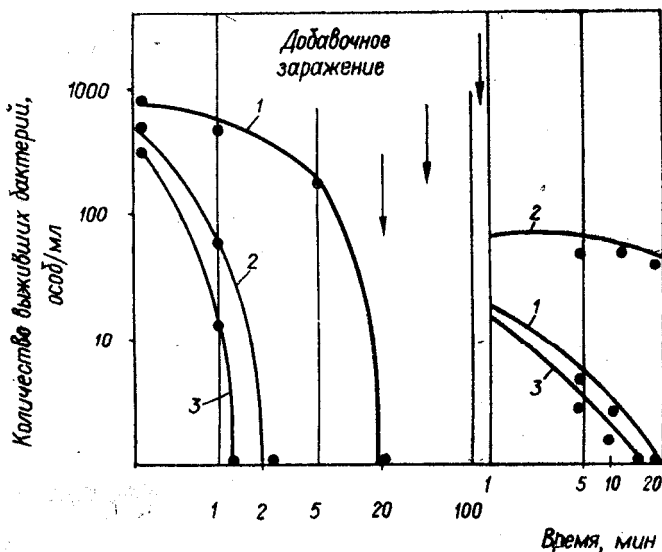


Рис. 7. Влияние добавочного заражения на антимикробный эффект серебра и ультрафиолета в отношении *Escherichia coli*:

1 — электролитический раствор серебра; 2 — ультрафиолет; 3 — совместное действие ультрафиолета и серебра.

по отношению к патогенным видам бактерий при указанной последовательности внесения дезинфектантов проявляется быстрее, их отмирание наступает в основном через 40—60 мин, а некоторые штаммы погибают уже через 20 мин [107]. В этом случае консервирующие свойства серебра сохраняются более чем 7 месяцев [67, 85].

Особого внимания заслуживает интенсификация процесса обеззараживания воды электрическим полем [63]. Проведенные нами исследования показали, что отмирание патогенной микрофлоры (*Escherichia coli* 055, 011, *Shigella sonnei*, *Salmonella typhimurium*) начиналось уже при низких значениях напряженности электрического поля и концентрации ионов серебра 0,05 мг/л. Достаточный бактерицидный эффект достигался и при содержании серебра 0,01 мг/л [83, 86]. Температура раствора повышалась при этом не более чем на 2°C, что исключало образование зон перегрева.

Указанный метод обработки эффективен и при инактивации энтеровирусов.

На процесс обеззараживания воды серебром и током влияет не только напряженность поля, но и скорость про-

тока воды, ее солевой состав, температура, pH, а также видовой состав находящихся в ней микроорганизмов. Однако влияние последних факторов выражено значительно меньше, чем в случае обеззараживания воды одним серебром. Так, если серебро оказывает незначительное действие на споровые культуры даже в концентрации 0,5 мг/л, то наложение поля позволяет производить полное обеззараживание воды дозой серебра 0,05—0,1 мг/л при наличии в ней 10^5 особ/л *Bacillus subtilis*.

Проведенные исследования [60, 125] показали взаимосвязь между жизнедеятельностью бактерий и изменением их биоэлектрических характеристик в процессе обеззараживания воды дезинфектантами в постоянном электрическом поле. Это позволяет предположить, что интенсификация антимикробного действия химических веществ в поле связана с увеличением проницаемости бактериальных мембран, в результате чего облегчается доступ ионов дезинфектантов к активным белковым центрам клетки.

Воздействие постоянного электрического поля на микроорганизмы носит двоякий характер. С одной стороны, усиление обеззараживающего эффекта химических веществ может происходить вследствие образования бактерицидных продуктов электролиза. С другой — само по себе постоянное электрическое поле непосредственно влияет на бактерии, делая их более уязвимыми для антимикробных веществ. Такой характер действия электрического поля позволяет применять его для интенсификации химического обеззараживания воды различного солевого состава.

Представляет также интерес использование ионов серебра в адсорбированном состоянии. Исследования, выполненные З. П. Пак с соавторами [113], показали, что тканевые фильтры, содержащие серебро, обеспечивали полное стерилизующее действие и длительный бактерицидный эффект при концентрации серебра в фильтрате от 0,05—0,08 мг/л и экспозиции 3 часа.

В настоящее время одной из важных задач, стоящих перед медициной, являются поиски эффективных средств борьбы с вирусами, некоторыми грамотрицательными бактериями, такими как протей, синегнойная палочка. Особое значение имеет изыскание универсальных средств и режимов, способных подавлять антибиотикоустойчивые формы микробов, в частности стафилококки, дизентерийные и туберкулезные бактерии.

В этом отношении, как показали описанные нами исследования, серебро обладает несравненным преимуществом перед всеми антимикробными средствами,

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТ СТЕРИЛИЗАЦИИ И КОНСЕРВИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ СЕРЕБРА

Антимикробная эффективность серебряной воды, как и большинства антимикробных агентов, в том числе антибиотиков, в значительной степени зависит от физико-химических условий среды. Исследования, проведенные В. М. Саввиной, О. И. Бершовой и Е. Л. Соловьевой с участием автора [71, 74, 79], показали, что на антимикробную активность серебра оказывают влияние: концентрация его в растворе, время контакта, присутствие в воде органических и минеральных веществ, температура, pH среды и т. д.

Зависимость антимикробного эффекта серебра от его концентрации была освещена в предыдущей главе. Здесь мы будем говорить о влиянии ряда физико-химических факторов на бактерицидный эффект серебра. Как показали наши исследования, повышение температуры в пределах жизнедеятельности бактерий ослабляет их резистентность к серебру (рис. 8). Эти данные вполне согласуются с теорией механизма действия серебра на ферментные системы бактерий, так как активность ферментов при повышении температуры -снижается и они легче инактивируются различными ингибиторами.

Интересные данные получены нами при изучении влияния pH на антимикробную активность серебра. Оказалось, что она выше в щелочной среде. Так, при pH 8 и 9 в контроле отмечался значительный рост *Escherichia coli*, а в опытных пробах при тех же значениях pH и концентрации серебра 0,2 мг/л после 30 мин контакта микробы не были обнаружены. В кислой среде серебро оказывает значительно меньшее бактерицидное действие на кишечную палочку, чем в контроле (рис. 9).

Вурман и Цобрист [224] также указывают, что повышение температуры воды на 10 °С сокращает время отмирания бактерий в 1,6 раза, а понижение pH на единицу удлиняет время их отмирания в 1,6 раза. Увеличение содержания в воде ионов кальция на каждые 10 мг/л удлиняет время, в течение которого отмирает 99,9% бактерий, на 3 мин. По данным этих же исследователей, добавление 10 мг/л хлоридов к дистиллированной воде, содержащей

0,06 мг/л серебра, увеличивает время отмирания бактерий на 25%.

Для надежной дезинфекции питьевой воды серебром необходимо экспериментально подобрать его дозы и продолжительность контакта с обеззараживаемой водой. При этом следует учитывать влияние минерального состава воды (табл. 7 и 8), особенно при наличии ионов, переводящих серебро в малорастворимые соединения.

Из всех солей, которые в образуют нерастворимые соединения, в природных водах распространены лишь хлориды и сульфаты; сульфиды и фосфаты встречаются очень редко. При больших количествах ионов хлора в воде лишь самая незначительная часть серебра остается в виде свободных ионов; естественно, что скорость обеззараживания снижается. Причем это снижение не пропорционально уменьшению концентрации ионов серебра. Возможно, при избытке хлорида серебра дезинфицирующее действие этого соединения проявляется благодаря тому, что оно является резервом, пополняющим убыль ионов серебра в растворе. При электролизе в присутствии большого количества хлоридов положительную

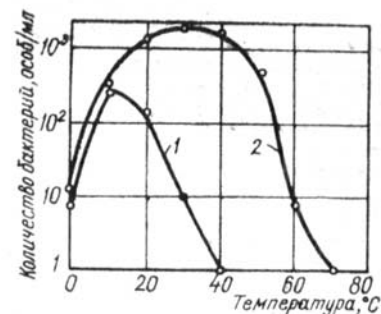


Рис. 8. Влияние температуры на обеззараживающий эффект серебра:

1 — доза серебра 0,2 мг/л; 2 — контроль. Время контакта 30 мин. Исходное заражение — 10⁴ особ./мл *Escherichia coli*.

роль играет также образование коллоидных соединений серебра и гипохлорита (табл. 9).

Приведенные Л. Ф. Шапиной [155] результаты исследования по обеззараживанию минеральных вод показали, что сульфаты и хлориды несколько ослабляют действие ионов серебра на бактерии при небольшом времени контакта. При более длительной экспозиции тормозящее влияние этих солей на бактерицидный

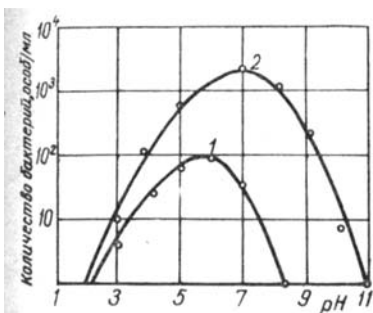


Рис. 9. Влияние pH на обеззараживающий эффект серебра:

1 — доза серебра 0,2 мг/л; 2 — контроль. Время контакта 30 мин. Исходное заражение 10⁴ особ./мл *Escherichia coli*.

Таблица 7. Влияние катионов, входящих в минеральный состав

Концентрация H^+ , мг/л	Количество бактерий в 1 мл, выживших после действия 0,1 мг/л серебра* через				Концентрация Fe^{2+} , мг/л
	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин	
0,025	1655	15		0	Следы 1,5 15,0 (без Ag^+)
0,8	2177	49	4	0	
8,0	1390	64	1 2	0 1,5	
				15,0	(без Ag^+)

* Начальное количество бактерий в 1 мл воды составляло 21 360.

эффект становится несущественным. Так, при добавлении в минеральную воду серебра внесенная в нее кишечная палочка полностью погибала через 12—24 часа независимо от состава и степени минерализации воды. Эти опыты подтвердили ранее полученные нами данные.

Хлопья и муть различного происхождения в природной воде уменьшают эффективность обеззараживания ее серебром, поскольку последнее задерживается на поверхности взвеси. На процесс обеззараживания воды серебром отрицательно действуют и высокомолекулярные органические соединения, обуславливающие цветность воды, так как они сорбируют ионы серебра. Поэтому при высокой мутности и цветности воду перед обработкой серебром необходимо подвергать коагулированию и фильтрованию. Влияние других веществ, обычно содержащихся в питьевой воде,

Таблица 8. Влияние анионов, входящих в минеральный состав

Концентрация Cl^- , мг/л	Количество бактерий в 1 мл, выживших после действия 0,1 мг/л серебра* через					Концентрация SO_4^{2-}
	15 мин	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин	
2	300	3	0	0	0	1,5
6	1260	23	1—4	0	0	25
20	2410	220	4	0	0	250
60	5075	2810	178	10	0	—

* Начальное количество бактерий в 1 мл воды составляло 17 500.

воды, на бактерицидное действие электролитических растворов серебра

Количество бактерий в 1 мл, выживших после действия 0,1 мг/л серебра** через			Концентрация Fe ³⁺ , мг/л	Количество бактерий в 1 мл, выживших после действия 0,1 мг/л серебра*** через			
15 мин	30 мин	60 мин		15 мин	30 мин	60 мин	90 мин
852	13	0	Следы 1,2 11,12 1,12 (без Ag ⁺)	390	37	10	0
5740	2780	1670		2030	40	20	0
11170	10950	3860		2200	115	9	0
—	14500	13500					
19000	19000	11500		11,12 (без Ag ⁺)	Равно введенному количеству бактерий		

** Начальное количество бактерий в 1 мл воды составляло 20 000.

*** Начальное количество бактерий в 1 мл воды составляло 24 300.

на действие серебра невелико, и поэтому практического значения не имеет.

Один из наиболее важных физико-химических факторов, определяющих наличие металла в системе, — его взаимодействие с другими компонентами среды. Связывание металла органическими материалами, осаждение, комплексообразование, ионное взаимодействие — все это может привести к уменьшению его концентрации в среде и к снижению ожидаемого токсического эффекта [213, 215].

Имеющиеся в литературе разногласия при оценке степени антимикробного действия серебра можно объяснить тем, что экспериментаторы, применяя различные методы, не уделяли должного внимания физико-химическим особенностям и составу используемой воды [40]. Последнее легко устраняется, если при изучении антимикробных свойств

воды, на бактерицидное действие электролитических растворов серебра

Количество бактерий в 1 мл, выживших после действия 0,1 мг/л серебра** через			Концентрация S ²⁻ , мг/л	Количество бактерий в 1 мл, выживших после действия 0,1 мг/л серебра*** через		
30 мин	60 мин	120 мин		15 мин	30 мин	60 мин
230	0	0	—	785	103	0
94	0—1	0	0,01	1045	210	0
253	0	0	0,05	1241	122	0
—	—	0	0,15	880	40	0
			0,30	30	1	0

** Начальное количество бактерий в 1 мл воды составляло 20 250.

*** Начальное количество бактерий в 1 мл воды составляло 16 500.

Таблица 9. Влияние хлоридов на консервирующий эффект серебра в отношении *Escherichia coli*

Вода	Доза серебра, мг/л	Исходное заражение, особ/л	Коли-индекс после действия серебра на протяжении		
			2 ч	24 ч	недели
Водопроводная	0,1	10 ⁶	0	0	0
	0,5	10 ⁶	0	0	0
	Контроль	10 ⁶	15 ⁵	10 ⁴	10 ⁴
Водопроводная с добавлением 350 мг/л хлор-ионов	0,1	10 ⁶	30	18	0
	0,5	10 ⁶	12	0	0
	Контроль	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵

серебра применять более совершенные методы исследования. В связи с тем, что показатели качества питьевой воды в соответствии с ГОСТом 2874-73 могут изменяться в довольно широких пределах, а ряд показателей не нормирован, нам приходилось с целью имитации питьевых вод различного качества вводить в водопроводную воду солевые добавки (NaCl, NaHCO₃, FeCl₃, FeSO₄, Na₂S), а также почвенную вытяжку, гидроокись алюминия и каолиновую суспензию (размер частиц 2—4 мкм).

По солевому составу пробы делились на четыре основные группы с общим содержанием 220, 285, 500 и 1000 мг/л. В том числе содержание хлор-ионов составляло 20, 60, 120 и 350 мг/л, бикарбонат-ионов — 120, 130 мг/л, Содержание сульфат-ионов (30 мг/л) не изменяли, поскольку в такой концентрации последние не оказывают заметного влияния на антимикробный эффект серебра.

По содержанию органических и взвешенных веществ; были взяты две группы проб воды: высокого качества (мутность 0,2 мг/л, цветность 6 град.) и пониженного качества (мутность 3,2 мг/л, цветность 30 град.).

Бактериологический анализ производился через каждые сутки, неделю, месяц. Полученные данные приведены в табл. 10 и 11. Они свидетельствуют о том, что на антимикробном эффекте серебра влияние хлоридов, общего солевого содержания, мутности и цветности воды сказывалось только в течение первой недели от начала опыта. Уже через месяц серебро в концентрации 0,1 мг/л и выше во всех пробах полностью угнетало рост *Escherichia coli*, тогда как в контроле на протяжении 12 месяцев наблюдений отмечался их интенсивный рост [67].

Таблица 10. Консервирующий эффект серебра (0,1 мг/л) в отношении *Escherichia coli*

Вода	Солевой состав воды, мг/л	Исходное заражение, особ./л	Количество в 333 мл воды колоний, выживших после действия серебра на протяжении				
			суток	недели	месяца	2 месяцев	6 месяцев
Высокого качества (мутность 0,2 мг/л, цветность 6 град.)	Cl-20	$3 \cdot 10^3$	0	0	0	0	0
	Σ-200	$5 \cdot 10^6$	2	0	0	0	0
	Cl-60	$3 \cdot 10^3$	0	0	0	0	0
	Σ-285	$5 \cdot 10^6$	10	0	0	0	0
	Cl-120	$3 \cdot 10^3$	0	0	0	0	0
	Σ-500	$5 \cdot 10^6$	12	0	0	0	0
	Cl-350	$3 \cdot 10^3$	0	0	0	0	0
	Σ-1000	$5 \cdot 10^6$	20	0	0	0	0
	Контроль	$3 \cdot 10^3$	300	200	20	30	3
	Cl-60						
Низкого качества (мутность 3,2 мг/л, цветность 30 град.)	Σ-285	$5 \cdot 10^6$	970	500	30	20	10
	Cl-20	$5 \cdot 10^3$	600	13	0	0	0
	Σ-220	$5 \cdot 10^6$	600	13	0	0	0
	Cl-60						
	Σ-285	$5 \cdot 10^6$	800	0	0	0	0
	Cl-120						
	Σ-500	$5 \cdot 10^6$	800	0	0	0	0
	Cl-350						
	Σ-1000	$5 \cdot 10^6$	1000	20	0	0	0
	Контроль						
Cl-120	$5 \cdot 10^3$	10^5	10^3	10^4	10^4	10^4	
Σ-500							

Примечание. Здесь и в табл. 12 Cl — содержание хлор-ионов, мг/л; Σ — общее солесодержание, мг/л.

В опыте, поставленном на чистых культурах и на их ассоциациях, было выяснено влияние на антимикробный эффект серебра не только хлоридов и веществ, обуславливающих мутность и цветность, но и таких соединений, как сероводород и соли двухвалентного железа. Оказалось, что сероводород в концентрации 1 мг/л резко снижает действие серебра на микроорганизмы, хотя спустя месяц вновь наблюдался некоторый антимикробный эффект серебра при его концентрации 0,1 мг/л. Следовательно, наличие в консервируемой воде сероводорода недопустимо. Такое же отрицательное действие оказывает и двухвалентное железо (см. табл. 11).

На протяжении года нами производился контроль за изменением концентрации серебра в воде, сохраняемой в стеклянных емкостях (табл. 12). Из-за адсорбции серебра поверхностью стекла, а также перехода его в неактивное,

Таблица 11. Влияние хлоридов, железа и веществ, обуславливающих

Вода	Количество бактерий,		
	суток		неде
	Escherichia coli	Bacillus subtilis	Escherichia coli
Высокого качества (мутность 0,6 мг/л) с 0,1 мг/л Ag ⁺	2	14	3
Высокого качества (без Ag ⁺)	10 ³	10 ³	10 ³
С 350 мг/л Cl и 0,1 мг/л Ag ⁺	6	208	7
С 350 мг/л Cl (без Ag ⁺)	10 ³	10 ³	10 ³
С 1 мг/л Fe и 0,1 мг/л Ag ⁺	3	224	9
С 1 мг/л Fe (без Ag ⁺)	10 ³	10 ³	10 ³
С 1 мг/л H ₂ S и 0,1 мг/л Ag ⁺	84	304	18
С 1 мг/л H ₂ S (без Ag ⁺)	10 ³	10 ³	10 ³
Низкого качества (мутность 3,2 мг/л, цветность 30 град.) с 0,1 мг/л Ag ⁺	2	176	6
Низкого качества (мутность 3,2 мг/л, цветность 30 град.) без Ag ⁺	10 ³	10 ³	10 ³

Примечание. Указано количество Escherichia coli в 1 л, Bacillus

Таблица 12. Снижение концентрации серебра в зависимости от сроков хранения и качества воды

Вода	Условия опыта		Определение Ag ⁺ (мг/л) в течение				
	Солевой состав воды, мг/л	Исходная концентрация серебра, мг/л	7 сут	30 сут	60 сут	180 сут	Остаточное серебро, % от введенного (через 180 сут)
Высокого качества (мутность 0,2; цветность 6 град; запах, привкус 1 балл)	Cl-20	0,1	0,08	0,068	0,049	0,035	35
	Σ-220	0,5	0,42	0,367	0,3	0,27	54
	Cl-60	0,1	0,06	—	0,032	0,014	14
	Σ-285	0,5	0,37	—	0,285	0,21	42
	Cl-120	0,1	0,051	—	0,031	0,026	26
	Σ-500	0,5	0,32	—	0,29	0,23	45
	Cl-350	0,1	0,049	—	0,041	0,016	16
		0,2	0,1	0,09	0,08	0,054	27
Пониженного качества (мутность 3,0 мг/л; цветность 30 град; запах, привкус 3 балла)	Σ-1000	0,5	0,29	0,25	0,24	0,166	33
	Cl-20	0,1	0,1	0,051	0,047	0,029	29
	Σ-220	0,5	0,375	0,37	0,3	0,29	58
	Cl-60	0,1	0,06	—	0,034	0,019	19
	Σ-285	0,5	0,325	—	0,25	0,24	48
	Cl-120	0,1	0,044	—	0,034	0,026	26
	Σ-500	0,5	0,285	—	0,275	0,22	44
	Cl-350	0,1	0,053	—	0,035	0,021	21
	0,2	0,11	0,12	0,10	0,07	35	
	Σ-1000	0,5	0,285	0,25	0,243	0,19	38

мутность и цветность, на антимикробный эффект серебра

выживших после контакта с серебром в течение

ли	месяца		6 месяцев	
	Bacillus subtilis	Escherichia coli	Bacillus subtilis	Escherichia coli
102	0	35	0	2
10 ³	5 · 10 ³	10 ²	10 ²	50
88	1	168	0	19
10 ³	5 · 10 ²	10 ²	5 · 10 ²	75
128	1	168	0	23
10 ³	5 · 10 ²	10 ²	10 ²	80
124	6	22	2	27
10 ³	10 ²	10 ²	10 ²	90
128	0	180	0	17
10 ³	5 · 10 ²	10 ²	10 ²	98

subtilis в 1 мл.

Таблица 13. Показатели коли-титра и бактерицидности воды, обработанной серебром, на 152-й день хранения

Начальная доза серебра, мг/л	Содержание серебра в воде в момент заражения, мг/л	Коли-титр		
		до заражения	непосредственно после заражения	через 2 ч после заражения
0,5	0,09	>333	1,70	>333
0,5	0,15	>333	0,38	>333
0,5	0,16	>333	0,66	>333
1,0	0,20	>333	2,00	>333
0,0	0,0	1,70	0,26	0,38

Примечание: Заражение всех проб производилось на 152-й день хранения 10 мл эмульсии бактерий *Escherichia coli*, содержащей до 1000 особ/мл.

связанное состояние концентрация его за время опыта снижалась. Так, при исходной дозе серебра 0,1 мг/л его концентрация через 6 месяцев составляла 0,015—0,03 мг/л, при 0,2 мг/л концентрация уменьшилась до 0,05—0,07 мг/л. и при дозе 0,5 мг/л — до 0,015—0,25 мг/л. Таким образом, судя по этим данным, наиболее подходящими дозами для консервирования воды на срок 6 месяцев и более являются дозы 0,1—0,2 мг/л. При консервировании дозой 0,1 мг/л через 2 месяца необходимо дополнительно насыщать воду

Таблица 14. Физико-химические свойства консервированной

Показатель	Начало эксперимента при концентрации Ag^+ , мг/г		
	0,1	0,2	0,5
Запах, баллы	0	0	0
Вкус			Свежая
Прозрачность, см	25	25	25
Цветность, град.	10	10	10
pH	7,0	7,0	7,0
Щелочность, мг-экв/л	2,2	2,1	2,2
Жесткость общая, мг-экв/л	2,5	2,4	2,6
Кальций, мг-экв/л	1,8	1,7	1,98
Азот аммиака, мг/л	0,5	0,5	0,45
Азот нитратов, мг/л	0,015	0,011	0,01
Азот нитритов, мг/л	0,4	0,4	0,4
Хлориды, мг/л	10,65	10,60	10,60
Фосфаты, мг/л	0,014	0,015	0,012
Магний, мг-экв/л	0,5	0,6	0,6
Общая микробная обсемененность	0	0	0

серебром до этой величины. В случае обработки воды повышенными концентрациями серебра (0,5—1 мг/л) остаточные его количества обеспечивают надежный обеззараживающий и консервирующий эффект на протяжении года и более. Такая вода при повторном бактериальном загрязнении уже через 2 ч снова полностью обеззараживается содержащимся в ней остаточным серебром (табл. 13). При этом сохраняются все ее физико-химические показатели соответственно ГОСТу.

Все же при длительном хранении для обеспечения высоких санитарно-гигиенических показателей питьевой воды необходимо содержать ее в таких емкостях, на стенках которых адсорбировалось бы возможно меньшее количество серебра. Установлено, что емкости, выполненные из металлов, стоящих в ряду напряжений левее серебра, из стали, алюминия, оцинкованного железа и др., непригодны для долговременного хранения питьевой воды, содержащей серебро, так как при этом последнее восстанавливается до металлического, и его бактерицидное действие почти полностью прекращается. Кроме того, активизируется электрохимическая коррозия материала емкости.

В результате проведенных экспериментов было выяснено, что емкости, покрытые силикатным или органическим стеклом, высококачественной цементной штукатуркой или

серебром воды в процессе хранения

После 1 года хранения при концентрации Ag ⁺ , мг/л			После 3,5 лет хранения при концентрации Ag ⁺ , мг/л		
0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5
0	0	0	0	0	0
питьевая вода					
>25 10	>25 10	>25 10	>25 10	>25 10	>25 10
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
2,1	2,3	2,2	2,2	2,1	2,2
2,4	2,6	2,5	2,52	2,5	2,4
1,8	1,8	1,8	1,5	2,0	1,8
0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
0,012	0,014	0,016	0,17	0,2	0,11
0,35	0,4	0,4	0,4	0,25	0,5
10,5	10,5	10,6	11,3	11,3	12,5
0,011	0,012	0,014	0,017	0,03	0,02
0,5	0,4	0,3	0,6	0,3	0,5
0	0	0	30	0	0

стойкими силикатными эмалями, вполне пригодны для хранения питьевой воды, содержащей ионы серебра. По истечению 6 и 12 месяцев вода в этих емкостях удовлетворяла требованиям государственного стандарта (рис. 10).

Одновременно с нашими исследованиями в Институте медико-биологических проблем МЗ СССР проводились опыты по продолжительному хранению питьевой воды, обработанной серебром, в стеклянной и полиэтиленовой таре. Эксперимент длился 3,5 года; при этом, учитывая возможность вторичного загрязнения воды, через определенные промежутки времени проводилось искусственное заражение проб культурой *Escherichia coli* в количестве 10 000 особ./мл. Полученные данные приведены в табл. 14. В продолжение всего эксперимента консервирования серебром сырая водопроводная вода не изменяла своих органолептических и физико-химических свойств. Ослабление бактерицидных свойств серебра при хранении воды в течение 3,5 лет, как правило, происходило лишь в тех случаях, когда одновременно уменьшалась концентрация ионного серебра в растворе. Было установлено, что полиэтиленовая тара несколько снижает санитарно-гигиенические показатели воды: ухудшается ее вкус и усиливается запах до 2 баллов, ухудшаются органолептические свойства, повышается окисляемость (от 4,92 до 7,46 мг/л O₂). Следова-

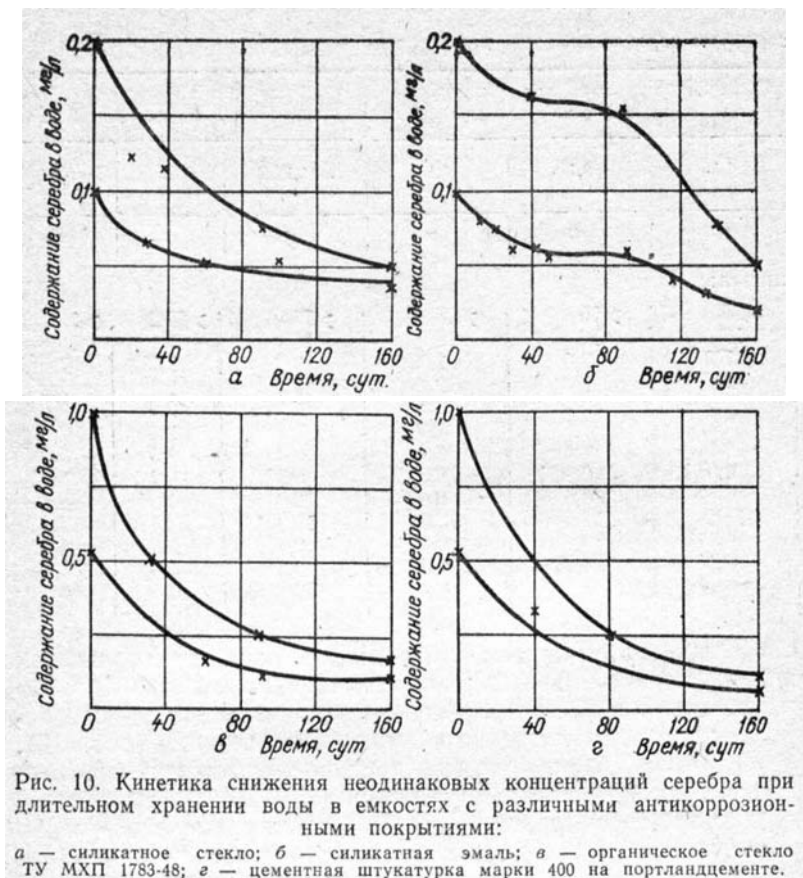


Рис. 10. Кинетика снижения неодинаковых концентраций серебра при длительном хранении воды в емкостях с различными антикоррозионными покрытиями:

а — силикатное стекло; б — силикатная эмаль; в — органическое стекло ТУ МХП 1783-48; г — цементная штукатурка марки 400 на портландцементе.

тельно, такая тара может быть использована только в крайнем случае [152, 153].

В наших исследованиях при повторном многократном инфицировании воды патогенным штаммом *E. coli* 0—124 пробы стерильной водопроводной воды, содержащей серебро в концентрациях 0,1 и 0,2 мг/л, разливали в колбы и сохраняли в течение трех недель при комнатной температуре, ежедневно добавляя в воду взвесь суточных бактерий *E. coli* 0—124 в количестве 10^5 — 10^7 клеток на 1 л.

На 5-й, 7-й, 8-й, 11-й и 15-й день воду инфицировали два раза в сутки, а на 9-й, 14-й, 19-й, 20-й и 21-й день — три раза, с интервалом два часа. Посев производили через 30, 40, 60, 120 мин и через 24 часа после каждого инфицирования. Результаты бактериологического исследования этих проб воды через 30 и 60 мин представлены в табл. 15 [108].

Таблица 15. Микробное число серебряной воды после многократного инфицирования ее кишечной палочкой *E. coli* O-124

Продолжительность опыта, сутки	Количество внесенных клеток на 1 л воды	Концентрация серебра, мг/л			
		0,1		0,2	
		Количество выживших микробов (кл/мл) через			
		30 мин	60 мин	30 мин	60 мин
1	10^5	0	0	0	0
2	10^5	0	0	0	0
3	10^5	0	0	0	0
4	10^5	0	0	0	0
5	10^5	17	0	0	0
	10^5	0	0	0	0
7	10^7	25	0	5	0
	10^7	44	0	10	0
8	10^7	4	0	1	0
	10^7	0	0	0	0
9	10^7	26	5	15	0
	10^5	31	3	4	0
11	10^7	47	0	11	0
	$2 \cdot 10^7$	109	0	69	0
14	$2 \cdot 10^5$	200	3	106	0
	10^5	40	0	3	0
15	10^7	72	3	3	0
	10^7	30	8	2	0
19	$2 \cdot 10^7$	90	0	66	2
	$2 \cdot 10^7$	160	0	9	0
20	$2 \cdot 10^7$	768	51	456	18
	$2 \cdot 10^7$	276	17	116	22
21	$2 \cdot 10^7$	656	5	102	2
	$2 \cdot 10^7$	997	41	912	32
21	$2 \cdot 10^7$	114	19	114	7
	$2 \cdot 10^7$	240	0	0	0
21	10^5	216	164	8	1
	10^5	352	96	16	3
	10^5	332	216	6	0

Примечание. В контроле во всех опытах большое количество микроорганизмов (10^8 — $2 \cdot 10^7$ клеток на 1 л).

Таким образом, проведенные исследования показывают, что электролитический раствор серебра по своему эффекту последствия во много раз превосходит все другие средства, используемые при обеззараживании воды и может быть применен в качестве консервирующего воду средства на любые отрезки времени от нескольких недель до нескольких лет*.

I * При концентрациях 1—2 мг/л последствие хлораминов сохраняется на протяжении 6—8 дней, гипохлоритов — на протяжении 2—3 дней, хлора — 4—6 ч, озона — 25—40 мин. Безреагентные методы (кипячение, облучение ультрафиолетовыми лучами и др.) последствия не имеют,

ДЕЙСТВИЕ СЕРЕБРА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Поскольку серебро обладает хорошими свойствами дезинфектанта и является одним из лучших средств обеззараживания питьевой воды, большой интерес представляло всестороннее изучение его влияния на организм человека.

В последние годы в печати появились работы, в которых приводятся сведения о содержании серебра в органах и тканях человека в норме [183] и при различных заболеваниях: туберкулезе [44], инфаркте миокарда [134], эпилепсии [130], раке [43, 131]. Наблюдаемые при этих заболеваниях изменения содержания серебра в крови и некоторых органах, по-видимому, связаны с перераспределением микроэлементов в организме человека в ответ на патологические изменения.

Напомним, что препараты серебра широко применялись в лечебных целях еще в 20-х годах XX в. Литература этого периода свидетельствует о том, что соли серебра и его препараты в небольших концентрациях токсическими свойствами не обладают. Более того, некоторые исследователи заметили, что в малых дозах серебро оказывает «омолаживающее» действие на кровь и благотворно влияет на ход физиологических процессов в организме [13, 119, 157, 93, 140, 144].

По данным А. В. Щербины [157], изучавшей изменения морфологии крови больных, лечившихся нитратом серебра, отмечалась стимуляция кроветворных органов, что проявлялось в исчезновении молодых форм нейтрофилов и появлении эозинофилов. Процентное соотношение элементов белой крови приходило в норму благодаря увеличению числа лимфоцитов и моноцитов. Наряду с этим наблюдалось увеличение числа эритроцитов и процента гемоглобина, а также замедление реакции оседания эритроцитов. После однократного введения больших доз серебра собакам и кроликам подкожно, внутримышечно или внутривенно возникает реакция со стороны лейкоцитов.

П. К. Родзевич [121] на большом экспериментальном материале изучил воздействие серебра на кровь, а также

показал особенности его влияния при различных способах введения препаратов серебра в организм. Суммируя полученные данные, он пришел к выводу, что неодинаковая реакция организма на серебро, введенное разными способами, связана с тем, что при втираниях и подкожных введениях серебро фиксируется кожей и клетчаткой, а при внутривенном введении оно довольно быстро удаляется из организма.

Интерес представляет теория П. А. Ермолаева [41], согласно которой целесообразно применять аммиачное серебро, поскольку в таком виде оно может свободно циркулировать в крови, губительно действуя на микроорганизмы. Эта теория нашла экспериментальное подтверждение в работах М. Н. Харитоновой [142] и других исследователей. Максимальная доза для аммаргена Ермолаева (аммиачное серебро) составляет около 1 мг/кг живого веса при внутривенном введении и хорошо переносится даже при длительном применении.

Полную безвредность невысоких доз серебра установил также Н. П. Кравков [58] в опытах на животных. Так, у крыс, больше года получавших с пищей ежедневно по 5—6 мг AgNCb , не проявлялось никаких функциональных расстройств и в почках не было обнаружено даже следов нефрита.

Н. П. Кравков [58], М. Н. Харитонов [142], В. И. Скворцов [128] и другие при изучении влияния препаратов серебра на организм отмечали его очень низкую всасываемость.

В. И. Скворцов в руководстве по фармакологии пишет: «При введении небольших доз серебра в желудок при по-I верхностном действии на слизистую оболочку желудка и образовании в содержимом желудка хлористого серебра и серебряного альбумината более или менее серьезных последствий не получается... Всасывание серебра в организм несомненно происходит, но медленно, понемногу и никаким общим действием не выражается» [128]. Так, радиоактивное серебро Ag^{111} почти все остается на месте введения и не распределяется по клетчатке. Лишь незначительная часть его может быть обнаружена вдали от места введения [53].

И. Т. Цилюрик [149] изучал на белых мышах проникновение радиоактивного серебра через кожу и раневую поверхность. Он установил, что через раневую поверхность в организм проникает до 48% нанесенного серебра (это в 8 раз превышает проникновение через неповрежденную кожу). Так как изотопы других металлов проникают го-

раздо лучше, чем радиоактивное серебро, можно заключить, что серебро проникает через кожу незначительно.

Из побочных явлений, возникающих при применении больших количеств серебра в лечебных целях, а также при работе с соединениями серебра в производственных условиях, следует отметить аргирию: отложение сульфида серебра в коже, слизистых оболочках, стенках капилляров, костном мозгу, селезенке.

Большое влияние на развитие аргирии оказывают индивидуальная предрасположенность организма к серебру, качественные и количественные показатели иммунитета и другие факторы. Косвенным доказательством этого может служить тот факт, что дозы, которые приводят к аргирии, различны. В литературе имеются указания на то, что у некоторых людей даже при приеме больших доз серебра аргирия не возникает.

Может ли употребление воды, обеззараженной серебром, привести к аргирии? На этот вопрос исследователи отвечают отрицательно.

По данным Вудварда [222] и других многочисленных исследователей, дозы серебра, применяемые для обеззараживания и консервирования воды (0,05—0,2 мг/л), исключают возможность аргирии.

В СССР, США и многих других странах природные воды содержат большее количество серебра, но их употребление не приводит к аргирии или другим отрицательным реакциям человеческого организма.

Исследования, проведенные А. А. Масленко [99], показали, что питьевая вода, содержащая 0,05 мг/л серебра (на уровне ПДК), при поступлении $per\ os$ не вызывает отклонений от нормы функции органов пищеварения; не было обнаружено изменений со стороны активности некоторых трансаминаз и сульфогидрильных групп в сыворотке крови.

Расчет показывает, что если человек ежедневно будет выпивать 1 л серебряной воды при концентрации серебра 0,1 мг/л, то к 70-летнему возрасту он получит 2550 мг, то есть 2,5 г серебра. Значительно большее количество этого металла попадает в организм при пользовании в быту серебряной посудой.

Если воду, содержащую ионы серебра, прокипятить, серебро восстанавливается и переходит в физиологически неактивные формы.

Большой интерес представляет углубленное изучение влияния электролитического серебра на живой организм. Из исследований последних лет следует отметить опубликованную в 1964 г. работу Д. И. Лазаренко с соавторами

[93], посвященную изучению токсического действия серебряной воды на организм теплокровных животных (крыс) при длительном ее употреблении (в течение 6 месяцев). Концентрация серебра в воде составляла 1—4 мг/л, то есть была в 20—80 раз больше рекомендованной для обеззараживания питьевой воды. Патоморфологические исследования на животных показали, что никаких изменений во внутренних органах не происходит, хотя в отдельных случаях после введения Ag-ионов отмечалось некоторое увеличение количества лейкоцитов.

В Институте медико-биологических проблем МЗ СССР, выполнен ряд работ по изучению действия электролитических растворов серебра на организм человека [93]. Опыты показали, что употребление человеком в течение 15 суток воды, обработанной серебром в дозе 0,1 мг/л, не вызывает патологических сдвигов в состоянии органов и систем, наиболее подверженных воздействию серебра. В опытах на белых крысах установлено, что ионное серебро в дозах, в 10 и более раз превышающих минимальную бактерицидную (0,1 мг/л), также не оказывает токсического влияния.]

Учитывая инактивирующее действие тяжелых металлов, в частности серебра, на тиоферменты, следует рассматривать определение активности сульфгидрильных групп в крови и тканях животных как наиболее надежный тест для токсикологической оценки серебра. Активность БН-групп в сыворотке крови белых крыс была изучена З. П. Пак и В. П. Петинной [112]. Как видно из табл. 16, угнетение сульфгидрильных групп отмечено только для дозы 50 мг/л на четвертый месяц интоксикации. Следовательно, серебро в концентрациях, применяемых для обеззараживания воды, не может оказать какого-либо отрицательного воздействия на живой организм.

Патогистологические исследования подопытных животных, которые получали с питьевой водой серебро в дозах 20—50 мг/л, показали, что при длительном введении в организм ионного серебра происходит его накопление в тканях организма. Однако отложение серебра в тканях не сопровождалось деструктивными изменениями во внутренних органах [110].

Названные дозы серебра в сотни раз превышают дозу, обеспечивающую надежный консервирующий эффект, — 0,1—0,2 мг/л. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о полной безвредности доз 0,1—0,2 мг/л и возможности широкого использования их в практике обработки питьевой воды.

Таблица 16. Содержание SH-групп в сыворотке крови белых крыс и азотнокислого серебра

Время обследования	Контроль	0,1 мг/л	
		Ag ⁺ *	AgNO ₃
Фон	60,1±1,23	58,6±1,24	60,6±3,00
1 месяц	59,3±1,2	61,3±1,33	60,8±0,08
2 месяца	60,0±1,66	59,2±1,95	60,0±1,79
3 "	57,0±1,0	64,0±2,19	63,0±2,52
4 "	50,0±3,4	—	—
6 месяцев	50,0±3,4	—	—

* полученные растворением серебряного анода.

По нашему мнению, методологические основы для изучения влияния серебра на живой организм следует искать в науке о микроэлементах.

Уже теперь с помощью специальных особо чувствительных методов удалось определить в составе живых организмов свыше 60 химических элементов, среди них серебро.

Работами академика АН УССР П. А. Власкжа [16] показано, что серебро избирательно накапливается в больших количествах некоторыми растениями (огурцы, капуста). С помощью спектрального анализа оно обнаружено у морских животных, шелковичного червя, в яичном желтке (0,2 мг на 100 г сухой массы) и т. д. Большое количество серебра содержится в мозге, железах внутренней секреции, печени, почках, костях человека. По данным А. И. Войнара [17], в суточном рационе человека в среднем должно содержаться 0,088 мг Ag-ионов. Основное количество серебра выводится из организма с калом (0,058 мг); в моче могут быть обнаружены его следы.

Долгое время серебро считали классическим ингибитором ферментных систем. Однако в монографии Л. Уэбба [140] показано, что серебро в зависимости от концентрации может стимулировать или угнетать активность ферментов. Шаппель и Гревиль [172] в опытах на митохондриях, полученных из клеток коры головного мозга кролика, наблюдали значительное (на 200%) усиление дыхания дисперсий мозга при действии 5-10⁻⁶М AgNO₃. Под влиянием серебра скорость освобождения фосфата в результате действия фермента аденозинтрифосфатазы увеличилась в 2—3 раза. Все эти данные свидетельствуют, что серебро ведет себя как микроэлемент,

получавших с питьевой водой различные концентрации электролитического

20 мг/л		50 мг/л	
Ag ⁺	AgNO ₃	Ag ⁺	AgNO ₃
62,0±1,37	62,6±1,31	61,6±1,45	60,8±1,95
59,3±1,25	59,3±0,66	58,6±0,83	60,0±1,45
61,5±1,18	—	61,0±1,0	—
60,0±1,0	59,0±1,0	57,3±1,3	51,2±1,52
44,0±4,2	47,0±2,2	—	—
31,2±2,7	35,3±1,3	—	—

С. П. Боткин [9], А. П. Виноградов [14], а затем, и другие исследователи установили, что биологическая роль микроэлемента зависит от места, занимаемого им в Периодической системе Д. И. Менделеева. Как известно, серебро находится в побочной подгруппе первой группы ниже меди. Последняя, как и серебро, обладает олигодинамическим б действием. Кроме того, установлено, что медь принимает участие в борьбе организма с инфекцией, концентрируясь в очаге последней.

В опытах с радиоактивным серебром многими исследователями установлено, что Ag¹¹¹ концентрируется в основном в клетках ретикуло-эндотелиальной системы (РЭС) в % зоне воспаления, возникшего в результате инфекции или

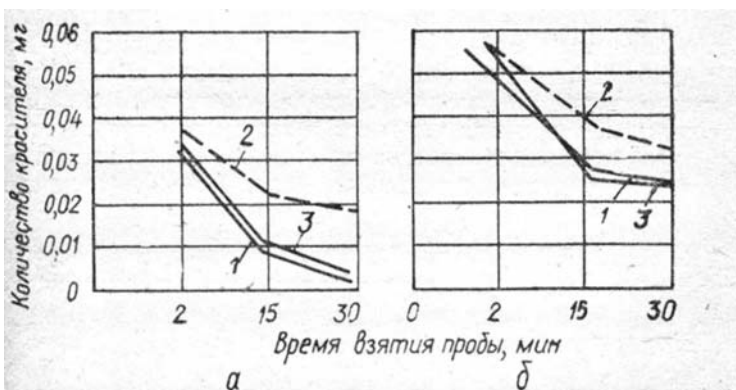


Рис. 11. Поглотительная способность ретикуло-эндотелиальной системы опытных и контрольных крыс на фоне угнетения ее кортизоном (б) и без него (а):

1 — 0,2 мг/л Ag⁺; 2 — 20 мг/л Ag⁺; 3 — контроль.

экспериментально вызванного, и может быть использовано для распознавания и устранения скрытых абсцессов, очагов инфекции и в меньшей мере опухолей [17],

О. С. Савлук осуществила исследования по определению влияния серебра на ретикуло-эндотелиальную систему экспериментальных животных [124], Основная функция РЭС — поглощать, накапливать и активно перерабатывать как посторонние, так и присущие организму вещества (микробы, краски и т. д.). Опыты показали, что даже длительная интоксикация животных серебром не снижает поглощательную функцию ретикуло-эндотелия (рис. 11). Не угнетается также функция РЭС по выработке специфических защитных факторов организма, антител и ингибиторов (рис. 12).

П. Д. Харченко с соавторами [143, 144, 145] провел в Киевском государственном университете ряд исследований, в результате которых установил, что электролитическое серебро в дозах 0,2—0,5 мг/л не нарушает условнорефлекторную деятельность крыс на протяжении 6 месяцев интоксикации. При длительной интоксикации предельная допустимая концентрация Ag^+ , которая не вызывает изменений нервных процессов головного мозга, 0,5—2 мг/л.

Установлено также, что доза 0,5 мг/л способствует повышению общего веса животных. Исследователи пришли к выводу, что длительное употребление воды с малыми концентрациями серебра (0,5 мг/л) не вызывает вредного действия на организм крыс.

С. И. Павленко с сотрудниками [111] установили, что радиоактивное серебро у больных со злокачественными опухолями локализуется в месте введения, обладает тропностью к лимфатической системе, при этом не вызывает изменений в органах и тканях и в результате естественных физиологических процессов выводится из организма.

Исследование ряда больных через 1,5—2 года после ле-

Таблица 17. Результаты общего анализа крови крыс, получавших

Группа крыс	Гемоглобин, %	Количество эритроцитов	Цветной показатель	Количество лейкоцитов
Опытная	105	7 800 000	0,7	9 000—11 000
Контрольная	100	7 540 000	0,7	5 000—7 000

Примечание. В таблице приведены средние данные для групп животных. Коэффициенты свидетельствуют, что этот показатель не выходит за пределы физиологических.



чения радиоактивным серебром показывает, что оно несколько восстанавливает функцию печени [111],

Серебро легко проникает внутрь эритроцитов, где в основном связывается с белками, образуя недиализирующие соединения. 64% общего количества серебра в крови связывается с глобулинами.

Большой интерес представляет изучение влияния серебра на иммунитет организма. Было замечено, что люди с признаками артерии не подвержены инфекционным заболеваниям, даже если попадают в очаг инфекции.

Впервые мысль о влиянии микроэлементов на иммунные реакции организма высказал и экспериментально подтвердил А. И. Венчиков [13]. В частности, он разработал методы лечения некоторых инфекционных и неинфекционных заболеваний препаратами микроэлементов и получил хорошие результаты. Работы Венчикова и его сотрудников развивают учение о физиологических (биотических) дозах микроэлементов, то есть дозах, в которых микроэлементы входят в состав живых организмов и являются для них жизненно, необходимыми.

Ввиду того что биологические системы обычно не насыщены микроэлементами, дополнительное введение биотиче-

течение года воду, содержащую ионы серебра (0,2 мг/л)

Лейкоцитарная формула						
Э	Ю	П	С	Л	М	РОЭ, мм/ч
3	0	5	45	50	4	4
4	0	4	40	44	5	4

взявших из 50 особей каждая (вес крыс 230—300 г). Граничные значения лейкоцитарной нормы для крыс (5 000—11 000).

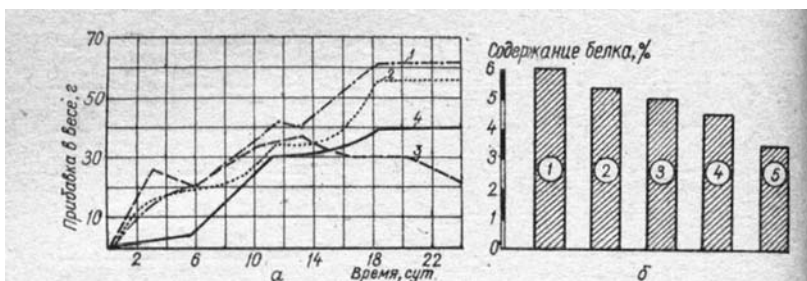


Рис. 13. Сравнение действия различных доз серебра на прибавление веса и содержание белка в сыворотке крови крыс:

а — прибавка в весе при ежедневном введении в желудок 2 мл раствора серебра в концентрациях: 1 — 0,05 мг/л; 2 — 2 мг/л; 3 — 500 мг/л; 4 — 0,0 мг/л (контроль); б — содержание белка в сыворотке крови по Лоури. Ежедневно в течение 40 дней вводили по 2 мл серебра в концентрациях: 1 — 0,05 мг/л; 2 — 3 мг/л; 3 — 0,0 мг/л (контроль); 4 — 1000 мг/л с интервалом в 3 дня; 5 — 1000 мг/л.

ских доз стимулирует определенные физиологические процессы. Для каждого микроэлемента характерны три зоны действия: 1) биотическая, когда микроэлемент оказывает стимулирующее влияние на организм; 2) зона бездействия и 3) зона токсического действия (как правило, при высоких дозах микроэлемента).

В лаборатории вирусологии Киевского государственного университета проводились исследования по выявлению зон биотического действия серебра, определялось его влияние на вес, рост и некоторые иммунологические свойства теплокровных животных [109]. Были изучены различные дозы серебра, в том числе и те, которые применяются для обеззараживания питьевой воды (0,05—0,2 мг/л). Было уста-

Таблица 18. Сравнительные данные количества белка и белковых серебра (0,2 мг/л)

Группа крыс	Общее количество белка	альбумины
		<i>В начале</i>
Опытная	8,2±0,8	3,23±0,12
Контрольная	7,2±0,6	3,2 ±0,2
		<i>Через 2 месяца после</i>
Опытная	8,1±2	3,4 ±2
Контрольная	7,3±1,2	3,4 ±0,9

Примечание. Данные этой таблицы получены в результате статистической

новлено, что дозы серебра 0,05; 0,2 и 1,25 мг/л оказывают благотворное влияние на организм белых крыс (рис. 13, *a*). Крысы, которым содержащую ионы серебра воду вводили в течение 40 дней (с помощью автопоилок либо шприцем в желудок, по 2 Мл ежедневно), прибавляли в весе, скорее росли, общее количество белка крови у них было большим, чем у контрольных (рис. 13, *b*). С помощью спектрального анализа в печени подопытных животных было обнаружено 0,02 мг серебра на 100 г сухой массы, что соответствует нормальному содержанию серебра в печени крыс.

Эти исследования позволяют предположить, что дозы серебра, применяемые для обеззараживания воды, являются биотическими.

Другая группа белых крыс получала в течение года воду с содержанием серебра 0,2 мг/л. По истечении этого времени проводили общий анализ крови и изучали иммунологические реакции [123]. Оказалось, что картина крови исследуемых крыс отличалась от картины крови контрольных животных лишь небольшим увеличением числа лейкоцитов (табл. 17).

С помощью электрофоретического анализа было обнаружено, что в сыворотке крови подопытных животных повышается содержание глобулинов. Как видно из табл. 18, такое соотношение сохраняется на протяжении двух месяцев после окончания опыта. Однако постепенное сближение значений альбумино-глобулиновых коэффициентов опытных и контрольных животных в течение этого периода свидетельствует о нестойкости изменений, вызванных серебром.

Фракций сыворотки крови крыс, получавших воду с ионами в течение года			
Белковые фракции			Альбумино-глобулиновый коэффициент
глобулины			
$\alpha_1 + \alpha_2$	β	γ	
<i>опыта</i>			
1,15±0,8	2,65±0,4	1,7 ±0,2	0,6±0,2
1,12±0,1	1,88±0,9	1,02±0,3	0,8±0,4
<i>окончания опыта</i>			
1,69±0,5	1,73±0,1	1,09±0,1	0,7±0,3
1,67±0,7	1,58±0,3	1,12±0,5	0,8±0,5

обработки. Каждая группа состояла из 10 животных.

Таблица 19. Показатели фагоцитоза опытных и контрольных крыс на фоне иммунизации *Staphylococcus aureus*, штамм 209

Группы животных, получавших воду с содержанием серебра, мг/л	Поглотительные функции нейтрофилов			Абсолютные показатели фагоцитоза	
	фагоцитарный индекс	фагоцитарное число	процент фагоцитоза	абсолютное число фагоцитированных микробов	абсолютное число переваренных микробов
<i>Показатели фона</i>					
0,2	0,32±0,03	2,9±0,01	11±0,49	1308±520	264±35
20	0,28±0,02	1,6±0,01	17±1,1	2800±620	500±71
Контроль 0	0,29±0,02	2,9±0,00	10±0,7	1120±490	240±41
<i>Перед второй иммунизацией</i>					
0,2	0,49±0,02	2,5±0,02	20±1,3		
20	0,48±0,02	1,5±0,008	26±1,1		
Контроль 0	0,43±0,04	2,4±0,02	21±0,8		
<i>Перед третьей иммунизацией</i>					
0,2	0,42±0,03	3,2±0,01	13±1,1	1400±340	320±41
20	0,35±0,03	1,7±0,01	20±1,9	4270±750	896±82
Контроль 0	0,37±0,02	3,4±0,02	11±1	1184±280	288±52
<i>Через 10 дней после третьей иммунизации</i>					
0,2	0,45±0,02	2,1±0,01	21±1,2	1980±620	352±35
20	0,46±0,05	1,4±0,008	26±2,5	6440±950	980±65
Контроль 0	0,51±0,03	2,38±0,02	22±1,7	1856±710	288±31

С целью определения наиболее ранних сдвигов в функциональном состоянии организма изучали фагоцитарную реакцию лейкоцитов [123]. Оказалось, что у крыс, получавших с питьевой водой в течение года 0,2 мг/л серебра, реакция поглощения и переваривания микробов лейкоцитами крови (фагоцитоз) такая же, как и у контрольной группы животных (табл. 19).

При введении 20 мг/л серебра в питьевую воду у экспериментальных животных снижалось общее количество лейкоцитов крови, принимающих участие в фагоцитозе.

Кроме того, также было изучено влияние серебра на содержание неспецифических ингибиторов сыворотки крови опытных крыс. По сравнению с контрольными животными термолабильные ингибиторы (один из факторов природного иммунитета) у крыс находились в более высоком титре.

Токсичность веществ, в том числе и металлов, можно определить по цитотоксическому действию их на клетки культуры ткани. В Киевском государственном университете ставились опыты, выясняющие влияние аноднорастворимого серебра на рост перевиваемой культуры ткани «Нер-2».

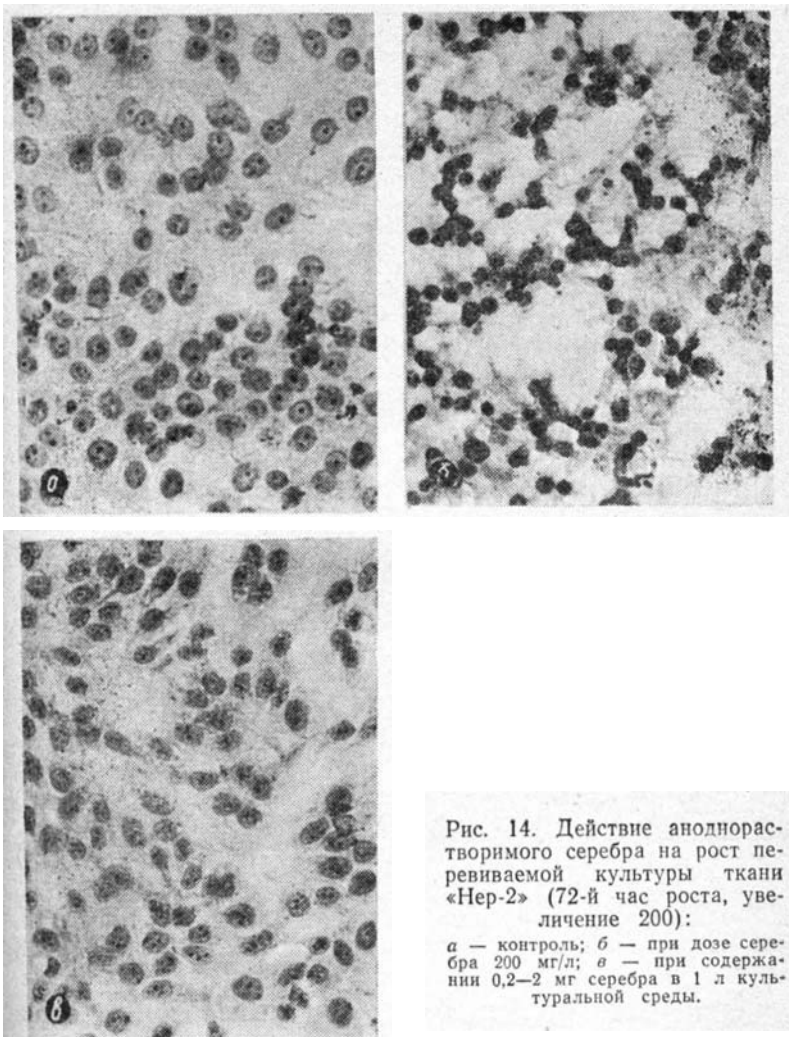


Рис. 14. Действие аноднорастворимого серебра на рост перевиваемой культуры ткани «Нер-2» (72-й час роста, увеличение 200):

а — контроль; *б* — при дозе серебра 200 мг/л; *в* — при содержании 0,2—2 мг серебра в 1 л культуральной среды.

Было установлено, что доза серебра 0,2—2 мг/л не оказывает токсического действия на рост ткани (рис. 14, *а*, *б*). При концентрации серебра 200 мг/л, как видно из рис. 14, *в*, наступает дегенерация клеток: они теряют свою обычную форму, склеиваются в бесформенные массы и отслаиваются от стенки пробирки.

Таким образом, опыты, проведенные на культуре ткани, показывают, что дозы серебра 0,2—2 мг/л не оказывают вредного действия на клетки растущей ткани.



На кафедре физиологии человека и животных Киевского университета изучалось влияние серебра на выработку условных рефлексов у животных. В частности, было исследовано изменение пассивнооборонительной реакции у крыс на выход из водного лабиринта под влиянием различных доз серебра. Данные эксперимента показывают, что оборонительный рефлекс на выход из водного лабиринта вырабатывался на седьмой-восьмой день.

Как видно из рис. 15, у подопытных крыс, получавших воду с 0,2 мг/л серебра, скорость проплыва не изменялась по сравнению с контрольными. Однако вода, обработанная серебром в дозе 20 мг/л, оказывала некоторое воздействие на оборонительные рефлексы у крыс, что проявлялось в удлинении времени выхода из водного лабиринта.

Изучение содержания нуклеиновых кислот в головном мозге крыс при длительном введении ионов серебра с питьевой водой показало, что концентрация 20 мг/л после 12 месяцев интоксикации снижает их количество. Длительное употребление воды, содержащей 0,2 и 0,5 мг/л серебра, вызвало обратное действие: у животных увеличивался вес головного мозга и повышалось содержание нуклеиновых кислот [143]. Таким образом, приведенные данные подтверждают содержащиеся в литературе сведения о стимулирующем действии на организм малых доз серебра.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ

Использование серебра для обеззараживания воды не только увеличивает арсенал существующих реагентов, но и является одним из наиболее эффективных методов дезинфекции и консервирования питьевой воды.

Так, сравнивая действие хлора — общепринятого дезинфектанта — с действием серебра [166], можно установить следующее: 1) при взаимодействии с органическими веществами и другими примесями воды как серебро, так и хлор постепенно инактивируются, но в отличие от хлора активность серебра сохраняется в течение длительного периода; 2) введение хлора в воду даже в небольшом количестве снижает ее органолептические показатели и раздражает слизистые оболочки, в то время как серебро даже в сравнительно высокой концентрации не изменяет органолептических показателей воды и никакого раздражающего действия на организм не производит; 3) хлор действует не только на бактерии, но и на личинки, червей, одноклеточные грибы, вирусы; серебро вызывает гибель вегетативных форм бактерий, задерживает развитие спор, угнетает рост синезеленых водорослей, простейших вирусов и пр.

Таким образом, серебро, действуя медленнее хлора и сохраняя в течение длительного времени бактерицидные свойства, может с успехом применяться в тех случаях, когда использование хлора противопоказано, например, на кораблях, в плавательных бассейнах, в полевых условиях и т. д., а также тогда, когда хлор при взаимодействии с примесями воды дает токсические или сильнопахнущие соединения.

Интересные данные были получены английским исследователем Бентоном, в 1942 г. применившим в Индии метод обеззараживания питьевой воды электрохимическим растворением серебра в концентрации 0,01 мг/л. Бесперебойное снабжение чистой питьевой водой 30 000 рабочих, занятых на строительстве дороги Бирма — Ассам, позволило приостановить эпидемию холеры и дизентерии.

Как уже отмечалось, в настоящее время этот метод применяется в США, Англии, Швейцарии, Федеративной

Таблица 20. Качество питьевой воды во время

Показатель	Дни									
	1-й	10-й	20-й	30-й	40-й	50-й	60-й	70-й	80-й	
Серебро, мг/л	0,1	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	
Вкус, баллы	0	0	0	0	1	1	1	1	2	
Запах, баллы	0	0	0	0	0	0	1	1	2	
Прозрачность, см	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Цветность, град	0	0	5	5	5	5	10	10	10	
Аммиак, мг/л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Нитриты, мг/л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Нитраты, мг/л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Жесткость, мг/л	3,6	3,6	3,5	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	
Окисляемость, мг/л	2,5	2,6	2,7	2,6	2,4	2,7	3,2	3,1	3,4	
Щелочность, мг/л	—	—	—	—	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	
pH	6,8	6,8	6,7	6,8	6,9	6,9	7,0	6,9	6,8	
Железо, мг/л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Коли-индекс	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Микробное число	—	15	12	14	21	11	12	19	7	
Хлориды, мг/л	35,5	34,9	35,0	35,3	35,4	35,3	34,0	35,8	36,0	
Сульфаты, мг/л	75,0	75,1	75,0	75,5	75,4	76,0	75,9	76,1	75,3	

Республике Германии, ГДР, ЧССР, Франции и других странах [190].

В 1953 г. сотрудниками Украинского института общей и коммунальной гигиены на основании экспериментальной проверки была подтверждена высокая бактерицидность электролитических растворов серебра и эффективность метода обеззараживания воды, разработанного автором этой книги.

В народном хозяйстве антимикробные свойства серебра преимущественно используются для консервирования питьевой воды.

С этой целью были созданы ионаторы — аппараты, обеспечивающие анодное растворение серебра в воде и его дозирование.

Ионаторами ЛК-28 (ИЭМ-50) морского назначения к 1975 г. было оснащено свыше 170 крупных морских сухогрузных судов Черноморского пароходства, а также ряд крупных судов Балтийского пароходства и Мурманского тралового флота. Кроме того, ионаторами ЛК-28 оснащены суда, экспортируемые в ЧССР, Марокко, Алжир и другие страны. Внедрение ионаторов ЛК-28 (ИЭМ-50) на судах позволяет сократить валютные затраты на покупку питьевой воды в зарубежных портах, улучшает санитарно-гигиенические условия водообеспечения судов, что способствует снижению заболеваемости среди моряков,

рейса после обработки ее серебром

наблюдения									
90-й	100-й	110-й	120-й	130-й	140-й	150-й	160-й	170-й	180-й
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,7	3,6	3,6	3,7	3,9	4,0	3,9	3,9	4,0	3,9
3,6	4,0	3,9	4,1	4,3	4,2	4,1	4,1	4,0	4,0
0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
6,9	7,0	7,1	7,2	7,1	7,2	7,0	7,0	7,1	7,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,02	0,02	0,015	0,01	0,01	—	—	—	следы	следы
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	9	27	21	29	17	21	27	14	17
35,7	35,5	35,0	36,1	36,0	35,8	35,1	35,3	36,1	36,0
75,0	76,2	76,1	76,4	75,8	76,0	75,7	75,6	76,0	75,9

Достаточно полное изучение эффективности консервирования воды серебром было проведено на судах Черноморского пароходства [19, 159].

В качестве примера приведем данные, полученные в течение шестимесячного рейса на теплоходе «Сочи» (Одесса — Средиземное море, Атлантический и Индийский океаны — Средиземное море — Одесса). Для обработки воды серебром использовался ионатор ЛК.-28 (ИЭМ-50).

Исследования, проведенные в экспедиционных условиях на судах Черноморского пароходства, подтвердили эффективность метода обеззараживания и консервирования воды ионами серебра.

Как видно из табл. 20, составленной А. М. Войтенко, обработанная серебром вода сохраняла санитарно — гигиенические показатели в течение всего времени плавания судов [18].

Рейсовые донесения судовых медицинских работников свидетельствовали о том, что количество и частота желудочно-кишечных заболеваний инфекционной и неинфекционной этиологии на судах, оборудованных ионаторами, была значительно ниже, чем на других судах. Подтверждением тому могут служить данные бактериологического анализа питьевой воды, проводимого во время рейса (рис. 16). Внесение серебра даже в дозах 0,05-0,1 мг/л обеспечивало ее надежное консервирование.

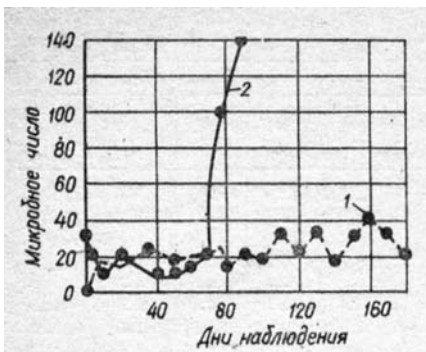


Рис. 16. Бактериальный состав воды во время рейса:
1 — вода, обработанная серебром; 2 — контрольная вода.

Полученные результаты позволили А. М. Войтенко и Н. В. Павлову рекомендовать серебро не только для обеззараживания судовых запасов воды, но и для обработки воды аварийных запасов [20].

Опыты по применению метода обеззараживания и консервирования воды серебром на морских судах проведены также Мостером [193]. В течение 6-месячного плавания на

борту американского миноносца он изучал возможность обработки серебром воды, забираемой в портах Средиземного, Адриатического и Красного морей, Персидского залива, Индийского и Атлантического океанов. Используя комбинированное действие серебра и фильтрующих целлюлозных патронов типа «Сипо», он добивался очистки воды до полной стерильности при дозе $\text{Ag } 0,025$ мг/л и менее.

В составе комплекса водоочистных установок типа УКВ серебро используется для обеззараживания и консервирования воды на советских речных судах и других автономных объектах.

Эффективность обработки воды серебром подтверждена эксплуатацией крупного водопровода в Иране, снабженного ионаторами фирмы «Angelmi Werken», и небольших водопроводов в ФРГ (в городах Обергарц, Клаусталь, Целлерфельд). На иранском водопроводе ионаторы работают с 1940 г., а на водопроводах ФРГ — с 1949 г. За истекшее время не было замечено вредного влияния ионов серебра на здоровье потребителей.

Хорошую оценку воде, обработанной серебром, дают наши космонавты. Практика показала, что обработка бортовых запасов питьевой воды серебром обеспечивает сохранение ее высоких органолептических и санитарно-гигиенических свойств в условиях космических полетов разной продолжительности.

Применяются ионаторы и при подготовке воды для плавательных бассейнов. Так, ионаторы ЛК-28 или ЛК-30 установлены в трех плавательных бассейнах Киева, в плавательных бассейнах Москвы, Мурманска и в других городах. Внедрение данного метода обеззараживания воды

значительно улучшило санитарно-гигиенические условия тренировки спортсменов и работы тренеров [146, 147].

Серебро оказалось прекрасным консервантом и минеральной воды.

Уже ряд лет на Московском, Киевском, Ялтинском, Добропольском, Харьковском, Тальновском, Березовском, Феодосийском, Кисловодском, Железноводском, Днепропетровском и других заводах безалкогольных напитков минеральную воду обеззараживают серебром в дозе 0,2 мг/л. Это позволило увеличить пропускную способность складских помещений, улучшило бактериологические показатели минеральной воды и дает ежегодно от 10 до 20 тыс. руб. экономии на каждом из заводов.

Экспериментальная лаборатория Московского завода безалкогольных напитков с успехом применила электролитическое серебро при консервировании citrusовых напитков (лимонного и апельсинового), а также фруктовых соков (яблочного, сорт — золотой ранет и др.). После обработки этих напитков серебром в концентрации 0,5 мг/л длительность их сохранения возросла с 7 сут до года. На указанных заводах хорошо зарекомендовали себя в работе ионаторы ЛК-28 и ЛК-30.

И. П. Максименко [96] изучил применение электролитического серебра для стерилизации фруктовых и виноградных соков. В свежееизвлеченные, осветленные и профильтрованные до полной прозрачности соки вводилось серебро, затем соки в стерильных бутылках помещали в термостат на 10—120 сут при температуре 30—32 °С. В течение этого времени соки периодически подвергались микробиологическому, органолептическому и физико-химическому анализу. Наиболее эффективные дозы серебра оказались равными 5,0—7,5 и 7,5—10 мг/л. Вследствие адсорбции либо образования комплексных соединений серебра с белками при коагуляции последних, а также в результате коагулирования пектина и других коллоидных веществ (при выпадении осадка в соках) серебро по мере увеличения срока переходило в осадок, обеспечивая длительную сохранность соков.

Имеются данные о том, что применение ионов серебра приводит к ускорению процессов старения вин, улучшению их вкусовых качеств и запаха.

Как показали исследования А. К. Кошеева [57], использование аноднорастворимого серебра для дезинфекции стаканов и другой посуды общего пользования оказалось весьма эффективным средством. Обычная же обработка стаканов на шприцах-стаканомойках не обеспечивает полного уничтожения микрофлоры.

Положительные результаты были получены также при использовании электролитического серебра в пищевой и фармацевтической промышленности.

На кафедре гигиены питания Одесского медицинского института П. Ф. Кнафельман [51] изучила применение электролитического раствора серебра в качестве консервирующего препарата для молока, сливочного масла и яичной массы (меланжа). Ею выяснено, что доза серебра 6—8 мг/л, прибавленная к молоку вскоре после удоя, стабилизирует этот продукт.

Продление срока стабильности консервированного молока, по сравнению с неконсервированным, в зимнее время доходит до 4—5 сут, а в летнее время — до суток. Доказано, что серебро не разрушает содержащегося в молоке витамина С.

Кроме того, она установила, что концентрация серебра 2,20—3,75 мг/л в воде, используемой при производстве сливочного масла, приводит к повышению стабильности масла за счет бактерицидного эффекта серебра. Ею сделан вывод о том, что при погружении куриных яиц в электролитические растворы серебра в течение 1—2 ч при концентрации 20 мг/л достигается весьма эффективная дезинфекция скорлупы. Прибавление к яичной массе серебряной воды (из расчета 10 мг серебра на 2 л яичной массы) приводит к значительному снижению количества бактерий, что имеет большое значение в производстве меланжа и яичного порошка.

Исследования Ю. Н. Жванко с сотрудниками [42] показали, что при содержании в молоке 5—6 мг/л электролитически растворенного серебра, которое может быть получено электролизом непосредственно в молоке, кислотность нарастает медленнее, чем в контрольной пробе. Продолжительность хранения свежего молока при этом увеличивается на 2—3 сут, причем вкусовые качества молока не изменяются*.

В опытах по применению электрокатадинового серебра в пивоварении Люэрс [190] показал, что все встречающиеся в пивоварении бактерии и плесневые грибы, кроме их спор, гибнут в течение очень короткого времени при обработке воды дозами серебра 0,5—0,6 мг/л. Наиболее стойкой

* Ценность работы снижена тем, что не проводился аналитический контроль за действительным содержанием серебра в молоке и не учитывалось снижение выхода серебра по току вследствие покрытия электродов жировыми пленками. Эти факторы явились, по-видимому, причиной завышения доз серебра.

оказалась пивная сардина. Однако в течение 1 ч доза серебра 0,5 мг/л убивала и ее.

Как и следовало ожидать, наличие в пиве экстрактивных коллоидных веществ чрезвычайно снижает бактерицидность серебра. Поэтому для дезинфекции трубопроводов на пивных заводах Люэрс рекомендовал употреблять серебряную воду, считая обязательной предварительную механическую очистку труб. Он установил, что уксуснокислые бактерии гибнут полностью при дозах серебра 0,025— 0,050 мг/л и продолжительности контакта 30 мин.

Удовлетворительных результатов добился С. В. Моисеев [104], использовавший серебряную воду для борьбы с плесневением мяса в холодильных камерах.

Растворы солей серебра используют также для стабилизации и консервирования крови, применяемой в пищевой промышленности [39].

Хороший результат был получен при варке желатина на серебряной воде и в растворе азотнокислого серебра. Серебро в концентрациях не ниже 10 мг/л обеззараживало желатин надежнее, чем обычно применяемый сернистый газ (раствор серебра можно прибавлять к желатиновому бульону в свободный чан после фильтр-пресса).

В последние годы изучается возможность применения серебра для стабилизации некоторых микстур, настоев, глазных капель, для консервирования органопрепаратов [120].

На кафедре лекарственных форм Одесского фармацевтического института П. Г. Луцет [94] получил весьма перспективные данные об использовании электролитической серебряной воды для повышения стойкости некоторых лекарств и микстур.

Было установлено, что использование серебряной воды значительно повышает стабильность водного настоя алтейного корня, широко применяемого в медицинской практике.

Наличие 4,0 мг/л серебра стабилизирует на длительное время быстропортящиеся лекарственные настои, при этом серебро не влияет на физико-химические свойства лекарств (внешние признаки порчи настоя не обнаружены в течение 5 сут, в то время как в контроле они появляются уже через 8 ч).

Аналогичные данные были получены советским исследователем Л. И. Птицыным и коллективом румынских фармацевтов [141].

По заключению Т. С. Кондратьевой [55], серебряная вода — эффективный консервант для глазных капель относительно неспорных микроорганизмов.

Антимикробные свойства серебра нашли применение для защиты авиационных топлив от микроорганизмов, использующих для своего развития углеводороды [164]. Хороший защитный эффект получен со следующими соединениями серебра: олеатом, бутиратом, капроатом, диметилбензосульфатом, толуолсульфонатом, дитиокарбонатом, дибутилфосфатом и карбидами серебра.

Установлено, что растворы серебра являются эффективным лечебным средством при непосредственном соприкосновении с поверхностями, гноящимися и воспаленными вследствие бактериального заражения.

Первые клинические и лабораторные исследования по использованию бактерицидных свойств серебра в медицине относятся к концу XIX в. В 1895 г. Креде применил в хирургической практике органические соли серебра как антисептическое средство при лечении ран.

Наилучшим препаратом оказался раствор лимоннокислого серебра, который использовался в концентрациях 100—200 мг/л. Впоследствии Креде применял посеребренную марлю, которую признал хорошим антисептическим средством, пригодным для домашнего обихода и ценным в военно-полевой практике.

Б. А. Вицин и соавторы [15] рекомендуют использование аммиачных растворов серебра при лечении больных хирургическим сепсисом.

Н. В. Шмидт [210, 211] предложил метод получения серебряной пудры для лечения поверхностных ран и других поражений кожи. Им установлено, что серебряная пудра, приготовленная на лабилине, создает неблагоприятные условия для развития бактерий и способствует затуханию воспалительных процессов.

В дальнейшем внимание исследователей привлекли коллоидные растворы серебра и серебряная вода.

Применение коллоидного серебра дало хорошие результаты по обеззараживанию столбнячного и дифтерийного токсинов. Такого же эффекта можно ожидать и при воздействии на токсины серебряной воды. Н. П. Кравков [58] и другие авторы указывают на возможность использования ионов серебра для приготовления различных вакцин. Так, В. Н. Космодамианский, А. И. Тутаева [56], изучая серебряно-марганцевую воду как средство, консервирующее тифозную вакцину, констатировали, что постоянное присутствие в вакцине небольших количеств серебра позволяло хранить ее более года без примеси других консервирующих веществ. При содержании вакцины в открытых чашках **Петри** и загрязнении ее из воздуха, а также при внесении

в нее микробов она в течение изучаемого времени все же оставалась стерильной.

Результаты применения серебряной воды и растворов солей серебра с лечебной целью свидетельствуют об эффективности их действия при желудочно-кишечных заболеваниях, холециститах [3, 150, 219], воспалительных процессах зева, глаз, поверхностных язвах и ранах.

По данным А. Г. Какулия и др. [48], при остром и подостром артрите, развивающемся на фоне дистрофического остеоартрита, лечение электрофорезом серебряной водой оказывает положительное воздействие на воспалительный процесс и болевой синдром, не влияя на дистрофические изменения.

Клинические наблюдения, проведенные Л. Н. Камраш и М. Г. Мальцевой [50], свидетельствуют о том, что включение внутритканевого электрофореза серебра в комплексное лечение больных хроническим остеомиелитом способствует купированию воспалительного процесса.

По данным С. Г. Горовиц и соавтора [29], применение электрофореза серебра при послеоперационных инфильтратах вызывало быстрое ограничение очага воспаления: уменьшение воспалительных явлений, гнойного отделяемого, хорошее гранулирование и заживание ран. Положительный терапевтический эффект отмечен при лечении гидра* денита, карбункулов, фурункулов, осложненных панарициев.

Практика показала, что электрофорез серебра — эффективный, переносимый и безопасный метод лечения гнойничковых заболеваний кожи и подкожной клетчатки.

Этот метод ценен при непереносимости больными антибиотиков и сульфамидов, а также при устойчивости к ним микроорганизмов.

А. В. Белецкий [6], применив серебряную воду в дозе 20 мг/л после тонзиллэктомии в виде полосканий или орошений 3—4 раза в день, пришел к выводу, что она дает хорошо выраженный положительный лечебный результат. А. И. Коломийченко [54] отмечает полезность применения серебряной воды после тонзиллэктомии.

По данным Н. Ф. Тушинской и соавторов [34], препараты электролитического ионизированного серебра — один из наиболее эффективных средств санации небных миндалин при лечении больных острым и хроническим тонзиллитом. Исследования показали значительное антимикробное действие ионов серебра на основную флору, вегетирующую в криптах небных миндалин: различные виды гноеродных и кишечных стрептококков, стафилококков и др.

Ионы серебра нашли применение при лечении хронического вазомоторно-аллергического ринита [46].

Во время Великой Отечественной войны серебряная вода широко применялась при лечении ран и изъязвлений.

Успешно применяется серебро в дерматологии и венерологии [10, 136, 171]. В. В. Дроздов с соавторами [38] сообщает, что серебряная вода может быть использована в качестве наружного средства (примочки и ванночки) при лечении дерматозов вирусного, дрожжевого, стрептостафилококкового и трофического происхождения.

Лечение термических ожогов у людей мокрыми марлевыми повязками, пропитанными 0,5%-ным водным раствором азотнокислого серебра, обладает многими преимуществами по сравнению с ранее применявшимися методами. По мнению зарубежных ученых, среди препаратов для лечения ожогов серебро не имеет себе равных по эффективности [167, 169, 191, 194, 202, 203].

В нашей стране водные растворы электролитического серебра также применяются для лечения ожогов. Кишиневский хирург В. И. Бабюк [4] пришел к выводу, что наиболее оптимальная концентрация серебра, обеспечивающая бактерицидное действие в условиях повышенной секреции ожоговых ран, - 0,6%. Важным свойством этого метода является его абсолютная безболезненность, что чрезвычайно важно при лечении больных с тяжелыми ожогами.

Добавление небольших количеств аммиака к серебряной воде делает растворы электролитического серебра хорошо усвояемыми. Такая смесь представляет собой препарат, аналогичный аммаргену * проф. П. Е. Ермолаева (2,5 части азотнокислого серебра, растворенные в смеси, состоящей из 30 частей 25%-ного нашатырного спирта и 70 частей воды).

Серебряную воду, полученную электролитическим методом, применяли при лечении желудочно-кишечных заболеваний в клинике Киевского медицинского института, а при воспалительных процессах зева, катаральных ангинах — в 1-й поликлинике г. Киева.

* Лечение гнойных ран аммаргеном впервые было разработано в клинике, руководимой заслуженным деятелем науки акад. Н. Н. Бурденко, и применялось рядом медицинских учреждений, возглавляемых заслуженным деятелем науки проф. В. С. Левитом, проф. И. Г. Руфановым и др. Этим препаратом лечили гнойные раны, перитонит, флегмону, гнойный плеврит, травматические инфицированные раны, карбункулы, фурункулез, ангину, острый ринит и обморожения, лимфангоит, стерильный и вторичный инфицированный туберкулезный гнойный пневмоплеврит, септические послеродовые заболевания и др.

Сотрудники Пермского мединститута [12] рекомендуют аэрозоли и электроаэрозоли серебряной воды (концентрации 5—10 мг/л Ag⁺) для применения в комплексной терапии острой хронической пневмонии и отмечают, что эти препараты не оказывают побочного действия и не вызывают аллергических реакций.

Как свидетельствуют данные, полученные И. С. Колесниковой и соавторами [52], сочетание туберкулостатической терапии с электрофорезом серебра для лечения туберкулезной лобарной пневмонии способствует ускорению ликвидации перифокальной экссудативной реакции, рассасыванию творожистого некроза, скорейшей ликвидации очагов туберкулезной пневмонии и очагов внелегочной туберкулезной диссеминации.

В. В. Володкина [21] применяла серебряную воду, полученную электролитическим путем, в виде орошений и аппликаций для лечения язвенного гингивостоматита, многоформной экссудативной эритемы, длительно незаживающих язв, острого стоматита, грибковых стоматитов, воспалительно-дистрофической формы пародонтоза. Наблюдения, проводившиеся в течение трех лет, позволили положительно оценить серебряную воду как средство лечения острых и хронических воспалительных заболеваний слизистой оболочки полости рта.

О. Е. Малевич с соавторами [97] проведено микробиологическое исследование бактерицидного действия ионного серебра на смешанную флору ротовой полости в сравнении с такими распространенными в стоматологической практике антисептиками, как фурацилин, микроцид и марганцовокислый калий. Орошение ротовой полости проводили серебряной водой в концентрации 22—25 мг/л Ag⁺ в течение 5-7 мин. Процедуры назначали больным с воспалительно-дистрофической формой пародонтоза I, II, III степени, катаральным, язвенным гингивитом. После курса лечения исследователи отмечали отсутствие серозно-гнойных выделений из патологических зубо-десневых карманов, повышалась стойкость капилляров, исчезали болевые ощущения, уплотнялась слизистая десен. На основании полученных данных рекомендовано использование ионов серебра в виде электролитической серебряной воды и методом электрофореза при разнообразных воспалительных процессах в полости рта. Это эффективно и доступно для применения в стоматологической практике

Г. С. Мироненко [100] считает целесообразным применение электролитического серебра при лечении альвеолида, хронического периодонтита, обострения воспалитель

но-дистрофической и воспалительной форм пародонтоза, катаральных и язвенных стоматитов, многообразной экссудативной эритемы.

Интересные данные о результатах использования серебряной воды в зубоврачебной хирургии были опубликованы также И. Е. Генисом [24] и А. Т. Пермут [114]; в офтальмологии — В. П. Роциным [122], М. И. Шевченко [156].

На кафедре терапевтической стоматологии и в Центральном научно-исследовательском институте стоматологии МЗ СССР проведены широкие исследования по использованию антимикробных свойств серебра для лечения различных заболеваний зубов. В СССР создана серебряная паста, которая оказалась во много раз эффективнее, чем применяемые ранее пасты из фосфатцемента и резорцин-формалиновой смеси [24].

В годы Великой Отечественной войны в Уфимском тубдиспансере серебряную воду использовали при лечении свищей и язв, образующихся в результате костного туберкулеза и туберкулеза лимфатических желез с распадом и нагноением. Результаты лечения, как правило, были положительные: язвы и свищи, не закрывающиеся у некоторых больных в течение нескольких лет, несмотря на систематическое лечение кварцем, рыбьим жиром, мазью Вишневского и другими препаратами, после применения серебряной воды на протяжении 2—5 месяцев полностью заживали. Не менее благоприятные результаты были получены в госпитально-хирургической клинике Башкирского медицинского института при лечении гнойных ран нетуберкулезного происхождения.

В 1959 г. серебряную воду успешно применяли в санатории № 1 курорта «Горячий Ключ» Краснодарского края при лечении хронических тонзиллитов, катаральных ангин, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, трофических язв, в гинекологической и зубоврачебной практике, а с февраля 1960 г. — в физиотерапевтической лечебнице 1-й городской клинической больницы г. Иванова.

Обобщением накопленного опыта по использованию серебряной воды как дезинфектанта и с лечебной целью занимались специальные комиссии, созданные в 1953 г. Украинским институтом общей и коммунальной гигиены (под председательством акад. АМН СССР А. Н. Марзеева) и фармакологическим отделом МЗ УССР (под председательством чл.-кор. АМН СССР А. И. Черкеса). Первая комиссия рекомендовала использовать электролитическую серебряную воду и образцы ионаторов, разработанные в Академии наук УССР, для дезинфекции и консервирования воды,

а также в профилактических целях. По рекомендации членов второй комиссии доцента А. А. Вакара и заслуженного врача УССР М. А. Ромоданова было признано полезным изучить действие серебряной воды при ряде заболеваний в клинике.

Работы велись в нескольких лечебных учреждениях страны, где были установлены ионаторы типа ЛК и осуществлялась разработка методов лечения ряда болезней концентратами серебряной воды. Исследования проводились в Киевском научно-исследовательском институте педиатрии, акушерства и гинекологии имени П. М. Буйко, в Одесском институте глазных болезней им. В. П. Филатова, в санатории им. В. П. Чкалова (Одесса), в 4-й городской поликлинике г. Горького, в 1-й городской больнице г. Иванова и др. Был накоплен достаточно большой положительный опыт терапевтического применения серебряной воды.

Так, в Киевском научно-исследовательском институте педиатрии, акушерства и гинекологии и в 3-й детской специализированной клинической больнице г. Киева установлено, что серебро высокоэффективно при лечении бактериальных вульвовагинитов у детей и рекомендовано как лечебный препарат [95].

В лечебной практике использования серебра как антимикробного препарата обнаружена также связь между серебром и выработкой иммунитета. Так, Э. А. Гальперин [23], наблюдая за больными, получавшими препараты серебра, пришел к выводу, что его благотворное действие на организм заключается в сдвигах, в которых значительное участие наряду с нервной системой принимает ретикуло-эндотелий: «...Серебро, вступая в связь с ретикуло-эндотелиальной системой (РЭС), видоизменяется или входит в состав вырабатываемых ею веществ, обладающих способностью поражать возбудителя». К аналогичным выводам пришли В. Д. Славин [129], Асколи, Азар и др., которые считают, что терапевтический эффект препаратов серебра достигается в результате их стимулирующего воздействия на РЭС и усиления обмена веществ.

Ю. П. Мироненко [101] на основании приведенных клинических испытаний на 128 добровольцах с экспериментально вызванной гриппозной инфекцией (тип А2-Гонконг и тип В1/Ленинград) сделал заключение об отчетливом лечебном эффекте гидроаэрозолей серебра и ионофореза ионизированным раствором серебра и рекомендует эти методы для применения в практике лечения гриппа. Так, при экспериментальной инфекции типа А2-Гонконг после применения серебра совсем не отмечалось клиниче

ских реакций III степени, тогда как в контрольной группе они регистрировались в 22% случаев. При инфекции типа В1/Ленинград только у 27% больных, леченных серебром, наблюдались тяжелые реакции III степени, а в контрольной — у 50%.

Длительность синдрома интоксикации при заболевании гриппом в результате лечения снижалась в среднем на 2 дня.

В 1971 г. Ю. П. Мироненко разработал новый метод терапевтического воздействия — полостной электрофорез. Этот метод апробирован в ряде клиник и получил положительную оценку. Полостной электрофорез ионизированным раствором металлического серебра (концентрация 0,5 мг/л, количество — от 500 до 1000 мл на одну процедуру, время — 30—35 мин, сила тока — 1,5—2,0 мА) применялся со стойким терапевтическим эффектом при дисбактериозах различного происхождения, болезни Боткина, для лечения инфекционного гепатита, при острых холециститах, холецистопанкреатите, дуодените, холангите.

Г. И. Мицкевич с соавторами [103] также получил хороший лечебный эффект при лечении полостным электрофорезом серебра хронического гепатохолецистита и рекомендует этот метод для широкого применения в клиниках и санаториях.

Серебряная вода с успехом может применяться и в ветеринарной практике. Так, этот препарат, использовали в Выжницкой ветлаборатории для профилактики и лечения кокцидиоза у кроликов и диспепсии у телят [33].

В Башкирии серебряную воду применяли для профилактики и лечения поноса у пчел (заболевание, приводящее к их гибели). Использование препарата дало хорошие результаты, причем взятки меда у пчел увеличились.

Доктор ветеринарных наук А. В. Махонько проводил исследования по лечению серебряной водой желудочных заболеваний у поросят. Опыты осуществлялись в учебном хозяйстве Белоцерковского сельскохозяйственного института, а также в 16 колхозах и совхозах Белоцерковского и Таращанского районов Киевской области. Результаты их весьма положительные.

Наличие большого количества различных сульфаниламидных препаратов и антибиотиков ни в коем случае не снижает значения в медицинской и ветеринарной практике серебряной воды, которая незаменима при лечении многих хронических заболеваний [115, 116].

Автор считает, что «рожденная» в СССР серебряная вода давно заслуживает признания.

МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ

Попытки практически использовать бактерицидный эффект металлов относятся к 1907 г., когда Г. А. Сериков [126] впервые поставил опыты по обеззараживанию воды путем погружения в нее пластинок из чистого металлического серебра.

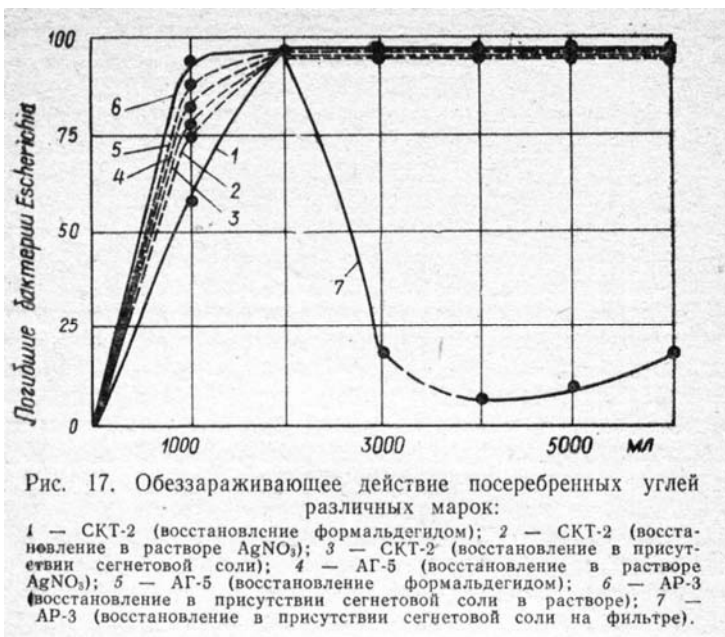
В 1917 г. итальянский исследователь Сесиль предложил обеззараживать питьевую воду в сосудах, содержащих серебряную проволоку. Дезинфекция воды достигалась через 8 ч.

В 1928 г. немецкий исследователь Краузе [185], а затем советские ученые С. В. Моисеев [104], В. А. Углов [139], В. А. Лазарев [92] и др. применили для дезинфекции воды серебро, нанесенное на большие поверхности — бусы, кольца Рашига, угольный порошок, речной песок, марлю, вату и другие инертные вещества. Увеличение поверхности способствовало ускорению перехода металла в раствор.

Наилучшие результаты были получены С. В. Моисеевым, в опытах которого посеребренный песок оказывал благоприятное действие при контакте с водой в течение 2—4 ч.

Относительно длительное время контакта необходимо было для достижения дезинфекции воды-препаратами серебра в опытах Фрезениуса. Он показал, что в водопроводной воде, в которой в течение 24 ч находились посеребренные кольца Рашига, обнаруживалось около 0,160—0,165 мг/л серебра; при пропускании воды через посеребренный песок с небольшой скоростью, обеспечивающей контакт в течение 4 ч, концентрация серебра в таких условиях достигала 0,137—0,147 мг/л.

Работы В. А. Углова [139], В. А. Лазарева [92] и И. Ф. Александрова [69] по выяснению бактерицидного действия малых концентраций солей серебра подтвердили необходимость продолжительного контакта воды с посеребренным песком, если последний используется для дезинфекции. Существенным недостатком этого метода является не только длительность процесса обогащения воды серебром, но и невозможность управлять им вследствие того, что скорость растворения металла зависит от состояния его поверхности, солевого состава, органических примесей при-



родной воды и т. д. При получении серебряной воды таким методом не удастся дозировать серебро и осуществлять контроль над процессом обогащения им воды.

Метод контактного серебрения воды теперь применяется только при обеззараживании регенерированной воды путем пропускания ее через угли и иониты, обработанные AgNO_3 [154]. Опыты показали, что посеребренные сорбенты (ионообменные смолы и активированные угли различных марок) могут быть использованы как для очистки воды от неорганических и органических примесей, так и для ее обеззараживания (рис. 17).

Другим способом обработки воды серебром является прибавление к ней готовых серебряных препаратов (раствора нитрата серебра, аммиачного раствора серебра — аммаргена П. Е. Ермолаева, таблеток олигодина и др.).

П. Е. Ермолаев [41], исследовав аммарген на большом клиническом материале, показал, что в присутствии аммиака серебро гораздо деятельнее и бактерицидная сила его больше, чем у растворов азотнокислого серебра той же концентрации.

По данным И. Ф. Александрова, добавление аммиака усиливает бактерицидное действие хлорида серебра. Для обеззараживания воды в полевых условиях он предложил

применять «роговое серебро», получаемое сплавлением хлористого серебра в тигле при температуре 455 °С. Такой сплав режется ножом, хорошо дозируется и растворяется в растворе аммиака. В период второй мировой войны германская промышленность выпускала его в гранулированном виде под названием «олигодиновое серебро».

При обработке воды готовыми серебряными препаратами обеспечивается дозировка серебра в любом количестве, но сами препараты оказываются нестойкими: разлагаются на свету и при хранении, а при восстановлении серебра бактерицидные свойства их резко снижаются. Поэтому применение серебра в таблетированном виде не обеспечивает стабильного эффекта.

Наиболее эффективным методом приготовления серебряной воды является электролитический метод (обогащение воды серебром при помощи электролиза), широко применяющийся в последнее время. Серебряная вода, полученная электролитическим методом, используется для дезинфекции питьевых и минеральных вод, консервирования некоторых продуктов питания, ряда фармацевтических препаратов и в лечебных целях.

Первые опыты по получению раствора серебра электролитическим методом были проведены автором в 1930 г. Было установлено, что при пропускании постоянного электрического тока через пару погруженных в воду серебряных электродов анод растворяется и вода обогащается серебром.

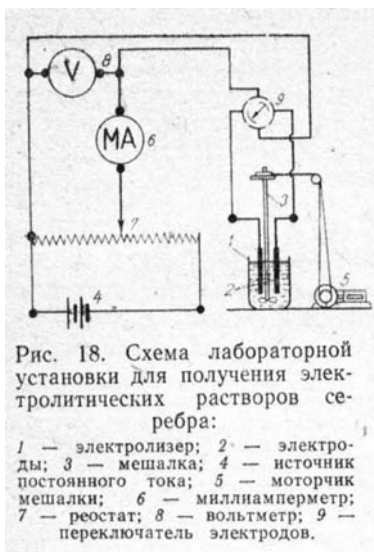
Оказалось, что оптимальные условия получения серебряной воды таковы: расстояние между серебряными пластинками — 5—12 мм, плотность тока — 0,15—5,0 мА/см², напряжение на электродах — 3—12 В.

Кроме того, необходимо периодически менять полярность электродов (через каждые 5—10 мин) и слегка перемешивать жидкость вокруг них.

Выход серебра по току в зависимости от условий электролиза и солевого состава питьевой воды изменяется в пределах 50—95% (согласно формуле Фарадея, при 1 А-ч растворяется 4,023 г серебра).

Схема лабораторной установки, использованной автором при первых исследованиях, приведена на рис. 18.

Полученная таким методом серебряная вода, прибавляемая к жидким пищевым продуктам (раствору крахмала, молоку, фруктовым сокам и др.), увеличивала срок их сохранности. Раствор серебра, вводимый в обеззараживаемую воду, обеспечивал ее антимикробные свойства на протяжении многих дней.



В 1932 г. была опубликована работа Краузе [185], в которой он также предложил электролитический метод обогащения воды серебром, названный им электрокатадиновым. Растворение металла по его методу происходило в условиях, близких к нашим.

В 1935—1948 гг. в Лаборатории технологии воды Института химии АН УССР, а с 1965 г. в Секторе химии и технологии воды АН УССР автор при участии А. М. Когановского, О. К. Лебединцевой, Е. А. Сотниковой, О. И. Бершовой и др. [61—90] детально изучил особенности сереб-

ряной воды и ее концентратов. Было установлено, что серебряная вода, полученная электрохимическим методом, обладает большим бактерицидным эффектом, чем вода, полученная методом контактирования с посеребренными поверхностями или растворением солей серебра. Электролитическая серебряная вода — высокобактерицидное средство, а применяемые ничтожные дозы абсолютно безвредны.

Одновременно исследования подтвердили, что протекание процесса растворения серебра с помощью электрического тока зависит как от состава примесей воды, так и от условий электролиза. Взвеси и растворенные в воде соли влияют на процесс в той мере, в какой они образуют на поверхности серебра плотные пленки, делающие электроды малорастворимыми, или же изменяют электрохимические реакции на электродах.

Наибольшее влияние на электродные процессы, происходящие при анодном растворении серебра, имеют анионы S^{2-} , I^- , Br^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , HCO_3^- . Большие количества сульфатов также несколько понижают выход серебра по току в связи с выделением кислорода на аноде. Катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др. оказывают на процесс незначительное влияние. Катионы Al^{3+} , Fe^{2+} и Fe^{3+} снижают концентрацию серебра в растворе вследствие его адсорбции на гидроксидах алюминия и железа. В связи с протеканием на серебряных электродах побочных электрохимических реакций и их пассивацией выход серебра по току в воде различного со-

левого состава может изменяться в довольно широких пределах. Поскольку от этой величины зависит фактическая доза серебра в обработанной воде, необходимо определять ее по данным химического анализа.

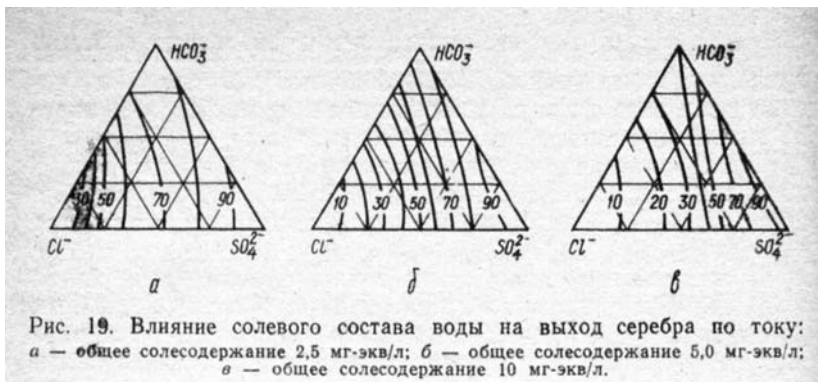
Было показано, что в большинстве природных вод, в которых содержание хлоридов не превышает 30 мг/л, а сульфатов — 50 мг/л, выход серебра по току составляет около 90%.

В последнее время в связи с широким использованием метода обеззараживания и консервирования воды серебром на морских судах, заводах минеральных вод и других объектах возникла необходимость более детально изучить выход серебра по току в зависимости от ионного состава воды, изменяющегося в широком диапазоне. Так как в природных водах анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- являются преобладающими, а остальные содержатся лишь в незначительных концентрациях, то выход серебра по току изучался методом треугольных диаграмм. Этот метод позволяет систематически изучить все возможные комбинации ионного состава воды и представить результаты исследования в наглядной и удобной для использования форме. В качестве модели природной воды при построении треугольных диаграмм пользовались дистиллированной водой, в которую вводили определенные концентрации электролитов. В данном случае готовили 15 составов модельной воды, содержащей различные, соответствующие точкам диаграммы, количества анионов Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- . Суммарную концентрацию электролитов природных вод, исследуемых при помощи диаграмм, принимали равной 2,5; 5 и 10 мг-экв/л. Таким образом, вершины треугольников диаграмм соответствуют содержанию в исходном растворе 2,5; 5 и 10 мг-экв/л Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . В процессе электролиза определяли фактическое содержание в воде серебра колориметрическим титрованием с дитизоном и вычисляли выход серебра по току в процентах. Точки на диаграмме, отвечающие одинаковому выходу серебра по току в процентах, соединяли изолиниями.

Пропись приготовления модельных составов воды приведена в табл. 21, а результаты исследования — на рис. 19 [63].

Анализ треугольных диаграмм позволяет сделать следующие выводы:

1. В водах сульфатного класса выход серебра по току мало зависит от минерализации и колеблется от 80 до 90%,



В водах гидрокарбонатного класса выход серебра по току зависит в основном от содержания хлоридов и общей минерализации и колеблется от 98 до 30% при изменении общей минерализации от 100 до 1000 мг/л.

В водах хлоридного класса выход серебра по току сильно зависит от минерализации и содержания других анионов (SO_4^{2-} , HCO_3^-) и колеблется от 10 до 60%.

2. Анионы по своей способности понижать выход серебра по току могут быть расположены в следующий ряд:

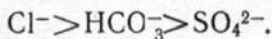
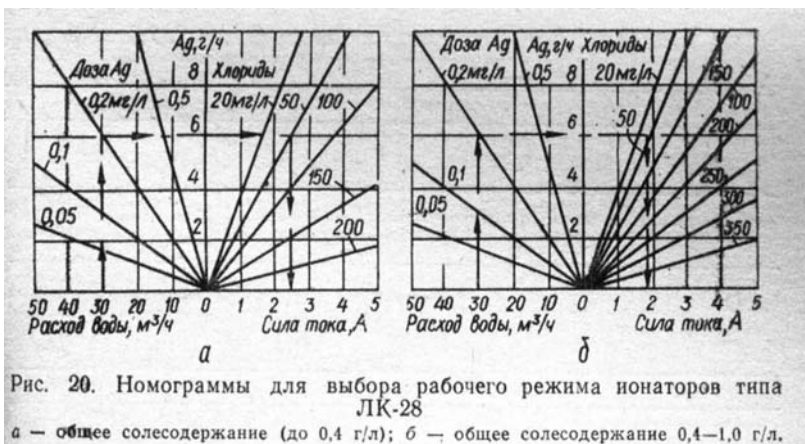


Таблица 21. Приготовление модельных составов природной воды при общем солесодержании 2,5 мг-экв/л

№ точек диаграммы	Количество добавляемых анионов, мг/л			Количество добавляемых 1,0 н. растворов, мл		
	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NaCl	Na_2SO_4	$NaHCO_3$
1	—	—	152	—	—	2,5
2	21,7	—	114,2	0,62	—	1,87
3	—	30	114,2	—	0,62	1,87
4	43,7	—	76,5	1,25	—	1,25
5	21,7	30	76,5	0,62	0,62	11,25
6	—	60	76,5	—	1,25	1,25
7	65,5	—	38	1,87	—	0,62
8	43,7	30	38	1,25	0,62	0,62
9	21,7	60	38	0,62	1,25	0,62
10	—	90	38	—	0,87	0,62
11	87,5	—	—	2,5	—	—
12	65,5	30	—	1,87	0,62	—
13	43,7	60	—	1,25	1,25	—
14	21,7	90	—	0,62	1,87	—
15	—	120	—	—	2,5	—



3. По треугольным диаграммам, зная содержание в воде основных анионов в мг-экв/л (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}), можно быстро определить выход серебра по току и назначить необходимый режим работы ионатора.

Для упрощения пользования полученными данными нами составлены номограммы, по которым с небольшим приближением (± 10) можно, зная концентрацию хлоридов, общую минерализацию и расход воды, быстро определить рабочий режим ионатора (например, ионатора ЛК-28). Такие номограммы показаны на рис. 20. Так при расходе воды 30 м³/ч, дозе серебра 0,2 мг/л и содержании хлоридов 50 мг/л при общем солесодержании воды до 0,4 г/л необходимая сила тока составляет 2,4 А (рис. 20, а), а при тех же данных и общем солесодержании 0,8 г/л — 1,8 А (рис. 20, б).

Влияние некоторых катионов и анионов солей, входящих в минеральный состав природных вод, на выход серебра по току показано в табл. 22.

Выход серебра по току также в значительной мере зависит от режима электролиза. С повышением плотности тока выход серебра падает, поскольку при этом ускоряются побочные процессы на электродах (рис. 21). По этой же причине на растворение серебра отрицательно влияет и энергичное перемешивание. При периодическом изменении направления тока (смене полярности электродов) удается уменьшить его плотность на электродах, что положительно сказывается на выходе серебра по току. На выход серебра по току оказывают влияние также расстояние между электродами, концентрация тока, температура раствора и т. п.

Таблица 22. Влияние минерального состава воды на выход серебра по току

Влияние катионов					
NH_4^+		Fe^{2+}		Fe^{3+}	
Концентрация, мг/л	Выход серебра, %	Концентрация, мг/л	Выход серебра, %	Концентрация, мг/л	Выход серебра, %
0,025	94,0	Следы	94,0	Следы	94,0
0,8	96,9	1,5	95,0	1,12	94,9
8,0	88,2	15,0	95,0	11,2	95,4

Влияние анионов					
Cl^-		SO_4^{2-}		S^{2-}	
Концентрация, мг/л	Выход серебра, %	Концентрация, мг/л	Выход серебра, %	Концентрация, мг/л	Выход серебра, %
2,0	95,0	1,5	94,0	0,55	93,4
70,0	91,1	25,0	89,9	1,12	95,4
60,0	63,4	250,0	39,1	2,25	77,0

Исследования ряда авторов [5, 217] показали, что эффект обеззараживания воды серебром, полученным элект-

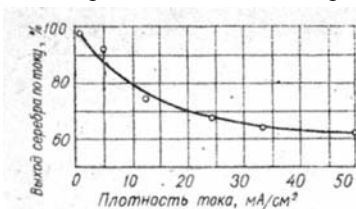


Рис. 21. Зависимость выхода серебра по току от анодной плотности тока.

ролизом, выше, чем эффект обеззараживания методом контактирования воды с посеребрёнными поверхностями или растворением солей серебра. Эти преимущества электролизного серебра, как уже упоминалось, очевидно, связаны с побочными продуктами электролиза — гипохлоритом и перекисными соединениями се-

ребра, концентрации которых столь незначительны, что влияния на многоклеточные организмы животного и растительного мира не оказывают.

АППАРАТУРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ И ЕЕ КОНЦЕНТРАТОВ

Аппаратура, применяемая для получения серебряной воды, в соответствии с существующими методами насыщения воды серебром может быть разделена на два главных типа. К первому относятся установки, принцип действия которых основан на контактировании воды с посеребренными поверхностями, ко второму — аппараты, обогащающие воду серебром под действием электрического тока.

Приборы, используемые для обогащения* воды серебром в результате контактирования с посеребренной поверхностью, обычно представляют собой сосуды различной емкости, наполненные посеребренными кольцами Рашига, песком или углем, бусами, кусками стекла и т. п. (рис. 22). В такой аппаратуре вода либо настаивается в контакте с посеребренной поверхностью, как это имеет место в кувшинах

Бехгольда с посеребренным углем и кувшинах Краузе, наполненных кольцами Рашига, либо фильтруется через посеребренную насадку.

В настоящее время фирма «British Berkefeld Filters*» (Англия) выпускает домовые и квартирные фильтры с микропористыми патронами производительностью 60—113 л/ч, в которых вода фильтруется через посеребренный диатомит (рис. 23). Поскольку размер пор, через которые проходит вода, составляет около 0,5 мк, перед фильтром необходимо обеспечить давление не менее 3 атм.

Если давление в водопроводной сети недостаточное, его приходится повышать непосредственно перед фильтром.



Рис. 22. Приборы Краузе для получения катадионовых растворов серебра контактным методом.

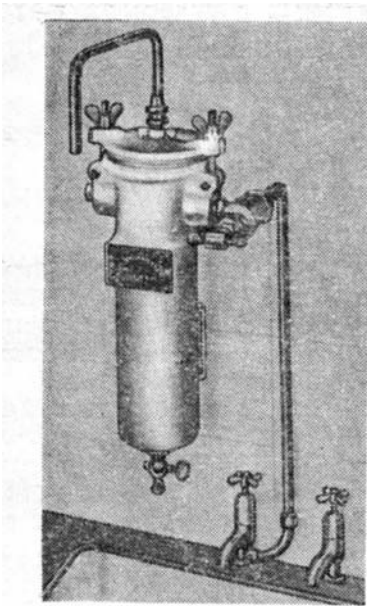


Рис. 23. Квартирный фильтр фирмы „British Berkfeld Filters“ (производительность 113 л воды в 1 ч).

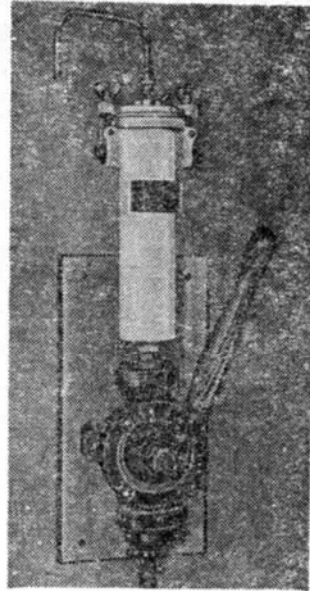


Рис. 24. Квартирный фильтр фирмы „British Berkfeld Filters“ с ручным насосом (производительность 60—90 л воды в 1 ч).

Для этой цели та же фирма выпускает квартирные фильтры с ручным насосом (рис. 24).

В Советском Союзе установки для получения серебряной воды методом контактирования были предложены С. В. Моисеевым. В 1934—1935 гг. он разработал методику получения высокоактивного посеребренного песка и сконструировал настольные серебряные фильтры производительностью 2 л/ч для бытовых и лечебных целей, а также установку с посеребренным песком производительностью 100—400 л/ч. Эти установки использовались с целью обеззараживания питьевой воды в горячих цехах и в киосках для продажи газированной воды.

На рис. 25, а показана установка Моисеева для получения серебряной воды в промышленных условиях. Вода под напором городской водопроводной сети вначале проходит через префильтр, состоящий из посеребренного 1 и обычного речного песка 2. Фильтрат поступает самотеком в верхнюю часть вторичного фильтра с посеребренным песком, увлекаая за собой наружный воздух; струя воды раз-

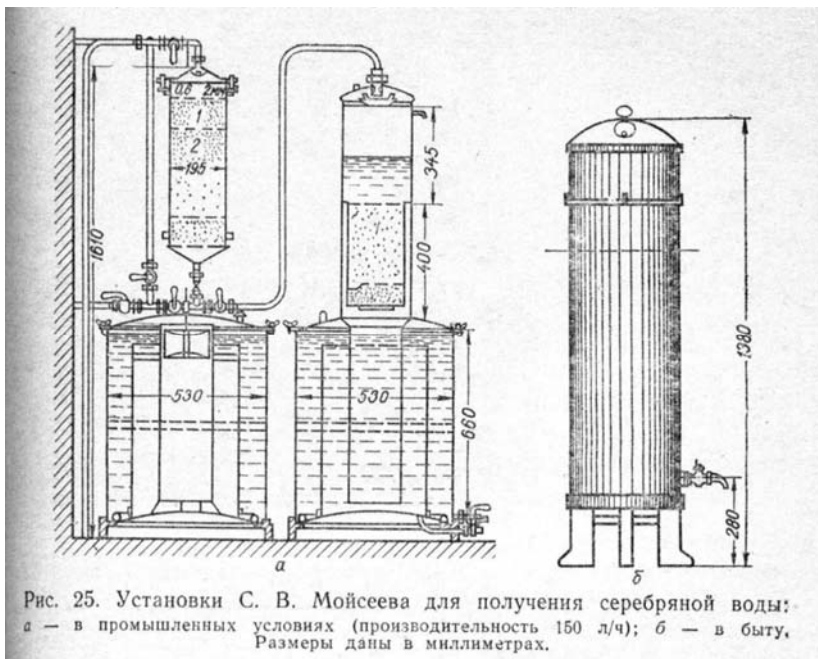


Рис. 25. Установки С. В. Мойсеева для получения серебряной воды: а — в промышленных условиях (производительность 150 л/ч); б — в быту. Размеры даны в миллиметрах.

Сбивается расположенным на ее пути отражателем на отдельные струйки и вновь фильтруется через слой посеребренного песка (№ 56) толщиной 30 см. Далее самотеком фильтрат поступает в помещенный ниже резервуар последствия, в котором вода выдерживается не менее 2 ч. Обеззараженная вода отбирается из установки через сливной кран. Так же устроена и установка Мойсеева для применения в домашних условиях (рис. 25, б).

Аппаратура, работающая по принципу контактирования посеребренной поверхности с водой, малопроизводительна и не дает возможности получать растворы серебра необходимой концентрации.

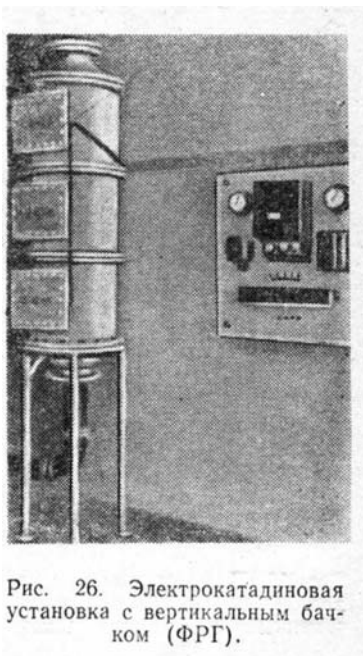


Рис. 26. Электродатодная установка с вертикальным бачком (ФРГ).

Рис. 27. Электрокатадиновая установка с горизонтальным бачком (ФРГ).

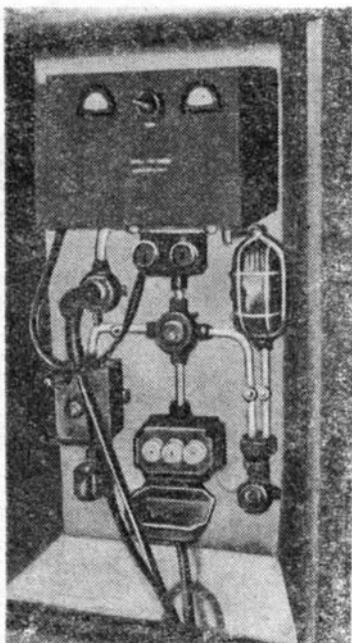
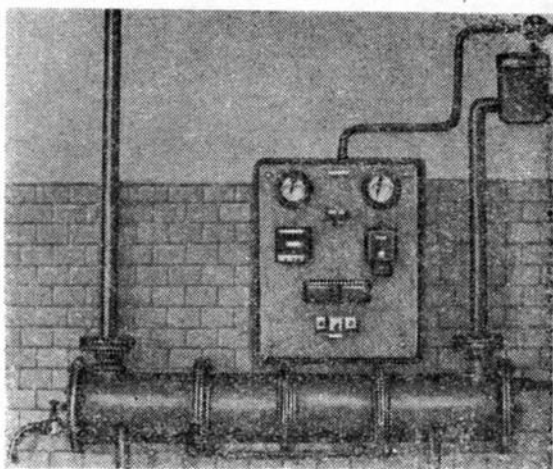


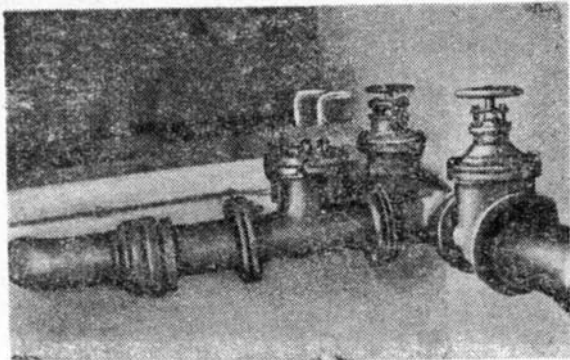
Рис. 28. Пульт управления нонатора „Сима-Сина“, вмонтированный в стенной шкафчик.

Электролитическая аппаратура обладает рядом преимуществ, вытекающих из особенностей метода, на котором она основана. В этой аппаратуре дозирование и учет вводимого серебра производится по расходу электроэнергии. Такие установки компактны, обеспечивают высокую производительность и необходимую точность дозирования.

Для введения серебра в воду, как правило, используется постоянный ток небольшого напряжения (до 20 В). Изменяя силу тока и время прохождения воды через аппарат, можно получать растворы серебра любой концентрации. Количество расходуемого серебра ничтожно (0,05—0,25 г на 1 м³ воды).

На рис. 26 и 27 представлены образцы аппаратов, применяющихся за рубежом. Каж-

Рис. 29. Электролизер ионатора „Сита-Сина“ установленный на трубопроводе, подающем воду в резервуар чистой воды (г. Обергарц).



дый аппарат имеет металлический бак, в который опущены серебряные электроды, омываемые проточной водой. Полярность электродов автоматически меняется через каждые 15 мин; вода, протекающая через аппарат, собирается в резервуаре, куда поступает после обеззараживания.

В настоящее время фирма «Angelmi Werken» (ФРГ) выпускает ионаторы системы «Сита-Сина» различной производительности для установки на небольших водопроводах.

На рис. 28 показан пульт управления ионатора «Сита-Сина», вмонтированный в стенной шкафчик, и на рис. 29 и

30 — две модели электролизеров этого ионатора, установленные на трубопроводе и в резервуаре с чистой водой.

Аппараты типа «Сита-Бта» устанавливают, как



Рис. 30. Электролизер ионатора „Сита-Сина“, установленный в резервуаре с чистой водой.

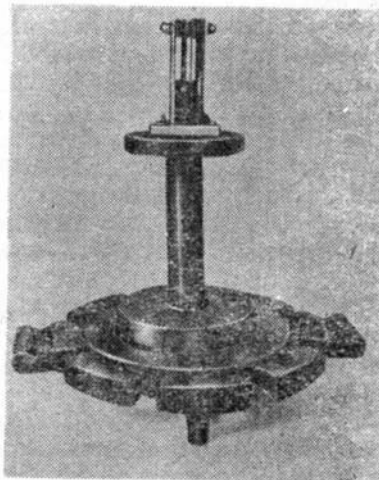


Рис. 31. Электроды ионатора „Сита-Сина“, смонтированные на съемном фланце.

правило, за фильтрующими устройствами перед запасным или напорным резервуаром. Включение их производится регулирующим насосом. Благодаря регулированию потока воды доза серебра остается постоянной [166].

На рис. 31 показаны электроды ионатора, смонтированные на съемном фланце. Анод выполнен из серебряной пластинки толщиной 5 мм, а катоды — из нержавеющей стали. В моделях ионаторов «Cuma-Sina» серебряный анод имеет поверхность 10—200 см².

В последние годы интерес к методу обеззараживания воды электролитическими растворами серебра возрос. Некоторые европейские фирмы выпускают ионаторы различной производительности для обеззараживания воды на небольших водопроводах и там, где применение хлора нежелательно и требуется длительное хранение воды (на кораблях), а также для обеззараживания небольшого количества воды (до 200 м³ в сутки) в санаториях, больницах, на предприятиях и т. п., для дезинфекции воды в плавательных бассейнах [166, 184, 190, 214], причем подчеркивается полная безвредность малых доз серебра для организма человека.

Так, фирма «Comega» (Франция) выпускает ионаторы типа «Electro Argoligene» и «Combine» [174]. В ЧССР изготавливаются автоматизированные ионаторы типа ZUV, разработанные доктором Куркой и инженером Фиалой [212].

Работы по изучению и использованию метода обработки воды электролитическими растворами серебра проводятся в США [178], Англии [207, 218], Японии [47] и других странах.

В 1934 г. в АН УССР автором на основе выполненных технологических исследований было создано несколько вариантов отечественной аппаратуры, необходимой для осуществления на практике процесса обогащения воды серебром путем анодного растворения металла. Эти аппараты были названы ионаторами.

К 1937 г. механические мастерские АН УССР выпустили небольшую серию первых отечественных ионаторов. Заводское производство стационарных и переносных ионаторов, налаженное в Киеве с 1939 г., было прервано Великой Отечественной войной. С 1948 г. в механических мастерских Управления водоканализации г. Киева началось серийное производство ионаторов, значительно усовершенствованных и модернизированных, выпускаемых под маркой ЛК (разработки и изготовление их осуществлялись под руководством автора). Это были стационарные иона-

торы ЛК-21, ЛК-22 и ЛК-23, переносный лабораторный ионатор ЛК-25 и дорожный ЛК-26.

С 1960 г. на Киевском опытно-экспериментальном заводе медицинских приборов производятся ионаторы ЛК-28 (ИЭМ-50) напорного типа, предназначенные для установки на судах морского флота, и ионаторы ЛК-30 для плавательных бассейнов, заводов безалкогольных напитков и т. п. Ионаторы ЛК-28 (ИЭМ-50) экспортируются в ГДР, Пакистан и другие страны.

В 1975 г. на основе конструкции ионатора ЛК-28 для Министерства судостроительной промышленности СССР был разработан типоразмерный ряд ионаторов ЛК-36, ЛК-37, ЛК-38, ЛК-39, ЛК-40, соответствующий различной емкости цистерн морских судов и их техническому оснащению. Эта аппаратура усовершенствована. Управление ее работой осуществляется с помощью автоматических устройств, но может проводиться и ручным способом.

Опытным производством Института коллоидной химии и химии воды АН УССР изготавливаются также реконструированные в последнее время стационарные ионаторы ЛК-30 и переносный лабораторный ионатор ЛК-25; дорожные ионаторы ЛК-26 и ЛК-27 освоены заводом электронных микроскопов им. 50-летия ВЛКСМ в г. Сумы. Мели топольский компрессорный завод наладил выпуск двух образцов бытовых ионаторов — ЛК-31 и ЛК-32.

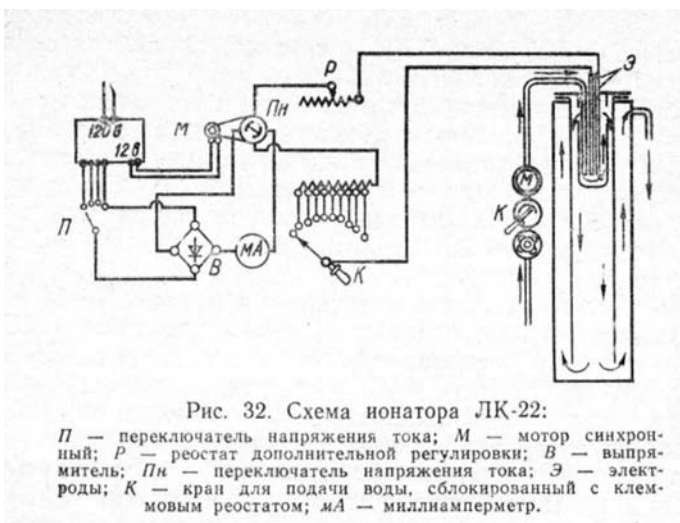
Основными частями ионатора являются электродозирующее устройство и серебряные электроды *.

Электродозирующее устройство стационарных ионаторов, питающихся переменным током, состоит из понижающего трансформатора, выпрямителя, вольтметра и миллиамперметра постоянного тока, реостата, регулирующего силу тока, и других приборов, автоматизирующих процесс.

* Электроды изготавливают либо из серебра Ср 999,9, либо из серебра Ср 875,0.

При использовании ионаторов для приготовления концентрированных растворов серебра в медицине и пищевой промышленности следует применять электроды из серебра Ср 999,9. Для санитарно-технических нужд, например, для обеззараживания посуды, тары, воды в плавательных бассейнах, а также для обеззараживания питьевой и минеральной воды дозами, не превышающими 0,5 мг/л, можно пользоваться электродами из серебра Ср 875,0.

В тех случаях, когда предусмотрено переключение полярности электродов (ионаторы ЛК-21, ЛК-22, ЛК-28, ЛК-30) либо когда ионаторы предназначены для широкого применения в быту (ЛК-25, ЛК-26, ЛК-27, ЛК-31 и ЛК-32), оба электрода следует изготавливать из серебра. В других случаях анод ионатора выполняется из серебра, а катод — из нержавеющей стали, или графита. Электродная пара серебро—графит [при наличии в воде хлоридов позволяет получать как серебряную воду (анод — серебро), так и раствор гипохлорита (анод — графит)].



Аппараты переносного типа имеют также клеммы для подключения к источнику постоянного тока.

Стационарный ионатор ЛК-21 был установлен в 1946 г. в Киевском дворце физкультуры и спорта для обеззараживания серебром воды в плавательном бассейне. Кроме перечисленных выше приборов, он имел автоматический переключатель направления тока и электролизер с четырьмя парами электродов, в котором происходит процесс электрохимического растворения серебра. Ионатор работает на переменном токе напряжением 127 или 220 В. Вода подается в аппарат из водопроводного крана непрерывной струей. При помощи ионатора ЛК-21 можно перевести в воду 50—900 мг/ч серебра.

Электрическая схема ионатора периодического действия ЛК-22 производительностью 15—200 мг/л серебра дополнена клеммовым реостатом, заблокированным с краном, регулирующим подачу воды в аппарат, что обеспечивает сохранение постоянной дозы серебра при различном расходе воды. Электроды укреплены в электролизере, помещенном внутри контактного бачка, емкость которого рассчитана таким образом, что она обеспечивает необходимое для обеззараживания время контакта (рис. 32).

Стационарный ионатор непрерывного действия ЛК-23 увеличенной производительности (25—500 мг/ч серебра), в отличие от предыдущей конструкции, не имеет контактного резервуара (рис. 33).

Автоматизированный ионатор ЛК-28 напорного типа, разработанный автором при участии А. П. Маляревского,

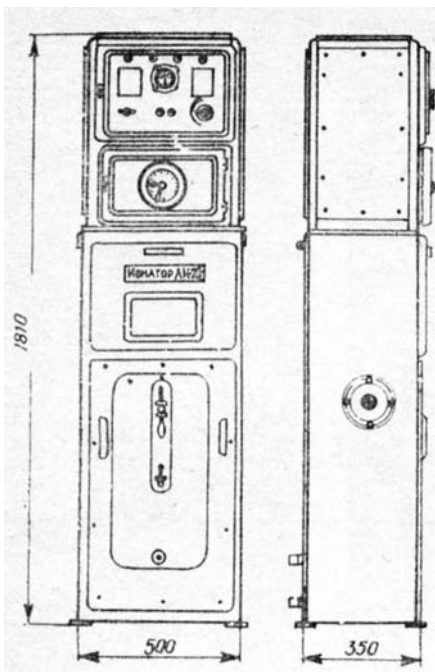


Рис. 33. Стационарный ионатор ЛК-23 непрерывного действия.

Рис. 34. Общий вид ионатора ЛК-28 (ИЭМ-50) заводского изготовления.

В. А. Слипченко и В. К. Тихонова, предназначен для установки на мелких хозяйственно-питьевых водопроводах, на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания, в плавательных бассейнах, на кораблях морского и речного флота (в последнем случае при изготовлении учитываются специальные требования).

При помощи ионатора ЛК-28 можно перевести в раствор до 10 г/ч серебра, что обеспечивает обработку 50 м³/ч воды (при дозе 0,2 мг/л Ag-ионов). Запас серебра в кассете электролизера гарантирует дезинфекцию 15 000 м³ воды (при условии 80% износа электродных пластин). Кроме того, в комплект ионатора входит запасная кассета, обеспечивающая обработку такого же количества воды. Ионатор ЛК-28 состоит из двух частей — электропульта и гидравлической части, смонтированных в отдельных металлических корпусах; в собранном виде он имеет габариты 1810x500x440 мм и вес 136 кг. Общий вид и конструк-



ция ионатора ЛК-28 (ИЭМ-50) заводского изготовления представлены на рис. 34 и 35. Электропульт ионатора состоит из двух отдельных блоков. В нижнюю часть электропульта вмонтировано моторное реле времени МРВ-27 в стандартном корпусе, а в верхней части на выдвигающемся шасси находится электрическая схема. Приборная панель закрывается защитной дверцей с окном из органического стекла. Электрическая установка ионатора рассчитана на питание переменным то-

Рис. 35. Конструкция ионатора ЛК-28 (ИЭМ-50).

ком частотой 50 Гц и напряжением 220 и 127 В.

Потребляемая мощность не превышает 200 Вт.

Электрическая часть ионатора (рис. 36) выполняет следующие функции: а) преобразует переменный ток напряжением 220 и 127 В в постоянный напряжением 18 В; б) обеспечивает равномерный износ электродных пластин и уменьшает их поляризацию периодическим переключением полярности; в) выключает схему из работы спустя заданное время.

Преобразование переменного тока в постоянный производится непосредственно самим электрическим аппаратом при помощи трансформатора ТР2 и селенового выпрямителя ВС. Необходимую величину силы тока в рабочей цепи устанавливают при помощи автотрансформатора АТ по амперметру А со шкалой 0—5 А. Последние две функции могут выполняться электрической схемой посредством ручной регулировки (*руч.*) или при автоматической работе (*авт.*) ионатора. При автоматической работе переключение полярности электродов достигается при помощи пары тепловых реле времени (ТРВ1 и ТРВ2), которые регулируются на срабатывание через 5 мин, и двух реле переключения полярности электродов (РП1 и РП3); для выключения ио-

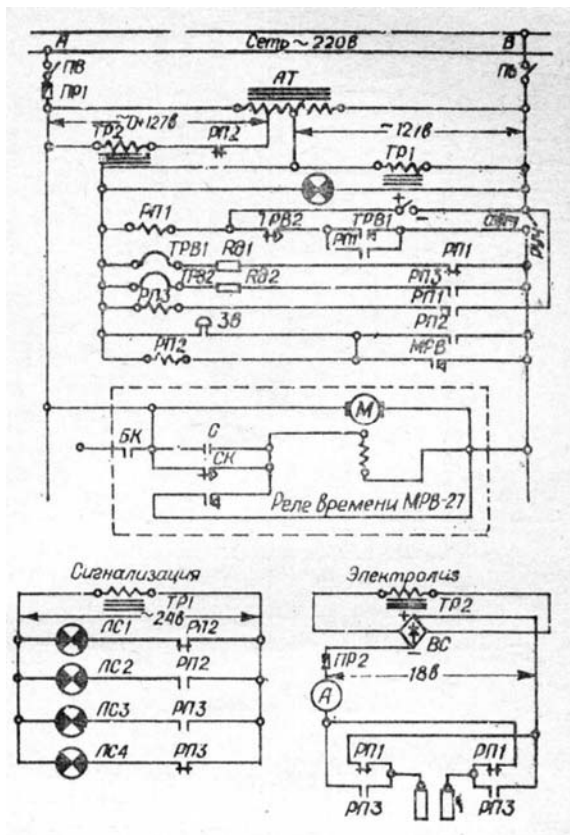


Рис. 36. Электрическая схема ионатора ЛК-28.

штора служит моторное реле времени МРВ-27 и промежуточные реле РП2. Контроль исправности отдельных участков схемы осуществляется с помощью сигнальных ламп ЛС.

Основными узлами гидравлической части ионатора являются электролизер и резервуар-накопитель, связанные с водопроводной магистралью системой труб. Гидравлическая схема ионатора ЛК-28 надежно действует как при обработке питьевой воды малыми дозами серебра, так и в случае приготовления концентрированных растворов серебра, имеющих лечебное и хозяйственно-бытовое назначение. Схема гидравлической части показана на рис. 37. Ионатор ЛК-28 (ИЭМ-50) успешно прошел испытания и в 1963 г. был рекомендован Междуведомственной комиссией к серийному производству и установке на судах морского и речного флота.

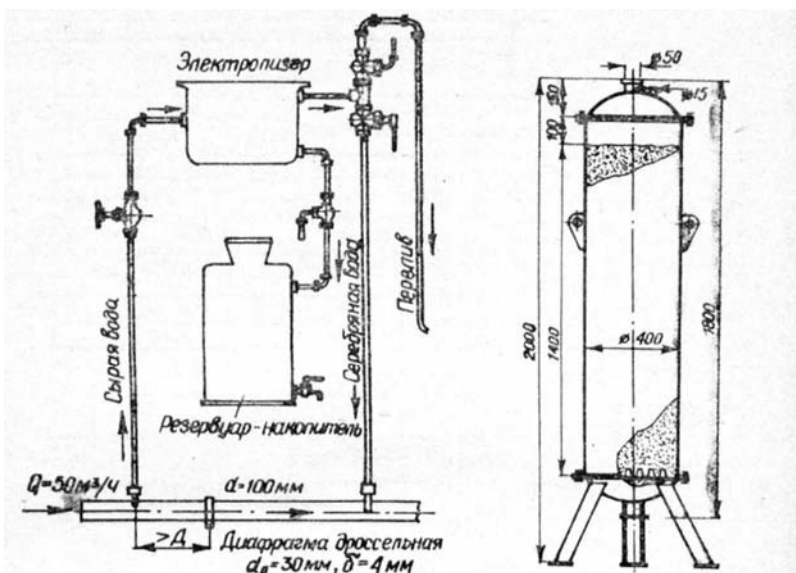


Рис. 37. Схема гидравлической части ионатора ЛК-28:

1 — электролизер; 2 — резервуар-накопитель; 3 — диафрагма дроссельная $d=30 \text{ мм}$.

Рис. 38. Напорный сорбфилтр ФС-3.

Главной государственной санитарной инспекцией СССР разрешено использовать для обеззараживания и консервирования воды на кораблях и других объектах дозы серебра 0,05—0,5 мг/л, но содержание последнего в питьевой воде, поступающей к потребителю, не должно превышать 0,05 мг/л [88]. В случае использования при обработке воды более высоких доз серебра необходимо проводить ее десеребрение перед подачей потребителю.

В секторе химии и технологии воды (ныне ИК.ХХВ) АН УССР научными сотрудниками В. А. Слипченко и М. Г. Гриненко под руководством автора разработан эффективный метод десеребрения воды фильтрованием через силициновую крошку размером 1—3 мм [81]. Процесс происходит в напорном сорбфилтре при потоке воды, подлежащей десеребрению, снизу вверх со скоростью до 25 м/ч.

При промывке загрузки с продуванием сжатым воздухом поглощающая способность ее по отношению к серебру полностью восстанавливается, что исключает необходимость применять химические методы регенерации.

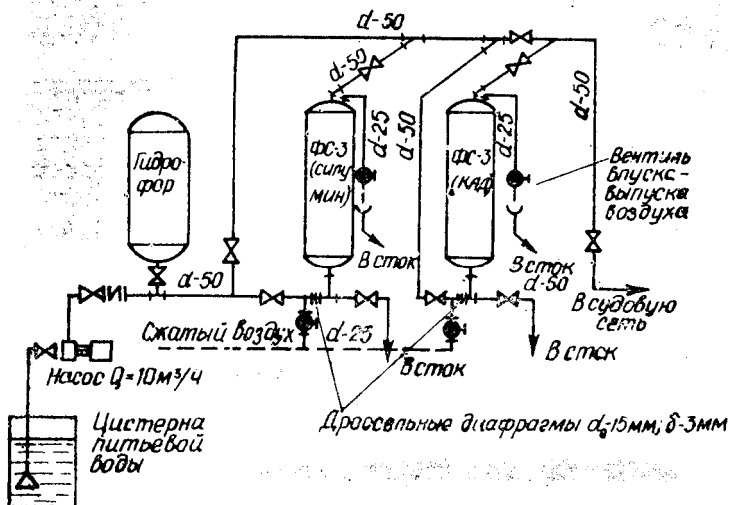


Рис. 39. Схема установки по десеребрению воды.

Разработанный в ИКХХВ АН УССР сорбитель ФС-3, обеспечивающий десеребрение $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ питьевой воды, устанавливается на судах в комплекте с ионатором ЛК-28 (ИЭМ-50). Сорбитель ФС-3 (рис. 38) состоит из стального цилиндрического корпуса диаметром 400 мм с стальными фланцевыми крышками и имеет габариты 625 X 625 X 2000 мм. Нижняя крышка с опорами является основанием фильтра.

С учетом системы трубопроводов для подвода и отвода воды, подачи и выпуска воздуха необходимая для монтажа высота сорбителя составляет 2200 мм. Между корпусами и нижней крышкой фильтра зажата пластина с резьбовыми отверстиями для крепления дренажных колпачков, равномерно распределяющих подаваемую воду и воздух по сечению фильтра. Внутреннюю поверхность сорбителя покрывают лаком ХС-74. Кроме силуминового сорбителя, на судах устанавливают и сорбитель, загруженный активированным углем марки КАД, удаляющим из воды неприятные запахи и привкусы.

Схема установки по десеребрению воды приведена на рис. 39.

В дальнейшем по предложению Министерства судостроительной промышленности СССР на морских судах вместо ионатора ЛК-28 будут устанавливаться ионаторы проточно-напорного типа морского исполнения — ЛК-36 (ИМТ-3),

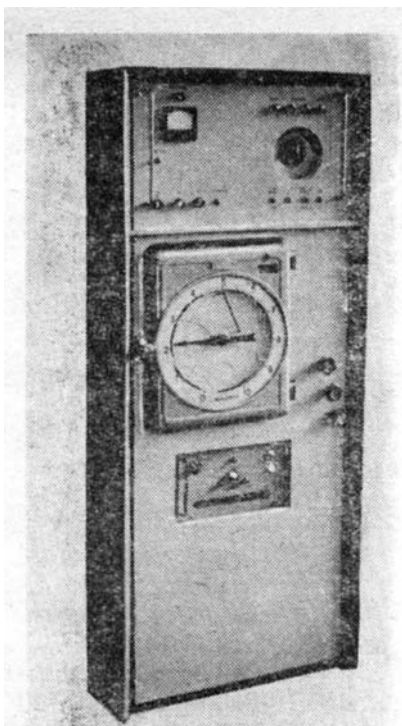


Рис. 40. Внешний вид одного из ионаторов типоразмерного ряда.

ЛК-37 (ИМТ-6), ЛК-38 (ИМТ-10), ЛК-39 (ИМТ-25), ЛК-40 (ИМТ-50).

На рис. 40 показан внешний вид одного из них. В отличие от существующих конструкций интенсивность растворения серебряных анодов в таких ионаторах зависит от количества протекающей через электролизер воды. Осуществляется это путем введенного в ионатор индукционного расходомера.

Одновременно с разработкой типоразмерного ряда ионаторов был предложен ряд фильтров десеребрения. Всего разработано четыре фильтра производительностью 1, 3, 6 и 10 м³/ч. Указанные режимы выбраны из расчета производительности имеющихся на морских судах санитарных насосов. Фильтры десеребрения (рис. 41) состоят из двух

цилиндров с вмонтированными в них алюминиевыми электродами и загрузкой.

Автоматическая работа фильтров осуществляется с помощью электропульта.

Опыты показали, что фильтры для десеребрения воды одновременно позволяют очищать воду от примесей органического и неорганического происхождения, а также от основной массы бактерий. В связи с этим фильтры десеребрения могут быть использованы и как самостоятельные водоочистные установки с последующим обеззараживанием воды любыми методами. На рис. 42 показана схема фильтров с электролизерами. Технологическая схема установок по обработке воды серебром с последующим десеребрением представлена на рис. 43.

На рис. 44 показан общий вид ионатора ЛК.-30, предназначенного для предприятий пищевой промышленности, заводов безалкогольных напитков, а также плавательных бассейнов. Он обеспечивает растворение и дозирование до

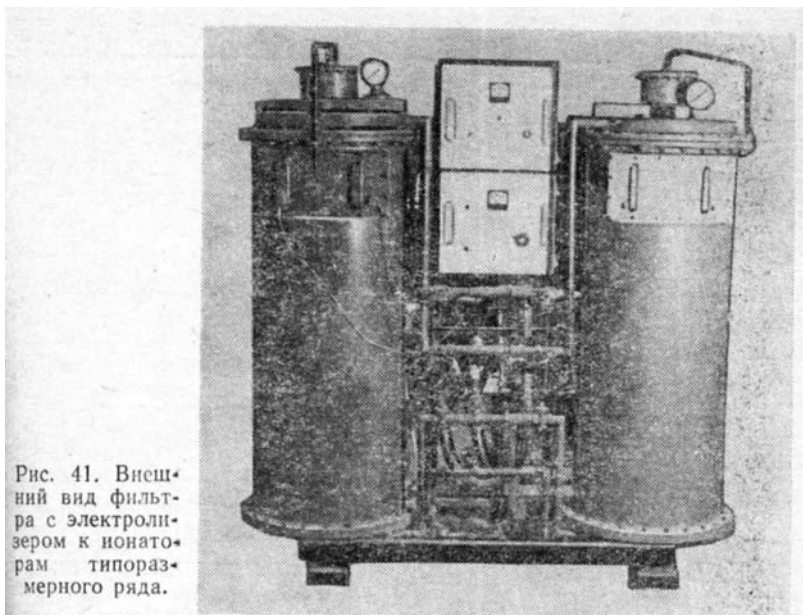


Рис. 41. Внешний вид фильтра с электролизером к ионаторам типоразмерного ряда.

15 г/ч серебра. Электрическая часть этого ионатора и электролизер аналогичны подобным устройствам ионатора ЛК-28. Питание электрической схемы осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

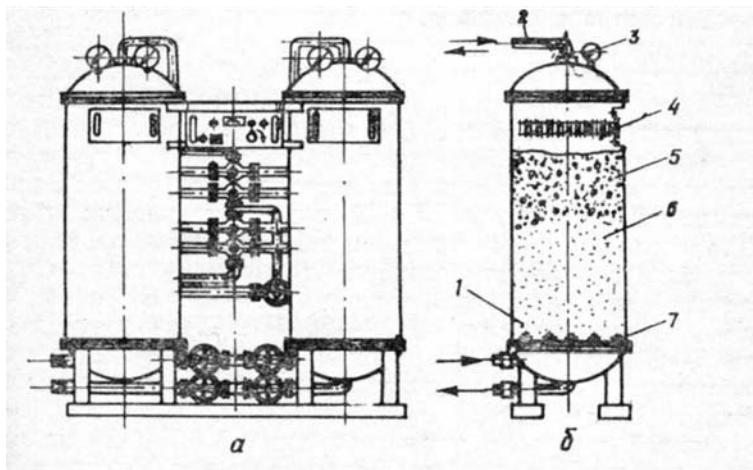
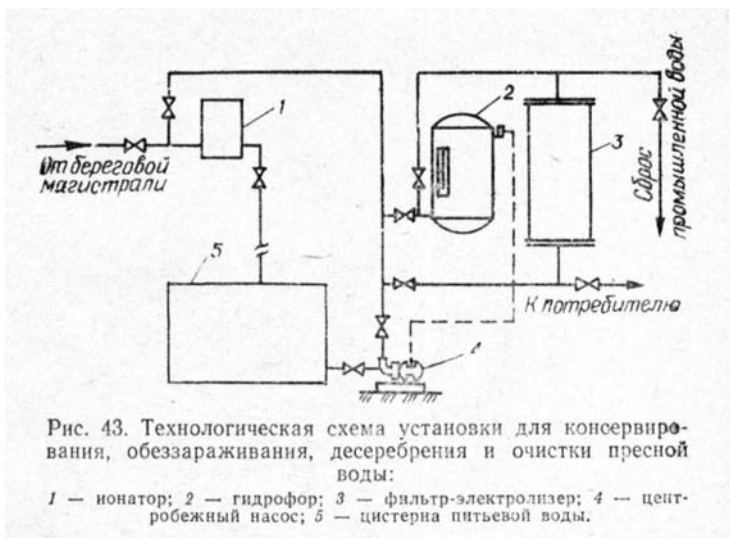


Рис. 42. Схема фильтров с электролизерами:
a — общий вид, *б* — в разрезе (*1* — корпус; *2* — подвод воды; *3* — манометр; *4* — электрокоагулятор; *5* — керамзит; *6* — песок; *7* — дренажная система).



Для получения серебряной воды или ее концентратов в научных организациях, полевых лабораториях, на санитарно-эпидемиологических станциях, а также в медицинских учреждениях требуется высокая точность дозирования серебра.

С этой целью разработан ионатор порционно-непрерывного действия ЛК-25. Электродозирующая часть последнего размещена в футляре, удобном для переноски, электроды укреплены на изолирующем держателе. Аппарат представлен в трех вариантах.

Первый вариант ионатора ЛК-25 (рис. 45) снабжен автоматическими механизмами для выключения прибора после введения заданных доз в обеззараживаемую среду и периодического изменения полярности электродов. Электрическая схема ионатора ЛК-25 позволяет плавно изменять напряжение на электродах и обеспечивает необходимую точность дозирования серебра. Аппарат питается электроэнергией от электрической сети (127—220 В), сухих батарей или аккумуляторов (12—24 В). Производительность его 5—250 мг/ч серебра. При работе электроды ионатора погружаются в сосуд с жидкостью, обрабатываемой серебром.

Второй и третий варианты ионатора ЛК-25 не имеют автоматических устройств. Второй вариант ионатора ЛК-25 имеет электроды, находящиеся в большом резервуаре с постоянным уровнем воды. В такой резервуар непрерывно поступает вода из водопроводной сети (рис. 46). Пульс

управления вмонтирован в ящик, на панели которого размещены электроизмерительные и регулирующие силу тока приборы. Ионатор подключается к осветительной электрической сети с напряжением 127 или 220 В. Производительность его составляет 10—450 мг/ч серебра.

На рис. 47 показан третий вариант этого типа ионаторов несколько меньшей производительности. Им можно пользоваться как для приготовления отдельных порций растворов серебра, так и для непрерывной обработки серебром струи воды, поступающей из водопроводного крана. В первом случае электродная вилка опускается в сосуд с водой, во втором она вставляется в небольшой смеситель, укрепленный на водопроводном кране. Смеситель (рис. 48) устроен таким образом, что сохраняет заданную концентрацию серебра в струе, вытекающей из него, независимо от количества подаваемой воды (избыток ее, не подвергаясь обработке серебром, уходит через переливную трубу). Аппарат обеспечивает растворение до 100 мг/ч серебра и питается от осветительной сети, сухой батареи или аккумулятора. С целью широкого использования электролитических растворов серебра в дорожных, полевых и бытовых условиях еще в военное

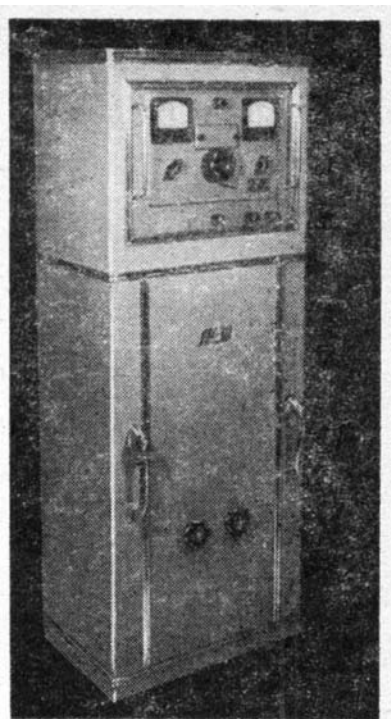


Рис. 44. Общий вид ионатора ЛК-30.

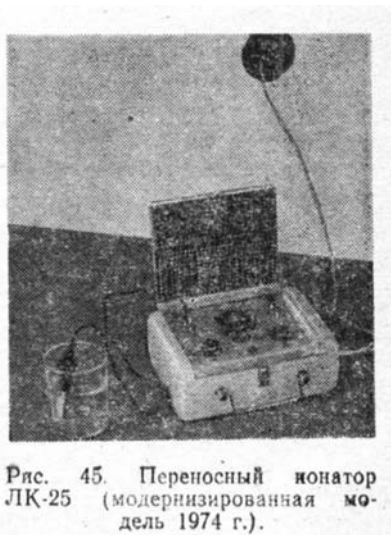
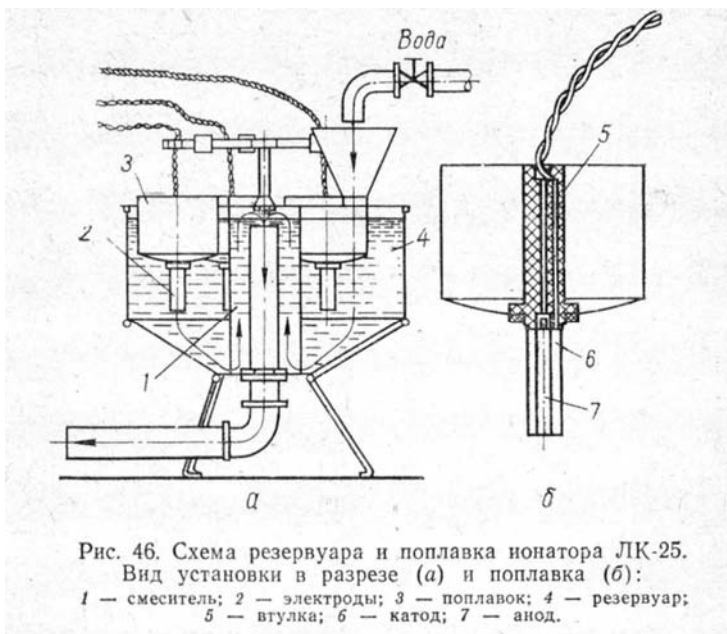


Рис. 45. Переносный ионатор ЛК-25 (модернизированная модель 1974 г.).



время был разработан ряд ионаторов упрощенных конструкций, питающихся электроэнергией либо от сухих батарей, вмонтированных в прибор, либо от осветительной сети переменного тока.

Из ныне производимых ионаторов к приборам первого типа относятся дорожные и полевые варианты ионатора ЛК-26, а к приборам второго типа — ионаторы ЛК-27, ЛК-31 и ЛК-32.

Ионаторы ЛК-26 в разные годы выпускались в различном оформлении. Вариант ионатора ЛК-26 полевого типа, выпускаемый опытным производством ИКХХВ АН УССР, приведен на рис. 49. Этот вариант разработан с учетом того, что в полевых условиях вода для питьевых целей может быть сильно загрязнена и следует обеспечить не только ее обеззараживание, но и очистку от взвешенных и коллоидных частиц.

Поэтому в комплектацию ионатора еще входят специальный фильтр-электролизер (рис. 50), а также эффективная смесь реагентов в пакетах или таблетках. Реагенты уложены в специальный цилиндр, заключенный в брезентовую сумку, носимую через плечо.

После обработки прилагаемыми реагентами, пропуска»

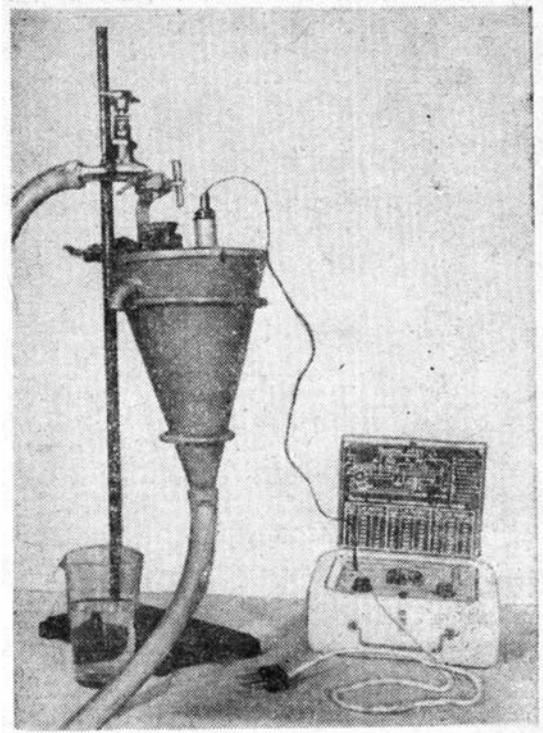


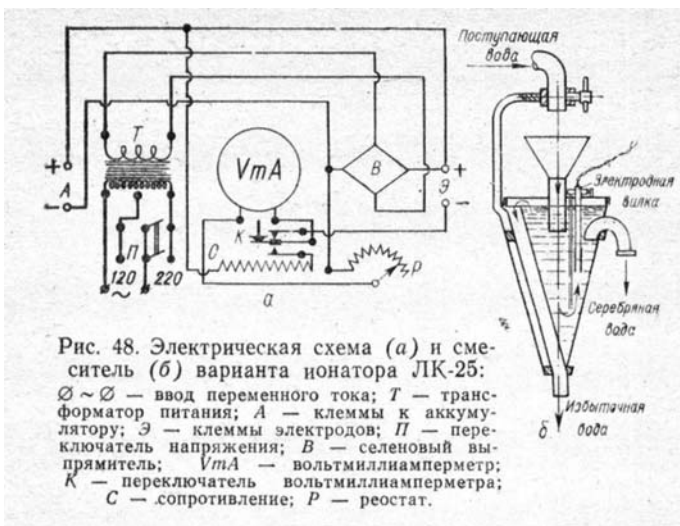
Рис. 47. Вариант ионатора ЛК-25 со смешительным устройством.

ния через фильтр-электролизер и выдерживания в течение 1—2 ч получают воду, удовлетворяющую по физико-химическим и бактериологическим показателям требованиям ГОСТ 2874-73.

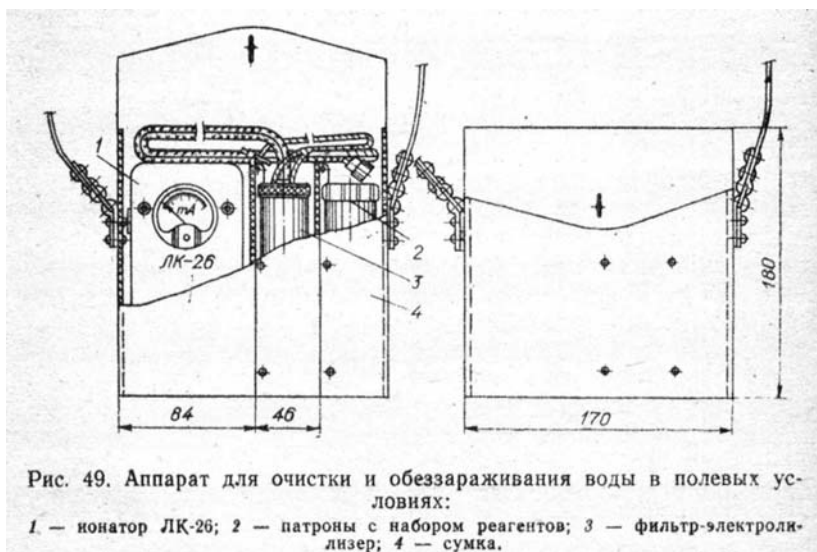
Смесь реагентов для очистки воды выпускается в таблетках или расфасованной в полиэтиленовых пакетиках из расчета одна таблетка или один пакетик на 10 л воды.

В состав смеси входят: активированный уголь ОУ-сухой — 1 г, сернокислый алюминий — 2,0 г, питьевая сода — 0,5 г. Такая смесь обеспечивает надежную очистку воды при содержании в ней взвеси до 2000 мг/л и цветности до 200 град. В проходящую через электролизер воду вводится 0,2—0,5 мг/л серебра.

Фильтр-электролизер состоит из цилиндрического корпуса 1, внутри которого есть две камеры: А — электролизера, Б — фильтра. Камеры разделены латунной сеткой 5. Камеру фильтра заполняют ватой и снаружи закрывают латунной сеткой 6, которая прижимается накладной гайкой 7.



В камере электролизера размещают серебряные электроды 4, укрепленные на резьбовой пробке 2. Обрабатываемая вода проходит через фильтр, поступает в электролизер А, затем, насыщенная ионами серебра, по шлангу 3 отводится в контактный сосуд. Результаты натурных испытаний полевого метода очистки и обеззараживания воды приведены в табл. 23.



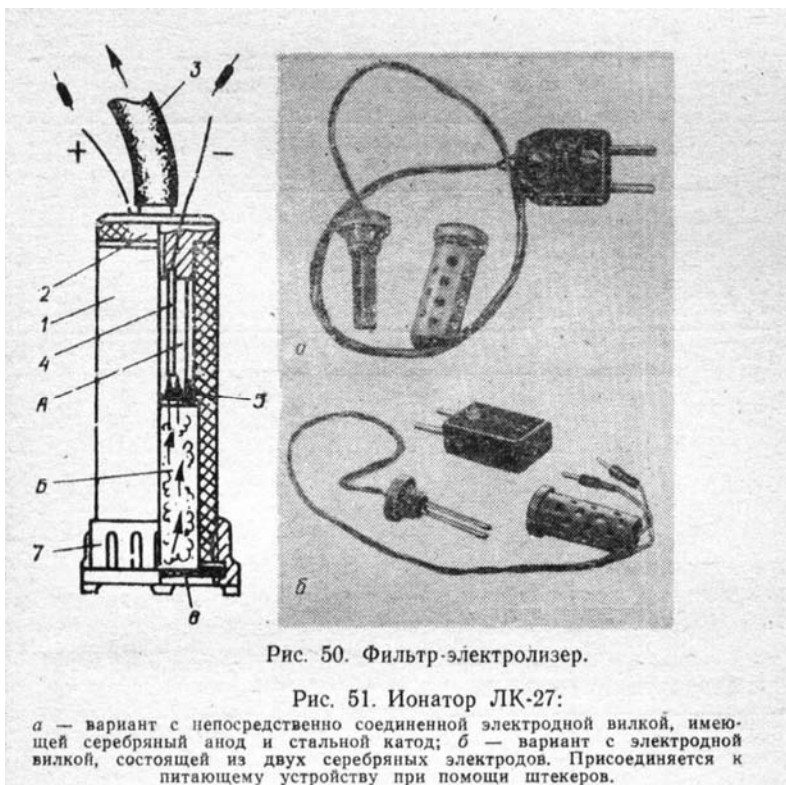


Рис. 50. Фильтр-электролизер.

Рис. 51. Ионатор ЛК-27:

а — вариант с непосредственно соединенной электродной вилкой, имеющей серебряный анод и стальной катод; *б* — вариант с электродной вилкой, состоящей из двух серебряных электродов. Присоединяется к питающему устройству при помощи штекеров.

Если по качественным показателям вода нуждается только в дезинфекции, то используется вилка с серебряными электродами, входящая в комплект ионатора.

Ионаторы ЛК-26 достаточно портативны, пригодны для индивидуального и группового пользования и легко могут быть применены в туристских походах, экспедициях, во время полевых работ.

Другим направлением в конструировании ионаторов бытового назначения явилась разработка упрощенных приборов, питающихся током от осветительной сети.

Так, нами был разработан ионатор ЛК-27 в двух вариантах с использованием

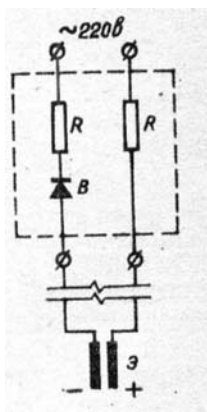


Рис. 52. Принципиальная электрическая схема питающего устройства ионатора ЛК-27:

R — омические сопротивления по 5—20 кОм; *B* — выпрямитель (диод Д7Ж); *Э* — серебряные электроды.

Таблица 23. Результаты натуральных испытаний полевого метода очистки и обеззараживания воды

Температура, °С	Исходная вода			Фильтрованная вода без введения серебра				Доза серебра, мг/л	Коли-титр фильтрованной воды, обработанной серебром	
	Коли-титр	Мутность, мг/л	Цветность, град	Коли-титр	Мутность, мг/л	Цветность, град	рН		через 1 ч	через 2 ч
									контакта	контакта
16	0,018	500	100	71	2	11	6,9	0,20	> 333	> 333
13	0,027	1000	80	0,05	2	8	6,9	0,20	63	> 333
6	0,040	10	200	0,11	2,1	15	7,0	0,23	21	> 333
10	0,035	10	150	0,13	2,1	12	7,0	0,23	84	> 333
20	0,130	10	150	0,28	1,8	12	7,0	0,21	> 333	> 333

малогобаритных выпрямительных устройств в блоке питания. Первый состоит из штепсельной вилки, в которую вмонтированы омические сопротивления и диод, а также вилки с электродами (анод — серебро, катод — нержавеющая сталь) и защитным перфорированным колпачком из непроводящего ток материала (рис. 51, а).

Таблица 24. Растворение серебра ионатором ЛК-27

Величина сопротивлений, вмонтированных в питающее устройство, кОм	Сила постоянного тока, мА	Растворение серебра, мг/мин
5	20	1,30
7,5	15	1,00
10	10	0,65
20	5	0,35

Примечание. Данные приведены для напряжения в сети переменного тока 220 В (частота 50 Гц) при использовании в качестве выпрямителя диода Д7Ж. Выход серебра по току 95%.

Второй вариант ионатора ЛК-27 устроен аналогично, только вилка имеет два серебряных электрода и подключается к питающему устройству при помощи двух штекеров (рис. 51, б), поэтому она может быть использована и в комплекте с ионатором ЛК-26.

Принципиальная электрическая схема питающего устройства представлена на рис. 52. Благодаря тому, что величина сопротивлений, включенных в устройство (5—20 кОм), намного больше сопротивления слоя воды между электродами, сила тока, про-

ходящего через воду, определяется в основном напряжением переменного тока (220 В) и величиной этих сопротивлений. Отклонения, вызываемые изменением электропроводности воды, не превышают в этих условиях 5%, что вполне допустимо.

Таблица 25. Ориентировочные дозировки серебра

Объект, обрабатываемый серебром	Необходимая концентрация серебра, мг/л	Время, необходимое для достижения эффекта	Цель обработки
Питьевая вода *	0,05—0,2 *	От 30 мин до 2 ч	Дезинфекция и консервирование
Минеральные и лечебные воды	0,2	2—6 ч	То же
Фруктовые и цитрусовые напитки	0,2 —0,5	2—6 ч	—,—
Вода в плавательных бассейнах	0,2 —0,5	2 ч	Дезинфекция
Посуда, тара	1,0 —5,0	До 30 мин	—,—
Свежие фрукты и овощи	2,5 —7,0	До 15 мин	—,—
Лечебные растворы ** для наружного употребления (промывания, примочки, полоскания, компрессы)	20,0 —30,0	3—5 мин (полоскание)	Лечебное средство по назначению врача
для внутреннего употребления (3—4 раза в день за 20 мин до или после еды)	0,4 —0,6 мг на прием	20—40 мин (примочки) Срок лечения от 3 до 45 дней	

* При систематическом употреблении воды, обработанной серебром, дозы последнего не должны превышать 0,05 мг/л. В случае обработки воды более высокими дозами серебра необходимо осуществлять ее десеребрение до указанной величины.

** Рекомендации заслуженного врача УССР М. А. Ромоданова и доцента А. В. Вакара, а также литературные данные.

В табл. 24 даются сведения о растворении серебра ионатором ЛК-27 при использовании питающих устройств с различной величиной омических сопротивлений.

Тут следует отметить, что исследования по дальнейшему усовершенствованию и разработке новых конструкций ионаторов в ИКХХВ АН УССР продолжаются. Эти работы осуществляются в значительной мере совместно с сотрудниками заводов, освоивших промышленное изготовление ионаторов. Так, Сумский завод электронных микроскопов выпустил новые модели ионаторов ЛК-26 и ЛК-27, а Мелитопольский компрессорный завод — бытовые ионаторы ЛК-31 и ЛК-32.

На рис. 53 показана такая новая модель ионатора ЛК-26а «Турист-2». Аппарат в отличие от прежней заводской конструкции наделен сухим аккумулятором, позволяющим производить периодическую зарядку (от 3 до 6 месяцев) от электрической сети. На рис. 54 дана электрическая

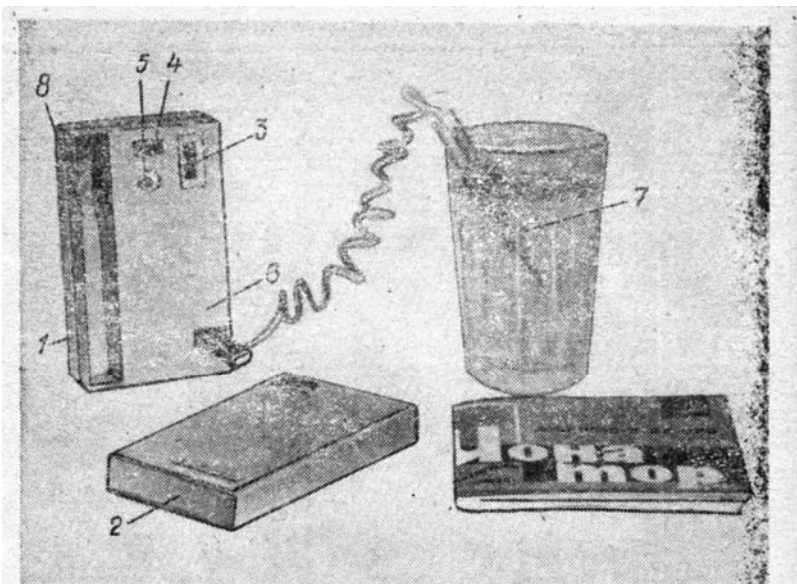


Рис. 53. Ионатор ЛК-26а («Турист-2») — модель, выпускаемая Сумским заводом электронных микроскопов:

1 — корпус ионатора; 2 — крышка; 3 — ручка выключателя; 4 — индикаторная лампочка; 5 — кнопка проверки источника питания; 6 — гнезда с присоединенными электродами; 7 — вилка с серебряными электродами; 8 — контактные штыри.

схема этого ионатора. Он оформлен в миниатюрном корпусе, разделенном на три отсека. В одном из них находятся серебряные электроды и контактные штыри, предназначенные для подключения ионатора к сети переменного тока

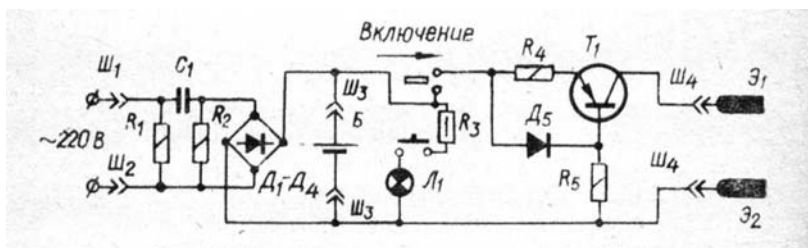


Рис. 54. Электрическая схема ионатора ЛК-26а:

R_1 — резистор МЛТ-0,25 — 470 кОм ± 10%; R_2 — резистор МЛТ-0,25 — 3,3 кОм ± 10%; R_3 — резистор МЛТ-0,25 — 100 Ом ± 10%; R_4 — резистор МЛТ-0,25 — 91 Ом ± 5%; R_5 — резистор МЛТ-0,25 — 4,7 кОм ± 10%; D_1 — D_4 — диоды полупроводниковые Д9Г, Д9Д, Д9В; D_5 — диод Д104А (КС156А, Д814А, Д814В); L_1 — лампа МН2,5—0,068; T_1 — транзистор МП39 (МП39А); $Ш_1$, $Ш_2$ — разъем штыревой; $Ш_3$ — колодки контактные; $Ш_4$ — гнездо контрольное МГК-1=1; $Э_1$, $Э_2$ — электроды серебряные; B — батарея аккумуляторная 7Д=0,1.



Рис. 55. Общий вид ионатора ЛК-27 заводского исполнения.

напряжением 220 В. Во втором расположена аккумуляторная батарея 7Д-01. В третьем — электронный стабилизатор, зарядное устройство и коммутация прибора, смонтированные на печатной плате. В днище корпуса впрессованы контактные гайки с резьбой, куда вворачиваются на время зарядки контактные штыри. При заряженном аккумуляторе (контролируется лампочкой) ионатор обеспечивает постоянство силы тока, а тем самым и постоянный расход серебра.

На рис. 55, 56 и 57 представлены общий вид и электрическая схема ионатора ЛК-27, изготавливаемого на Сумском заводе электронных микроскопов. Этот прибор обеспечивает подачу 0,4 мг/мин серебра. Он состоит из корпуса с постоянно присоединенными серебряными электродами. Корпус оборудован штырями и включается в сеть переменного тока напряжением 220 В. Внутри корпуса смонтированы резисторы, выпрямитель, переключатель полярности и сигнальная лампочка. Ионатор комплектуется подвеской или поплавок, который поддерживает электроды на определенном уровне.

По типу ионатора ЛК-27 в 1986 г. в ИКХХВ АН УССР разработана усовершенствованная конструкция бытового прибора-ионатора ЛК-29.

Общий вид этого ионатора представлен на рис. 58. Его принципиальная электрическая схема (рис. 59) рассчитана таким образом, чтобы ток через электроды поддерживался неизменным при изменяющейся проводимости межэлек-

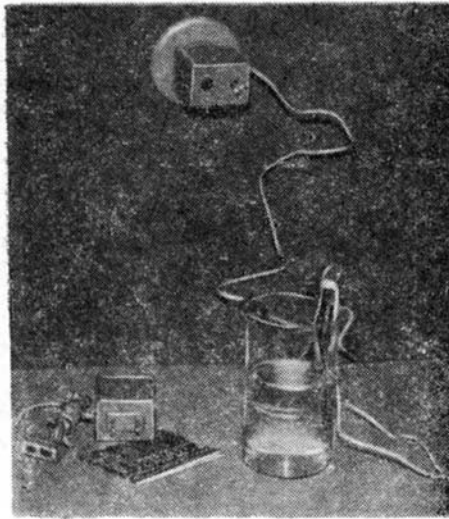


Рис. 56. Ионатор ЛК-27 (модель 1978 г.) в рабочем виде.

тродного промежутка. Это достигается с помощью электронного стабилизатора тока, собранного на элементах Д7, R3, R4, T1. Ток стабилизации равен 10 ма.

Для того, чтобы избежать чрезмерного напряжения на конденсаторе С1 в состав ионатора входит компенсирующая индикаторная цепь Д5; Д6.

При «сухих» электродах эта цепь берет на себя избыток тока. При этом светодиод Д6 горит ярче, чем при электродах, погруженных в воду.

Эта особенность позволяет визуально контролировать исправность электродного узла.

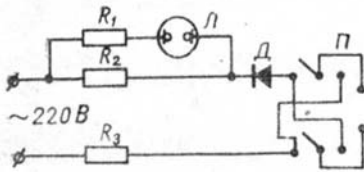


Рис. 57. Электрическая схема ионатора ЛК-27 (заводского изготовления):

R_1 — резистор 100 кОм; R_2 — резистор 8,2 кОм; R_3 — резистор 7,5 кОм; Л — лампа неоновая; Д — диод полупроводниковый Д-2266; П — переключатель П-2; Э — серебряные электроды.

На рис. 60—63 показаны ионаторы ЛК-31 и ЛК-32, выпускаемые Мелитопольским компрессорным заводом.

Ионатор ЛК-31 представлен на рис. 60, а его электрическая схема — на рис. 61. Последняя близка к электрической схеме ионатора ЛК-27. Ионатор ЛК-31 смонтирован в цилиндри-

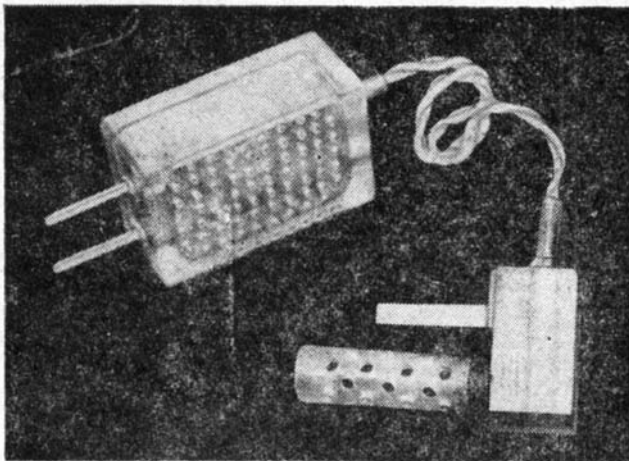


Рис. 58. Ионатор ЛК-29. Модель 1986 г.

ческом корпусе, к которому прикреплены серебряные электроды, закрываемые в нерабочем положении колпачком. На крышке смонтированы тумблер для переключения полярности электродов и сигнальная лампочка. Производительность ионатора — 0,5 мг/мин.

Внешний вид ионатора ЛК-32 и его электрическая схема показаны на рис. 62 и 63. По конструктивному оформле-

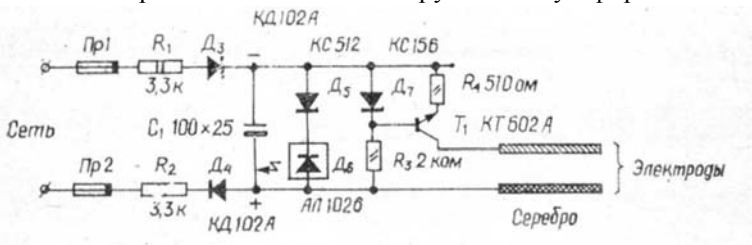


Рис. 59. Электрическая схема ионатора ЛК-29.

нию ионатор ЛК-32 аналогичен ионатору ЛК-31. Но на крышке ионатора ЛК-32, кроме переключателя полярности, смонтированы также миллиамперметр и регулятор сопротивления. Его электрическая схема предусматривает питание только от сети переменного тока. Производительность прибора — до 3,3 мг/мин серебра*.

* Ионаторы бытового назначения ЛК-26, ЛК-27, ЛК-31 и ЛК-32 со второй половины 1979 и по 1986 г. Сумским и Мелитопольским заводами в нужном количестве не производились из-за неполучения Министерством финансов СССР разрядки ка высокопробное серебро.



Рис. 60. Ионатор ЛК-31 бытового назначения (модель 1970 г.).

Особого изучения и разработки потребовали обеззараживание и консервирование регенерированной и минерализованной питьевой воды электролитическими растворами серебра в условиях полета космических кораблей. В итоге был принят разработанный нами для этой цели ионатор ЛК-33с [65]. Этот прибор состоит из проточного электролизера с серебряными электродами (серебро $\text{Sr } 999,9$) и блока питания, подключаемого к бортовой сети постоянного тока (рис. 64). Прибор обеспечивает обработку 30 л/ч регенерированной и минерализованной воды дозой серебра 0,1—0,2 мг/л, выдерживаемой с точностью $\pm 20\%$. Такая точность дозирования вполне удовлетворительна и обусловлена изменениями в солевом составе обрабатываемой воды и связанными с этим колебаниями выхода серебра по току.

В Институте коллоидной химии и химии воды АН УССР были проведены длительные испытания ионатора ЛК-33с на имитате регенерированной и минерализованной воды, имевшем состав: щелочность 0,4—0,77 мг-экв/л, жесткость 0,4—0,77 мг-экв/л, фтор-ион — 1 мг/л, окисляемость — 1,8 мг/л, рН — 7,1. Опыты показали, что ионатор работал надежно длительное время, как в непрерывном, так и в

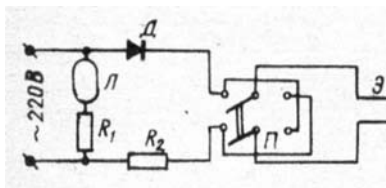


Рис. 61. Электрическая схема ионатора ЛК-31:

Л — лампа неоновая; Д — диод Д7Ж; П — переключатель П2Т-1;
 R_1 — резистор 100 кОм; R_2 — резистор 15 кОм; Э — серебряные электроды.

импульсном режиме. Ресурс серебряных электродов достаточен для обработки 7500 л воды.

Как было сказано выше, наши работы последних лет показали, что эффект обеззараживающего действия серебра существенно увеличивается и приводит к быстрому уничтожению всех видов бактерий, если этот процесс комбинировать с обработкой воды гипохлоритом или осуществлять его при одновременном воздействии на воду электрического тока.

Поскольку аппаратуры, обеспечивающей такую технологию в производственных условиях, не было, а уже в



Рис. 62. Ионатор ЛК-32 в рабочем положении (модель 1970 г.).

ближайшее время намечается широкое использование электролитических растворов серебра на ряде объектов, в том числе и в сельскохозяйственном производстве, то создание такой аппаратуры могло бы оказаться весьма полезным. С этой целью нами были разработаны комбинированные ионаторы ЛК-34с и ЛК-35 и водоочистная установка под индексом УКВ*.

Ионатор ЛК-34с показан на рис. 65 и 66. Он снабжен двумя электролизерами: один с электродной парой серебро—нержавеющая сталь, второй — с парой титан — платинированный титан. Последнее позволяет готовить как электролитические растворы серебра, так и высоко-

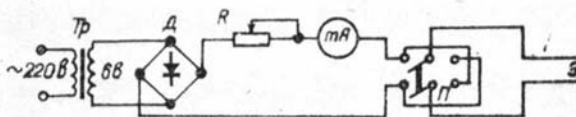


Рис. 63. Электрическая схема ионатора ЛК-32:

Тр — трансформатор 220/6 В; *Д* — диод Д7Г; *Р* — резистор;
mA — миллиамперметр 0—50 мА; *П* — переключатель П2Т=1; *Э* — серебряные электроды.

* В разработке этой аппаратуры кроме автора принимали участие В. А. Слипченко, А. П. Маляревский, Е. И. Сайгак и Е. С. Мацкевич.

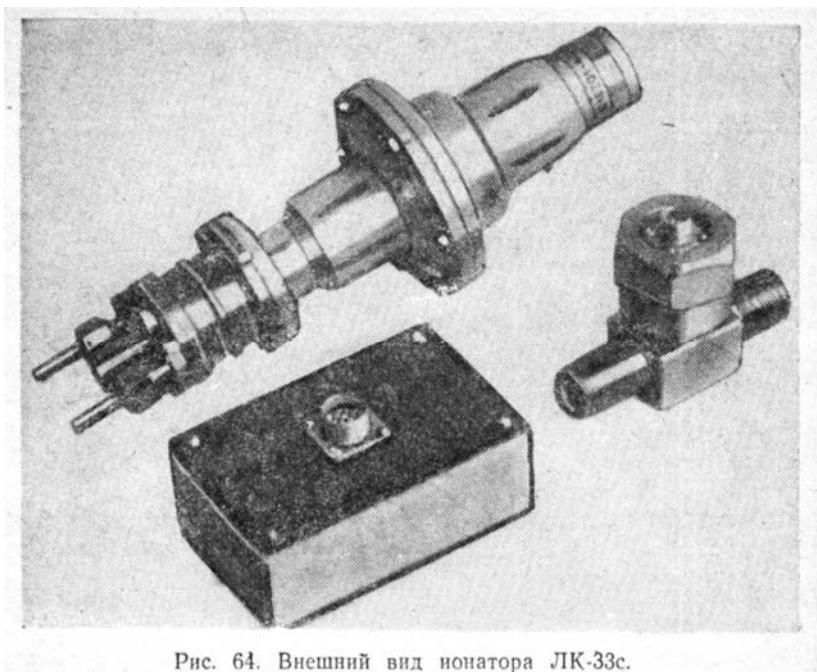


Рис. 64. Внешний вид ионатора ЛК-33с.

бактерицидные растворы гипохлорита натрия. Этот портативный переносный прибор имеет производительность по серебру до 10 г/ч, а по активному хлору — до 5 г/ч и пред-

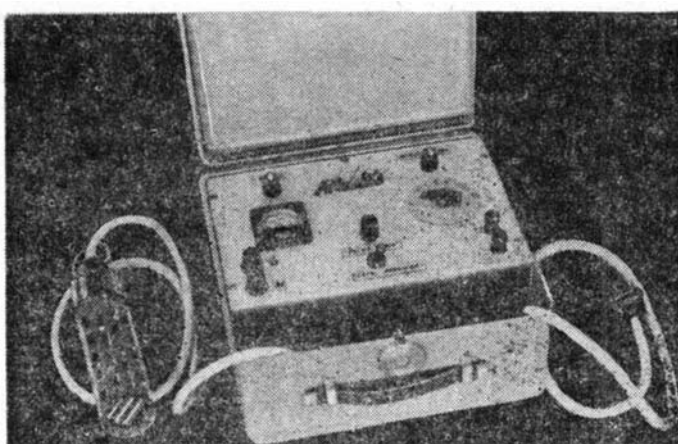


Рис. 65. Общий вид ионатора ЛК-34с комбинированного действия.

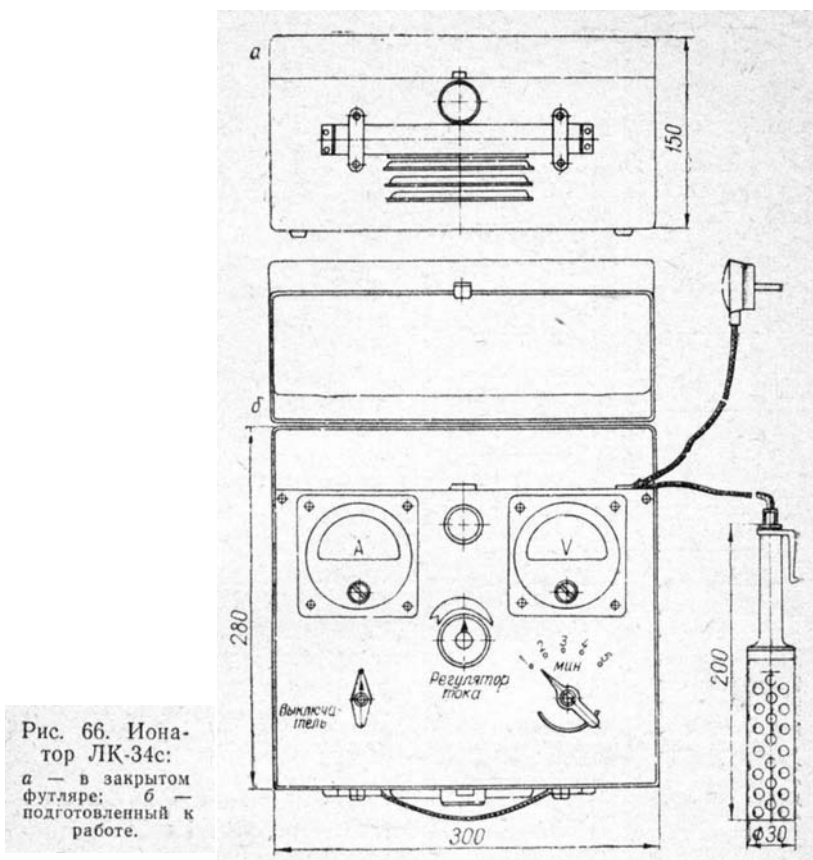


Рис. 66. Ионатор ЛК-34с:
 а — в закрытом футляре;
 б — подготовленный к работе.

назначен для использования в условиях сельского хозяйства (в колхозах, совхозах, на животноводческих фермах), на промышленных предприятиях и других объектах [52].

На рис. 67 приведена принципиальная электрическая схема ионатора ЛК-34с. Прибор может питаться электроэнергией от сети напряжением 220 В, 50 Гц либо от аккумуляторов 12 или 24 В. Мощность, потребляемая ионатором, не превышает 50 Вт.

В электрической схеме прибора использованы транзисторы и диоды, что делает его габариты и вес минимальными. Регулировка производительности ионатора осуществляется двухтактным усилителем, собранным на двух триодах П214. Механическое реле времени, вмонтированное в прибор, обеспечивает его автоматическое отключение после введения в воду заданного количества дезинфектанта

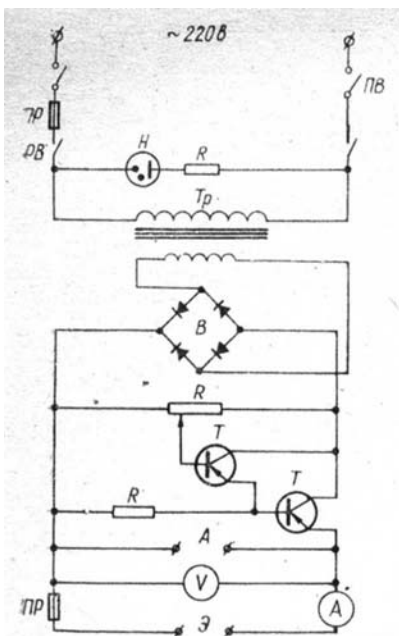


Рис. 67. Электрическая схема ионатора ЛК-34с:

ПВ — пакетный выключатель; *ПР* — контакты реле времени; *Н* — неоновая сигнальная лампочка; *R* — резисторы; *В* — выпрямитель (четыре диода Д242); *Т* — триоды П214; *ПР* — предохранители; *Тр* — трансформатор 220/24 В; *А* — клеммы для подключения к аккумулятору; *Э* — клеммы для подключения электролизеров.

(серебра или гипохлорита натрия). На панели прибора смонтирована неоновая лампочка, которая сигнализирует о подаче напряжения на электролизер.

На рис. 68 показан ионатор ЛК-35. Он состоит из: а) футляра с панелью, где размещены устройства по преобразованию переменного тока (220 В) в постоянный и по управлению силой тока, поступающего на электроды, что позволяет создать в электролизере нужное электрическое поле; б) электролизера, обеспечивающего одновременную обработку протекающей через него воды серебром и электрическим током.

Опытами установлена эффективность этого ионатора, но изучение режима работы продолжается.

В последние годы в Институте коллоидной химии и химии воды АН УССР электролитические растворы серебра используют в комплексных водоочистных уста-

новках разной мощности. В частности, нами была создана и применена на речном флоте установка такого типа УКВ-0,5 [81].

Благодаря наличию в установке электролизера с серебряными электродами вода, обработанная на ней, может длительное время сохранять питьевые качества. На УКВ-0,5 (рис. 69) вода очищается от железа, кремния, коллоидных и взвешенных загрязнений, обесцвечивается, дезодорируется и эффективно обеззараживается.

Очистка воды на установке УКВ-0,5 происходит по следующей схеме (рис. 70). Вода забирается центробежным насосом 1 и частично осветляется, проходя фильтр грубой очистки 2; затем вода обрабатывается гипохлоритом натрия, полученным в электролизере 6 с титаноплатиновыми

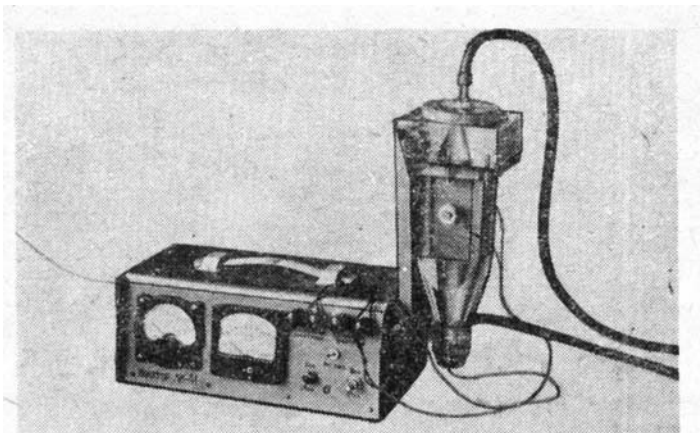


Рис. 68. Общий вид ионатора ЛК-35.

электродами, и поступает в электролизер 7 с алюминиевыми электродами. Под действием постоянного электрического тока, подающегося от электропульта 8, алюминий растворяется с образованием гидроксида алюминия, который сорбирует из воды мелкодисперсные, коллоидные и бактериальные загрязнения. Отработанный сорбент извлекается из воды взвесеулавливающим фильтром 9, а осветленная

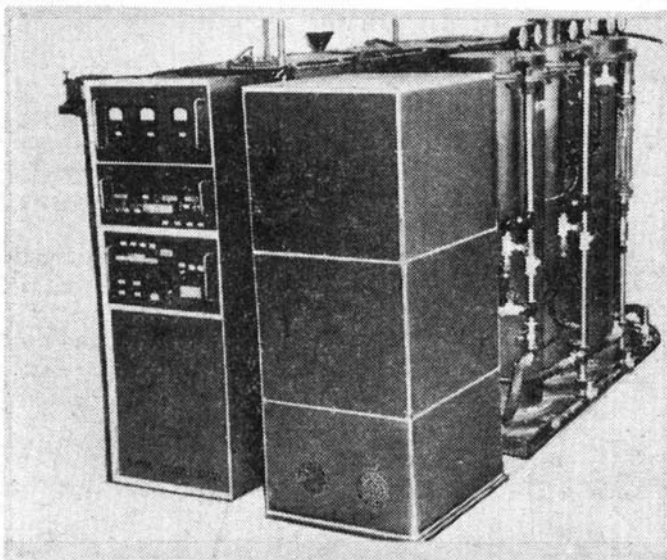


Рис. 69. Внешний вид установки УКВ-0,5.

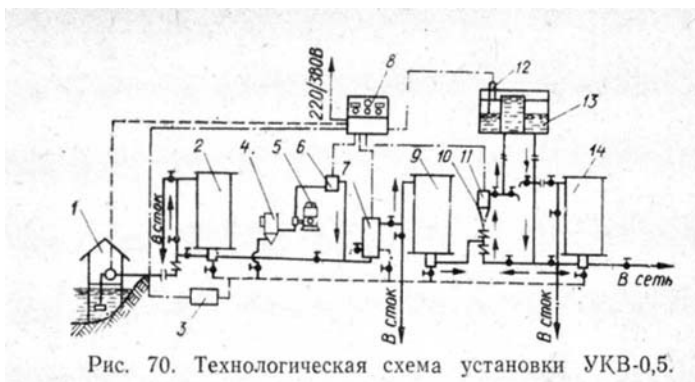


Рис. 70. Технологическая схема установки УКВ-0,5.

вода обрабатывается серебром в электролизе 11 и поступает в контактную секцию (время контакта с дезинфектантами — 1 ч) резервуара чистой воды 13. Расход воды регулируется по ротаметру 10. Обеззараженная вода переливается в расходную часть резервуара чистой воды и через дезодорирующий фильтр 14 поступает к потребителям.

В схеме установки еще имеются: компрессор 3, бакоч для раствора соли 4, насос-дозатор 5, реле уровня воды 12.

Описанная схема может несколько видоизменяться в зависимости от качества воды в источнике [87—90]. При небольшой цветности, незначительном загрязнении воды спорными микроорганизмами и содержании хлоридов не более 10% общего солесодержания гипохлоритный узел выключают из работы, а обеззараживание воды производится только серебром дозой 0,2 мг/л. При небольшой мутности воды и отсутствии планктона отключают фильтр грубой очистки, а при необходимости одного обеззараживания воды может работать лишь взвесеулавливающий фильтр и гипохлоритный узел или электролизер с серебряными электродами.

Установка УКВ-0,5 прошла все положенные испытания и с 1981 г. вошла в серийное производство. В настоящее время в ИКХХВ АН УССР разрабатывается типоразмерный ряд этой аппаратуры с большим диапазоном производительной мощности. Намечается возможность различного блокирования ее узлов, что придаст ей универсальный характер.

СВЕДЕНИЯ О ПОЛЬЗОВАНИИ ИОНАТОРАМИ

Для использования серебряной воды в практических условиях необходимо прежде всего установить опытным путем или на основе указаний специалистов необходимую для данного случая дозу серебра. Некоторые ориентировочные сведения о концентрациях серебра, применяемых на практике, приводятся в табл. 26.

В табл. 26 приведены данные различных исследователей о дозах серебра, необходимых для обеззараживания питьевой воды.

Зная количество продукта, подлежащего обработке, и необходимую дозу серебра, соответствующим образом регулируют работу ионатора.

Дозировка переводимого в раствор количества серебра рассчитывается по закону Фарадея на основании показаний электроизмерительного прибора (миллиамперметра или амперметра) с внесением поправок на выход серебра в зависимости от солевого состава воды и условий электролиза.

Количество серебра m (мг), растворившегося в воде в результате электролиза, определяется по формуле

$$m = KIt \frac{n}{100},$$

где K — электрохимический эквивалент серебра, равный 1,118 мг/А·с; I — сила тока, проходящего через воду, А; T — время электролиза, с; n — выход серебра на току, зависящий от солевого состава воды, %.

Для удобства обычно пользуются таблицами перевода показаний электроизмерительных приборов в количество растворившегося серебра (приложение. I, табл. 1, 2, 3). Пользование этими таблицами для выбора основных параметров процесса электролитического растворения серебра, силы тока и времени электролиза иллюстрируется примерами (приложение I). Контроль за действительным содержанием серебра в воде производится аналитически по методу, разработанному в Институте коллоидной химии и химии воды АН УССР (приложение II) [79].

Таблица 26. Рекомендуемые дозы серебра для обеззараживания питьевой воды

Автор, страна	Доза серебра, мг/л	Время контакта, ч	Примечание
Вурман К. (ФРГ, 1957)	0,05	1—2	По физико-химическим показателям питьевая вода
Стухлик Х. (ЧССР, 1960)	0,1—0,2	—	
Тредр Р. Ф. (Англия, 1955)	0,02—0,05	—	Вода пропускается через электрокатадиновые или керамические фильтры
Ричардсон Д. Б. (Англия, 1955)	0,1	—	Предварительно вода пропускается через фильтр из необожженной керамики
Мостерт Л. (ФРГ, 1959)	0,3	—	Предварительно вода пропускается через целлюлозный фильтр
Полак Б. (ЧССР, 1959)	0,05—0,1	—	Вода, не содержащая хлоридов и органических веществ
Боргольт Г. (Германия, 1943)	0,01—0,02	6	
Джеймс Д. (США, 1958)	0,2	2	Вода предварительно пропускается через плотный фильтр
Курт Г. (ФРГ, 1957)	0,01	3—6	Ключевая вода, не содержащая хлоридов
Украинский институт общей и коммунальной гигиены (СССР, 1953)	0,06—0,2	0,5—2	Маломутная речная вода с небольшим бактериальным загрязнением
Кульский Л. А. (СССР, 1963)	0,05—0,2	0,5—2	Физико-химические показатели обрабатываемой воды должны соответствовать требованиям ГОСТ 2874—73
Главное санитарно-эпидемиологическое управление МЗ СССР (1964)	0,05	—	Консервирование питьевой воды, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 2874—73
То же	0,2	—	Обеззараживание и консервирование минеральных вод и напитков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено высокое бактерицидное и консервирующее действие электролитических растворов серебра в дозе 0,05 мг/л и выше.

На антимикробное действие серебряных растворов заметно влияет температура, рН воды, наличие в ней ионов хлора, взвесей, коллоидных и гумусовых веществ, а также материал, из которого выполнена внутренняя поверхность емкостей, в которых хранится вода. Так, с повышением температуры и рН воды бактерицидное действие серебряных растворов усиливается. Взвеси, коллоидные вещества, гумины, хлориды понижают бактерицидное действие серебра. Материал покрытия емкостей влияет в той мере, в какой он сорбирует ионы серебра или выделяет в воду токсичные вещества и вещества, связывающие серебро.

Создание ионаторов — отечественной промышленной аппаратуры для приготовления серебряной воды — и исследование их свойств обеспечили возможность использования этого весьма эффективного реагента для обеззараживания и консервирования воды на морских и речных судах, в плавательных бассейнах, в санаториях и лечебной практике, пищевой промышленности и других отраслях народного хозяйства.

В настоящее время теоретические исследования и практическое использование серебряной воды направлены на дальнейшее изучение влияния ее на живой организм, на расширение круга применения этого препарата в народном хозяйстве, а также на усовершенствование имеющейся аппаратуры и создание новых ее образцов.

Все это должно обеспечить благоприятные условия для развития такого исключительно полезного средства, которое разработано и впервые получило свое промышленное оформление в нашей стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айзман И. М., Иоссет Г. Я.* — Новый хирург, архив, 1936, № 35, с. 485—500.
2. *Авакян З. А., Работнова И. Л.* — Микробиология, 1966, 35, с. 805.
3. *Андреев С. З.* — В кн.: Вопросы патологии желчной системы. М.: Медгиз, 1963, с. 159—162.
4. *Бабюк В. И.* — Материалы 2-го съезда травматологов-ортопедов республик Прибалтики. Рига, 1972, с. 464—465.
5. *Барков Г. Д., Эльшнер Л. И., Аронова Е. Н.* — Труды НИИ гигиены водного транспорта, 1968, вып. 1, с. 264—276.
6. *Белецкий А. В.* — Журн. ушных, носовых и горловых болезней, 1968, № 4, с. 93—94.
7. *Берзин Р. М.* Значение солей кобальта и меди в кормлении сельскохозяйственных животных. — Рига: Изд-во АН ЛатвССР, 1952.
8. *Бершова О. I., РадзIмовский Д. О., Сотникова О. В.* — Мшро-бюл. журн., 1958, 20, № 1, с. 68—71.
9. *Боткин С. П.* Влияние солей рубидия и цезия на сердце и кровообращение. Дис. из лаб. И. П. Павлова, 1888.
10. *Брызгунов В. С., Липин В. Н., Матросова В. Р., Наумова Е. К.* — Науч. тр. Казан. мед. ин-та, 1964, № 14, с. 38—42.
11. *Буряк В. Д.* О применении ионов серебра в процессе водоподготовки на судах. — Судостроение, 1964, № 1, с. 17.
12. *Вдовиченко Е. Я., Егорова Н. А., Политова А. Г., Лорер Ц. К.* — В кн.: Актуальные вопросы физиотерапии и курортологии. Пермь, 1974, с. 29—31.
13. *Венчиков А. И.* Биотики. — М.: Медгиз, 1962.
14. *Виноградов А. П.* Химический элементарный состав организмов моря. — Труды биохим. лаб. АН СССР, 1938, № 4, с. 91.
15. *Вицин Б. А., Осташевский А. Т., Блажитко Е. М.* — Хирургия, 1976, № 11, с. 129—132.
16. *Власюк П. А.* Микроэлементы и радиоактивные изотопы в питании растений. Киев: Изд-во АН УССР, 1956.
17. *Войнар А. И.* Микроэлементы в живой природе. — М.: Высш. школа, 1962.
18. *Войтенко А. М.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 128—134.
19. *Войтенко А. М.* — Гигиена населенных мест, 1974, вып. 13, с. 36—37.
20. *Войтенко А. М., Павлов Н. В.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 121—124.
21. *Володкина В. В.* — Вопросы рационализации в стоматологии, 1967, вып. 1, с. 27—30.
22. *Габович Р. Д., Шандала М. Г.* — Гигиена населенных мест, 1974, вып. 13, с. 10—13.
23. *Гальперин Э. А.* — Педиатрия, 1938, № 1, с. 166—173.
24. *Генис И. Е.* Лечение верхушечных периодонтитов серебряной пастой. (Клинико-рентгенологические и лабораторно-морфологические исследования). Автореф. канд. дис. Киев, 1969."

26. *Голубович В. Н.* — Микробиология, 1974, 43, № 5, с. 922—924.
27. *Голубович В. Н.* Ингибирующее действие серебра на *Candida utilis*. Автореф. канд. дис. М., 1975.
27. *Голубович В. Н., Работнова И. Л.* — Микробиология, 1974, XVIII, 6, 1115—1117.
28. *Голубович В. И., Ховрычев М. П., Работнова И. Л.* — Микробиология, 1976, 45, № 1, с. 119—122.
29. *Горовиц С. Г., Кричевский А. Л.* Наш опыт применения электрофореза металлического серебра при лечении больных с некоторыми гнойными процессами. — Материалы Армянск. республ. науч. конф. курортологов и физиотерапевтов. Ереван, 1973, с. 91—93.
30. *Григорьева Л. В.* — Гигиена населенных мест, 1967, вып. 10, с. 62—66.
31. *Григорьева Л. В.* Энтеровирусы во внешней среде. — М.: Медицина, 1968.
32. *Григорьева Л. В.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 9—13.
33. *Гриценко В. Г.* — Там же, с. 143—146.
34. *Гушинская И. Ф., Буссель Л. Г., Миразизов К. Д., Буссель А. Г.* Лечение больных острым и хроническим тонзиллитом препаратами ионизированного серебра. — В кн.: Диагностика и лечение патологии ЛОР-органов. Алма-Ата, 1976, с. 61—63.
35. *Доливо-Добровольский Л. Б., Дерлятько С. И., Кузнецова В. Ф., Кульский Л. А., Ясинский А. В.* — Материалы Междунар. симпозиума по дезинфекции и стерилизации (31 октября — 2 ноября). М., 1972, с. 50.
36. *Доливо-Добровольский Л. Б., Кульский Л. А., Накорчевская В. Ф.* — В кн.: Химия и микробиология воды. Киев : Вища школа, 1971, с. 167—170.
37. *Дондыш Л. М.* — В кн.: Вопросы экзогенных и органических нервно-психических расстройств (Материалы научн. конференции ГОС научн. исслед. Ин-та психиатрии МЗ СССР). М., 1964, вып. 2, с. 143—165.
38. *Дроздова В. В., Никифорова Н. Е., Павлова И. И.* — Труды Саратов. мед. ин-та, 1971, с. 121—124.
39. *Дыклов Д. Н.* — В кн.: Экспериментальные и клинические данные по применению аммиачных растворов серебра. М., 1936 с. 330—338.
40. *Дяченко С. С., Поч инок В., Подрушняк Е. П.* — Врачебное дело, 1963, № 7, с. 1.09—113.
41. *Ермолаев П. Е.* — Труды 1-го Моск. мед. ин-та, 1935, сб. 4, с. 6—16.
42. *Жванко Ю. Н., Писаренко А. П., Черепанова Л. М.* — Изв. вузов. Пищевая технология, 1962, 6, с. 52—54.
43. *Зак В. И., Попов В. Н.* — Микроэлементы в медицине, 1973 вып. 4, с. 78—81.
44. *Зайченко А. И., Чижов С. В., Эльпинер Л. И.* — Здоровье 1975 № 2, с. 10—11.
45. *Затолокин Ф. Д.* — В кн.: Актуальные вопросы лечения туберкулеза кожи. Киев, 1970, с. 84—85.
46. *Иванов Н. И., Горохов А. А.* Опыт лечения хронического вазомоторно-аллергического ринита растворами азотнокислого серебра. — Военно-медицинский журнал, 1977, № 4, с. 85.
47. *Исидзака О., Нагано Х. и др.* — РЖХим, 1962, 7ИЗ49.
48. *Какулия А. Г., Абуладзе Л. А., Шперлинг Л. В., Мчелидзе Л. #.* — Курортология и физиотерапия. Тбилиси, 1977, т. 36, с. 55—60.

50. *Калина Г. П.* Методы санитарно-бактериологических исследований внешней среды. — М.: Медицина, 1966.
51. *Камраш Л. Н., Мальцева М. Г.* Внутритканевой электрофорез нитрата серебра в послеоперационном периоде у больных хроническим остеомиелитом. — В кн.: Профилактика и лечение инфекционных осложнений тяжелых травм. Л., 1977, с. 116—117.
52. *Кнафельман П. Ф.* Серебро как консервант для пищевых продуктов. Автореф. канд. дис. Одесса, 1947.
53. *Колесникова И. С., Эртевциан Б. Н., Вавилин Г. И., Буто-рин Е. П.* — В кн.: Этиопатогенетическая терапия туберкулеза в эксперименте. М., 1975, с. 47—51.
54. *Колесникова Г. С.* — Материалы респ. науч. конф. по проблеме «Лечение и диагностическое применение радиоактивных изотопов», 10—12 июня 1968 г. Киев, 1968, с. 130—132.
154. *Коломийченко А. И., Зражва Э. Л., Горшевикова Э. В.* — Журн. ушных, носовых и горловых болезней, 1973, № 4, с. 25—29.
55. *Кондратьева Т. С.* — Фармацевт, журн., 1971, № 1, с. 62—65.
56. *Касмодамианский В. П., Тутова А. И.* — Труды вакцинно-сыворо-точ. совещ. 1936. М.—Л., 1937.
57. *Кощеев А. К.* — Материалы к итоговой науч.-практ. конф. Перм, обл. отд-ния Всерос. науч.-мед. об-ва гигиенистов и санитарных врачей. Пермь, 1965, с. 66—67.
58. *Кравков Н. П.* Основы фармакологии. Ч. 2. — Л. — М.: Ленмед-гиз, 1933.
59. *Криси Е. Е., Яцимирский К. Б.* — Успехи химии, 1966, № 35, с. 347.
60. *Кульский Л. А., Савлук О. С., Дейнега Е. Ю.* Связь жизнедеятельности бактерий с их электрокинетическим и мембранным потенциалами. — ДАН СССР, 1985, № 1, с. 187—188.
61. *Кульский Л. А., Проскуракова Н. Б., Савлук О. С., Мороз О. Г.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 44—49.
62. *Кульский Л. А., Слипченко В. А.* — Там же, с. 118—121; 124—128.
63. *Кульский Л. А., Дейнега И. Ф., Савчук О. С., Ульберг З. Р., Марочко Л. Б., Демьяненко А. П.* — ДАН СССР, 1979, т. 244, № 1, с. 217—219.
64. *Кульский Л. А., Слипченко В. А., Маляревский А. Д.* — Водопод-готовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 19, с. 134—140.
65. *Кульский Л. А., Слипченко В. А., Савлук О. С.* — Косм, исследования на Украине, 1974, вып. 4, с. 46—49.
66. *Кульский Л. А., Слипченко В. А., Савлук О. С., Корниев-ская Л. П.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 1.0, с. 13—22.
67. *Кульский Л. А., Слипченко В. А., Савлук О. С., Мороз О. Г., Гри-ненко М. Г.* — Там же, с. 32—41.
68. *Кульский Л. А., Дроботько В. Г., Рубенчик Л. И. и др.* Синезе-ленье водоросли в артезианской водопроводной системе г. Киева и мероприятия по борьбе с ним. — Киев : Наук, думка, 1958.
69. *Кульский Л. А.* Серебряная вода и ее применение в водоснабжении, пищевой промышленности и в медицине. — Киев — Львов: Гостехиздат УССР, 1946.
70. *Кульський Л. А.* — Збірник праць Ін-ту хім. технології АНУРСР.— К.: Вид-во АН УРСР, 1937.
71. *Кульский Л. А., Лебединцева О. К., Берилова О. И.* — Зап. Ин-та химии АН УССР, 1941, 8, № 1, с. 103—104. 72. *Кульский Л. А., Когановский А. М., Степковская Л. А.* — Укр. хим. журн., 1949, № 15, с. 66—81.

73. Кульский Л. А., Когановский А. М. — Информ. бюл. АН УССР, 1946, 1—2, с. 24—26.
74. Кульский Л. А., Сотникова Е. В., Никитина С. В., Слипченко В. А. — Гигиена и санитария, 1963, № 1, с. 99—102.
75. Кульский Л. А., Маляревский А. П., Слипченко В. А., Тихонов В. К. — Сб. работ по интенсификации и автоматизации процессов обработки воды. Киев, 1962.
76. Кульский Л. А., Никитина С. В. — Укр. хим. журн., 1962, 28, № 8, с. 977—980.
77. Кульский Л. А., Бершова О. И., Сотникова Е. В., Слипченко В. А. — Гигиена и санитария, 1965, № 2, с. 82—84.
78. Кульский Л. Л., Саввина В. М., Соловьева Е. П. — Информ. Бюл. АН УССР, 1945, № 1, с. 33—34.
79. Кульский Л. А., Никитина С. В., Слипченко В. А. — Укр. хим. журн., 1962, 28, № 8, с. 981—986.
80. Кульский Л. А., Качан А. А., Шерстобаева М. А., Тимошенко Т. К. — Укр. хим. журн., 1963, 29, № 1, с. 49.
81. Кульский Л. А., Слипченко В. А., Маляревский А. П., Гриненко М. Г. — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1968, вып. 4, с. 34—38.
82. Кульский Л. А., Слипченко В. А. и др. — Там же, 1968, вып. 2, с. 26—31.
83. Кульский Л. А., Муzychук Н. Т., Воробьева А. М., Мацкевич Е. С. — Электронная обработка материалов, 1976, № 6, с. 76—78.
84. Кульский Л. А., Мороз О. Г., Проскуракова Н. Б. и др. Информ. письмо № 50. Хлор-серебряный метод в практике обеззараживания и консервирования воды. — Киев : Наук, думка, 1975.
85. Кульский Л. А., Савлук О. С., Мороз О. Г. — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1975, вып. 11, с. 60—61.
86. Кульский Л. А., Муzychук Н. Т., Воробьева А. М., Мацкевич Е. С. — Доклады АН УССР, сер. Б., 1977, № 8, с. 750—752.
87. Кульский Л. А., Слипченко В. А., Савлук О. С. Информ. письмо № 18. Метод обеззараживания и консервирования воды электролитическими растворами серебра. Киев : Наук, думка, 1972.
88. Кульский Л. А. Серебряная вода. — Киев : Наук, думка, 1946, 1952, 1956, 1962, 1968, 1971, 1977.
89. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. — Киев : Наук, думка, 1971, 1980, 1983.
90. Кульский Л. А., Сайгак Е. И. и др. Информ. письмо № 42. Технологическая схема кондиционирования воды на судах. — Киев: Наук, думка, 1975.
91. Кульский Л. А., Мороз О. Г., Неди́ха О. М., Савлук О. С. —> Доповіді АН УРСР, Серія Б, 1974, № 9, с. 836—838.
92. Лазарев В. А. Стерилизация воды препаратами серебра. — М., Гостехиздат, 1935.
93. Лазаренко Д. И., Чижов С. В., Козыревская Г. И. и др. — Гигиена и санитария, 1964, № 2, с. 98—100.
94. Луцет П. Г. — В кн.: Некоторые вопросы фармации. Киев, 1956, с. 165—170.
95. Макаренко В. Н., Чернявская В. Г. — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 140—143.
96. Максименко И. П. — Консервная и плодоовощная пром-сть, 1940, № 2, с. 52.
97. Малевич О. Е., Карамзина И. В., Швец М. Я. — Республиканский

- межведомственный сб. Терапевтическая стоматология. Киев, вып. 10, 1975, с. 81—83.
98. *Маселюк А. В., Невкипилая О. С.* — Материалы конференции молодых ученых биол. фак-та КГУ. Киев, 1966, с. 35—38.
 99. *Масленка А. А.* Влияние «серебряной» воды и воды, консервированной серебром на органы пищеварения. — *Врачебное дело*, 1976, № 5, с. 88—90.
 100. *Мироненко Г. С.* — Сборник научно-практических работ по стоматологии. Т. 9. Л., 1971, с. 44—49.
 101. *Мироненко Ю. П.* Полостной электрофорез. — *Медицинская газета*, 1971, 26 окт.
 - 1,02. *Мироненко Ю. П.* Химиопрофилактика и химиотерапия гриппа. — Материалы 1-го Всесоюз. симпозиума по химиопрофилактике и химиотерапии гриппа. Ленинград, 23—25 июня 1971 г. Л., 1972, с. 116—118.
 103. *Мицкевич Г. И., Шавлинская А. Б., Сильченко Л. М.* — В кн.: Научно-практическая конф. врачей, посвященная 50-летию со дня основания санаториев Мин-ва обороны СССР на Кавминводах. Тезисы докладов. Кисловодск, 1972, с. 42—44.
 104. *Моисеев С. В.* Новый способ обеззараживания воды серебряным песком. М.: Гострансиздат, 1932.
 105. *Мороз О. Г., Браницевич Л. Г., Кульский Л. А.* — Доклады АН УССР, Серия Б, 1975, № 1,0, с. 939—942.
 106. *Мороз О. Г., Кульский Л. А., Проскуракова Н. Б., Руденко А. В., Флоренцова К. М.* — Химия и технология воды, 1980, вып. 2, № 3.
 107. *Мороз О. Г., Проскуракова Н. Б., Кульский Л. А.* — В кн.: Актуальные вопросы санитарной микробиологии. М., 1978, с. 205—206
 108. *Мороз О. Г., Кульский Л. А.* — Химия и технология воды, 1980, вып. 2, № 4.
 109. *Невкипилая О. С.* — Материалы конф. молодых ученых биол. факта КГУ. Киев, 1966, с. 52—54.
 - 11,0. *Новикова А. В., Пак З. П.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 78—80.
 111. *Павленко С. И., Крастина Э. М., Постникова Е. К., Черняк Ю. А.* — , *Вопр. эксперим. и клинич. радиологии*, 1966, с. 177—181.
 112. *Пак З. П., Петина В. П.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 80—83.
 113. *Пак З. П., Ситникова Н. Н., Колоскова П. С. и др.* Гигиеническая оценка новых способов обогащения регенерированных вод ионами серебра. — *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. (Тезисы докладов на IV Всесоюз. конф.). Калуга, 1972, т. 1. М., 1972, с. 216-219.
 114. *Пермут А. Т.* — Сов. стоматология, 1935, № 6, с. 76—79.
 115. *Першин Г. Н.* Влияние химиотерапевтических веществ на бактериальные ферменты. — М.: Медгиз, 1952.
 116. *Планельес Х. Х.;- Харитонова А. М.* Побочные явления при антибиотикотерапии бактериальных инфекций. — М.: Медгиз, 1960.
 117. *Плевако Е. А.* — Труды 1-го Моск. мед. ин-та, 1935, № 4, с. 22.
 118. *Потапченко Н. Г., Савлук О. С., Кульский Л. А.* Кинетика подавления роста *Escherichia coli* серебром. — *Микробиология*, 1985, 47, № 3.
 119. *Применение посеребренных препаратов проф. С. В. Моисеева в медицине.* Сб. работ под ред. проф. И. Я. Вольфсона и др. Изд-во 2-го Ленингр. мед. ин-та, 1937, с. 61—62.

121. *Прозоровский А. С., Литвинова Г. П., Лямина В. К.* — Труды 1-го Моск. мед. ин-та, 1968, т. 61, с. 95—97.
122. *Родзевич П. К.* — О влиянии растворимого металлического серебра на кровь. Докт. дис. Спб., 1903.
123. *Рошин В. П.* — Труды Ленингр. офтальмолог. НИИ, 1936, № 1, с. 281—297.
124. *Савлук О. С.* Влияние серебра, вводимого с питьевой водой, на реакции иммунитета экспериментальных животных. Автореф. канд. дис. Киев, 1969.
125. *Савлук О. С.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 72—78.
126. *Савлук О. С., Дейнега Е. Ю., Д'раган А. И., Кульский Л. А.* Механизм действия постоянного электрического поля на процессы обеззараживания воды. — ДАН УССР, сер. Б, 1985, с. 73—76.
127. *Сериков Г. А.* К вопросу о стерилизации и обеззараживании воды металлами. Канд. дис. Спб., 1908.
- ?: 127. *Селиванов Л. В., Малик М. В., Апарин В. В., Золотников С. А.,* Реакция мягких тканей бедра на имплантацию пластин из серебра-палладиевых сплавов. — В кн.: Результаты экспериментальных и клинических исследований. М., 1976, с. 188—189.
128. *Скворцов В. И.* Курс фармакологии. — М. — Л.: Биомедгиз, 1948.
129. *Славин В. Д.* — Клинич. медицина, 1937, № 4, с. 555—562.
130. *Сорока В. Р., Буль Ф. Р., Щербаков А. Я.* — Вopr. неврологии и психиатрии, 1968, с. 161—162.
131. *Сорока В. Г., Зак В. И.* — Отоларингология, 1973, вып. 4, с. 73—75.
132. *Степаненко П. З.* Влияние электролитических растворов серебра на умовнорефлекторную деятельность белых крыс. Автореф. канд. дис. Киев, 1973.
133. *Степаненко П. З., Науменко В. В., Елмуратов С.* — 18-я конференция молодых ученых Ин-та физиологии им. А. А. Богомольца АН УССР. Тезисы докладов. Киев, 1972, с. 46—47.
134. *Тарала Г. Т.* — Журн. экспериментальной и клинической медицины, 1970, 10, № 4, с. 64—67.
135. *Тарасевич В. Л.* Сравнительное влияние серебряной воды и некоторых антибиотиков на секрецию желудочных и поджелудочных желез свиней. Автореф. канд. дис. Харьков, 1964.
136. *Темкин Е. И.* — Тр. Ленинград. дермато-венерол. ин-та экспер. и клин. исследований, 1938, № 2, с. 63—66.
137. *Ташинская А. Д., Распопов Е. И., Шанина Л. Ф.* — Восьмая научно-практическая конференция Пятигорского территориального совета по управлению курортами профсоюзов. (Тезисы докладов). Пятигорск, 1964, с. 12—13.
138. *Турпаев В. А.* — Биохимия, 1951, № 16, с. 611—614.
139. *Углов В. А.* — Труды ВМА, 1934, № 1, с. 25.
140. *Уэбб Л.* Ингибиторы ферментов и метаболизма. — М.: Мир, 1966, с. 550.
141. *Фыршироту З., Конивер Л., Боровик Х.* — Аптеч. дело, 1960, 9, № 2, с. 86—90.
142. *Харитонов М. Н., Макушина К. П., Фомина А. О.* — Гинекология и акушерство, 1934, № 3, с. 71—79.
- : 143. *Харченко П. Д., Бердышев Г. Д. и др.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 108—118.
144. *Харченко П. Д., Бердышева Г. Д., Степаненко П. З., Великоиваненко О. О.* — Фізіологічний журн., 1973, 19, № 3, с. 362—368.
145. *Харченко П. Л., Степаненко П. З.* — Фізіол. журн., 1972, 18, № 5, с. 596-600.

146. *Харшат И. С.* — Теория и практика физической культуры, 1961, 24, № 7, с. 533—536.
147. *Харшат И. С.* — Гигиена и санитария, 1962, № 1, с. 87—89.
148. *Ховрычев М. П.* — Микробиология, 1973, вып. 5, с. 839.
149. *Циллюрик И. Т.* — Новый хирург, архив, 1958, № 3, с. 46—49.
150. *Черкасский М. А.* — Труды Курского мед. ин-та, 1961, вып. 15, с. 436—441.
151. *Черкинский С. Н., Красовский Г. Н., Тугаринова В. Н.* — В кн.: Санитарная охрана водосемов от загрязнений промышленными сточными водами. Вып. 7. М., 1965, с. 269—279.
152. *Чижов В. С., Колоскова Ю. С. и др.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. 10, с. 22—27.
153. *Чижов С. В., Синяк Ю. С.* — В кн.: Проблемы космической биологии. М., 1973, с. 29—42.
154. *Чижов С. В., Шайдорова В. В., Краснощекое В. В., Гель-цер Ю. Г.* — Там же, с. 41—44.
155. *Шанина Л. Ф.* — В кн.: Физиология и генетика микроорганизмов. Р-н/Д, 1979, с. 153—156.
156. *Шевченко М. И.* — Офтальмолог, журн., 1963, № 7, с. 436—437.
157. *Щербина А. В.* — Радянська медицина, 1937, № 8, с. 63—69, 437.
158. *Эльпинер Л. И., Барков Г. Д.* — Водоподготовка и очистка промышленных стоков, 1973, вып. III, с. 27—32.
159. *Эльпинер Л. И., Шафиров Ю. Б., Чайкина И. Я., Назин И. Г.* — Труды научн. конф. НИИ гигиены водного транспорта Мин. здра-воохр. СССР, 1972, вып. 2, с. 150—153.
160. *Эпителин Я- А.* — Сов. врач, газета, 1933, № 21.
161. *Экспериментальные и клинические данные по применению амниачных растворов соединений серебра / Под ред. М. С. Малиновского.* — М.: Изд. 1-го Моск. мед. ин-та, 1940.
162. *Яцимирский К. Б., Крусе Е. Е.* — В кн.: Молекулярные основы жизненных процессов. Киев, 1966, с. 47.
163. *Bader K. F.* *Plast Reconstr. Surg.* 1966, 37, N 6, p. 550—551.
164. *Baptist J. M., Steyermark P. R., Veltman P. L.* Пат. США, кл. 44— 66, N 3226210, 1965.
165. *Bragg D. D., Rainnie D. L.* — *Can. L. Microbiol.*, 1974, 20, p. 883—889.
166. *Brauni I., Krushe F., Kurth C.* *Die Trinkwassersilberung R. Olden-bour.* — Мюнхен, 1957.
167. *Brentano L. ital.* — *Arch. Surg.*, 1966, 93, p. 456—466.
168. *Brinkman G.* — *Z. Hyg.*, 1954, 139, p. 333—334.
169. *Cason J. S., Lowbury E. J. L.* — *Lancet*, 1968, N 1, p. 651—654.
170. *Chambers C. W., Proctor C. M., Kaber P. W.* — *JAWWA*, 1962, 54, N 2 p. 209.
171. *Cha'rnicki W. F., Kober M. /.*—*J. Am. Pharm. Assoc.*, 1955, 44, N 1, p. 25—27.
172. *Chappel J. B., Grevilles G. D.* — *Nature*, 1954, 174, N 1-3, p. 930—931
173. *Ebert B. P., Shapiro A. J.* — *Arch. Sic. Biol.*, 1936, N 43, p. 303.
174. *Fischer AI* Der zeitige Stand der Auschaung iber die bakterizide Wirkung von Silber. — *Zbl. Bakteriol.* 1957, 1/5, 8, S. 199—206.
175. *Freundlich //., Sollner K.* — *Biochem. Z. M.*, 1928, N 17, p. 135—147.
176. *Gesser G. A.* — *G. W. F.*, 1952, 93, N 14, p. 15.
177. *Goetz A.* — *JAWWA*, 1943, 35, p. 579.
178. *Gusso A., Cironi AI, Gutschmidt A.* — *Zentralbl. Bakteriol. (Ren)*, 1942, S. 141-381.
179. *Herzberg K.* — *Zentralbl. Bakteriol (Orig.)*, 1923, N 90, p. 113.

181. *Hoffman S.* — Arch. Hyg. Bakteriol, 1938, N 120, p. 147.
182. *Jakob F., Monod J.* — Quant. Biol., 1961, N 26, p. 193.
183. *Just J., Szniolis A.* — JAWWA, 1936, 28, N 4, p. 1192.
184. *Kettner W., Vogel K; Krüger G.* — Dtsch. Gesundheitsw., 1970, 25, N 37, S. 1746—1747.
185. *Kaziorowski W.* — Gospodarka wodna, 1961, 21, N 7, s. 309.
186. *Krause C. W.* — Wasser, 1932, N 7, S. 312.
187. *Kruse W., Fischer M.* — Arch. Hyg., 1935, N 113, p. 46.
188. *Leitner N.* — Z. Biochem., 1930, N 221, S. 42—64.
189. *Lieb F.* — Arch. Hyg., 1936, N 116, p. 317.
190. *Lint H.* — Z. Hyg., 1937, 120, S. 14.
191. *Luers H.* — Wochenschr. Branerei, 1932, 49, S. 337.
- Monafa W. W., Polk H. C., Moyer C. A.* — 8 Annual National Burn Conference. Birmingham, Ala, Oct. 27, 1967.
192. *Mega y K.* — Mitt. d. Hstersanitätsverwaltung, 1953, 54, S. 174.
193. *Mostert L.* — Schiff und Hafen, 1959, 11, N 1, S. 55—59.
194. *Moyer C. A. et al.* — Arch. Surg., 1965, 90, N 6, p. 812—867.
195. *Millier R.* Medizinische Mikrobiologie. — München: 1950.
196. *Nöggeli K* — Neue Dtsch. Allg. Schweiz. Naturwiss., 1983, N 33.
197. *Neisser M., Eichbaum F.* — Ergeb. Hyg. Bakt, 1932, N 13, S. 170.
198. *Oberzill W.* Zur Frage der „Oligodinamische“ Silberwirkung... — Scientia Pharmaceutica (Wien), 1956, 3, s. 1—4, 191—193.
199. *Ohone R.* — Hidrotechnica, 1959, 4, N 4, S. 138—139. :
200. *Orzechowski G., Stolz D.* — Med. klin., 1947, N 7, s. 289. x
201. *Polak B.* — Vodni hospod., 1959, N 6, s. 261—262.
202. *Polk H. C.* Ann. Surg., 1966, 164, p. 753—770.
203. *Polk H. C., Monafa W. №. Moyer C. A.* — Arch. Surg., 1969, 98, N 3, p. 262—265.
204. *Porter J R.* Bacterial Chemistry and Physiology. — 1948.
205. *Putzke H. P., Gönsieke F. W.* — Z. Gesamte Inn. Med., 1966, 21, N 5, S. 24—26.
206. *Renn C. E., Chesney W. E.* Reports to salem-brasius. Inc. on Res. on Tyla Syst. of Waterdesinfection, 1953—1956. i
207. *Richardson J. B.* — Rhodesian Mining., 1955, 27, N 332, p. 13—15. I
208. *Sadurska J., Kowalik R.* — Acta Microbiol. Pol., 1966, 15, s. 199. T
209. *Shclöppi V.* — Ophtalmologica, 1959, 137, N 3, p. 214—217. j
210. *Schmidt H. W.* — Ther. Umsch., 1961, N 3, S. 122—123.
211. *Schmidt H. W.* — Z. Gesamte. Inn. Med., 1961, 16, N 1, S. 45—46. t
212. *Stuchlik H.* — Gaz, woda i technika sanitarna, 1960, N 5. I
213. *Steritt R. M., Lester J. M.* Interactions of heavy metals with bacteria „Sei. Total Environ“, 1980, 14, N 1, 5—17. I
214. *Takao S.* — Arg. Biol. Chem., 1964, 28, p. 765.
215. *Tilton R. C., Rosenberg B.* Reversal of the silver inhibition of microorganisms by agar. Microbiol., 1978, 35, N 6.
216. *Tonley K., Wilson H.* — Desinfection principles of bacteriology and immunity, 1955, 155, N 1, p. 119—162. I
- 217—218. *Tredre R. F.* — J. Trop. Med. Hyg., 1955, 58, N 10, p. 239—245 I
219. *Tuovinen P., Paalenen A.* — Urologia, 1961, N 11, p. 1—2. I
220. *Walter H.* — Schiffbeutechnik, 1962, 12, N 8, S. 425—426.
221. *Wignati /., Schnabel R.* — Zentralbl. Bakteriol., 1928, N 109, '
222. *Woodward R. L.* — JAWWA, 1963, 55, N 7, p. 881—886. ' I
223. *Wuhrmanh K.* — Schweiz. Z. Hydrol., 1957, 19, N 1, S. 108—134.
224. *Wuhrmann K., Zobrist F.* — Schweiz. Z. Hydrol., 1958, 20, N 2, g 218
254'
225. *Zimmermann W.* — Z. Hydrol., 1952, N 135, S. 403.
226. *Zimmermann W., Zobrist F.* — Schrift. Hydrol., 1958, 20, N 2, S. 218—254.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ТАБЛИЦЫ ПЕРЕВОДА ПОКАЗАНИЙ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ИОНАТОРОВ В КОЛИЧЕСТВО РАСТВОРЯЮЩЕГОСЯ СЕРЕБРА И ПРИМЕРЫ ПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИ

Т а б л и ц а 1.1. Дозирование серебра при работе ионаторов малой производительности (ЛК-25, ЛК-26 и ЛК-29)

Сила тока, мА	Выход по току, %							
	95		90		85		80	
	мг/мин	мг/ч	мг/мин	мг/ч	мг/мин	мг/ч	мг/мин	мг/ч
1	0,06	4	0,056	3,76	0,053	3,5	0,050	3,36
2	0,13	8	0,122	7,52	0,115	7,12	0,109	6,72
3	0,2	12	0,188	11,23	0,178	10,68	0,168	10,08
4	0,27	16	0,263	15,04	0,240	14,24	0,226	13,44
5	0,33	20	0,310	18,8	0,293	17,8	0,277	16,8
6	0,40	24	0,376	22,56	0,356	21,36	0,336	20,16
7	0,47	28	0,441	26,32	0,418	24,92	0,394	23,52
8	0,54	32	0,507	30,08	0,48	28,48	0,453	26,88
9	0,60	36	0,564	33,84	0,534	32,04	0,504	30,24
10	0,66	40	0,620	37,60	0,587	35,6	0,554	33,6
11	0,72	44	0,676	41,36	0,64	39,16	0,604	36,96
12	0,79	48	0,742	45,12	0,703	42,72	0,663	40,82
13	0,86	52	0,808	48,88	0,765	46,28	0,722	43,68
14	1,00	56	0,874	52,04	0,827	49,84	0,781	47,04
15	0,93	60	0,94	56,40	0,89	53,4	0,84	50,4
16	1,07	64	1,00	60,16	0,952	56,96	0,898	53,7
17	1,14	68	1,07	63,92	1,01	60,52	0,957	57,12
18	1,21	72	1,137	67,68	1,076	64,08	1,01	60,4
19	1,28	76	1,20	71,44	1,13	67,64	1,07	63,84
20	1,35	80	1,269	75,20	1,20	71,2	1,134	67,2

Т а б л и ц а 1.2. Дозирование серебра при работе ионаторов средней производительности (ЛК-21, ЛК-22, ЛК-23, ЛК-32) по показаниям миллиамперметра

Сила тока, мА	Количество серебра, перешедшее в раствор		Сила тока, мА	Количество серебра, перешедшее в раствор	
	мг/мин	мг/ч		мг/мин	мг/ч
5	0,3	18	130	7,8	470
10	0,6	36	135	8,1	488
15	0,9	54	140	8,4	507
20	1,2	72	145	8,7	525
25	1,5	90	150	9,1	543
30	1,8	109	155	9,4	561

Сила тока, мА	Количество серебра, перешедшее в раствор		Сила тока, мА	Количество серебра, перешедшее в раствор	
	мг/мин	мг/ч		мг/мин	мг/ч
35	2,1	127	160	9,7	579
40	2,4	145	165	10,0	597
45	2,7	163	170	10,3	615
50	3,0	181	175	10,6	633
55	3,3	199	180	10,9	652
60	3,6	217	185	11,2	670
65	3,9	235	190	11,5	687
70	4,2	253	195	11,8	706
75	4,5	272	200	12,1	724
80	4,8	290	205	12,4	742
85	5,1	307	210	12,7	760
90	5,4	326	215	13,0	778
95	5,7	344	220	13,3	796
100	6,0	362	225	13,6	815
105	6,3	380	230	13,9	833
110	6,6	398	235	14,2	851
115	6,9	416	240	14,5	869
120	7,2	434	245	14,8	887
125	7,5	452	250	15,1	905

Примечание. Табл. 1.2 и 1.3 составлены из расчета выхода серебра по току в пределах 85—90%.

Таблица 1.3. Дозирование серебра при работе ионаторов большой производительности (ЛК-28, ЛК-30) по показаниям амперметра

Сила тока, А	Количество серебра, перешедшее в раствор		Сила тока, А	Количество серебра, перешедшее в раствор	
	г/мин	г/ч		г/мин	г/ч
0,1	0,005	0,33	1,6	0,088	5,34
0,2	0,011	0,67	1,7	0,093	5,67
0,3	0,016	1,00	1,8	0,100	6,00
0,4	0,022	1,34	1,9	0,106	6,35
0,5	0,027	1,67	2,0	0,112	6,70
0,6	0,033	2,00	2,1	0,177	7,00
0,7	0,038	2,33	2,2	0,123	7,33
0,8	0,044	2,67	2,3	0,128	7,67
0,9	0,050	3,00	2,4	0,134	8,00
1,0	0,055	3,35	2,5	0,140	8,34
1,1	0,060	3,68	2,6	0,145	8,67
1,2	0,066	4,00	2,7	0,150	9,00
1,3	0,071	4,34	2,8	0,155	9,34
1,4	0,077	4,67	2,9	0,161	9,67
1,5	0,082	5,00	3,0	0,166	10,00

Пользование приведенными таблицами иллюстрируется следующими примерами.

Пример 1. Для обеззараживания проточной воды необходима доза серебра 0,2 мг/л. стакан емкостью 200 мл наполняется за 4 с, то есть в 1 мин поступает

$$\frac{200}{1000} \cdot \frac{60}{4} = 3,0 \text{ л.}$$

Следовательно, ионатор должен давать в минуту $3,0 \cdot 0,2 = 0,6$ мг серебра. Учитывая, что выход серебра по току составляет 85—90%, по табл. 1. 1 определяем, что переход такого количества серебра в раствор обеспечивается силой тока 1.0 мА. Включая аппарат, устанавливаем силу тока в цепи равной 10 мА.

Пример 2. В 1 л воды необходимо ввести 10 мг серебра (концентрация 10 мг/л). Реостатом отрегулирована сила тока в цепи 15 мА. По табл. 1. 2 при силе тока 15 мА и выходе серебра по току 85% в раствор переходит 0,9 мг серебра за 1 мин; следовательно, на электролиз потребуется

$$\frac{10}{0,9} = 11,1 \text{ мин.}$$

Пример 3. Происходит заправка корабельных емкостей водой. -Вода поступает со скоростью 50 м³/ч. Доза серебра, необходимая для обеззараживания и консервирования воды, составляет 0,2 г/м³. Следовательно, ионатор должен переводить в раствор 50X0,2=10 г/ч серебра. По табл. 1. 3 находим, что такой производительности ионатора соответствует сила тока 3,0 А. Итак, ионатор должен работать на протяжении всего времени заправки при силе тока 3 А.

Пример 4. Для консервирования воды, хранящейся в резервуаре, необходима доза серебра 0,05 мг/л. Емкость резервуара составляет 100 м³. Следовательно, ионатор должен перевести в раствор 100X0,05 = 5,0 г серебра, для чего он должен работать в течение 1 ч при силе тока 1,5 А (табл. 1.3).

ПРИЛОЖЕНИЕ II

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЕБРА В ВОДЕ

При обеззараживании питьевой воды электролитическими растворами серебра необходимо периодически контролировать его содержание, так как при изменении физико-химических показателей воды выход серебра по току может колебаться в значительных пределах.

Почти во всех случаях природные воды содержат некоторое количество хлор-ионов, в присутствии которых определение малых доз серебра (0,02—0,50 мг/л) требует специальной методики.

Приводим описание экспресс-метода, экстракционного метода определения малых количеств серебра в природных водах и метода, разработанного в ИКХХВ АН УССР.

Экспресс-метод определения серебра в воде

В связи с необходимостью контроля за содержанием серебра в воде в производственных условиях, в условиях сельского хозяйства на судах и других объектах в ИКХХВ АН УССР разработай упрощенный



Рис. 71. Саквояж с аналитическим набором по определению серебра в воде.

экспресс-метод и специальный прибор для определения доз серебра. Методика основана на титровании проб воды растворов дитизона в CCl_4 и позволяет определять концентрацию серебра с точностью $\pm 10\%$. Прибор состоит из набора посуды и реактивов, укомплектованных в деревянном ящике (рис. 71). В комплект прибора входят: склянка с , раствором дитизона (250 мл); склянка со средой (250 мл); делительная воронка на 200 мл; пипетка на 10 мл — 2 шт; пипетка на 2 мл — 2 шт; цилиндры с делениями на 10 мл — 2 шт; груша резиновая; описание и инструкция по пользованию прибором.

Приготовление растворов реактивов

Реактив А — раствор дитизона в CCl_4 , 20 мг/л. Навеску дитизона 10 мг, взвешенную на аналитических весах, помещают в делительную воронку и полностью растворяют в 500 мл CCl_4 , наливая его порциями и сильно встряхивая. Раствор отфильтровывают через плотный фильтр и сохраняют в склянке из темного стекла под слоем разбавленной серной кислоты (0,5 мл концентрированной серной кислоты и 5 г сернистого гидросиламина на 100 мл дистиллированной воды). Раствор имеет ярко-зеленый цвет.

Реактив Б — смесь уксусной кислоты, уксуснокислого натрия, трилона Б и сернистого гидросиламина. В 700 мл дистиллированной воды последовательно растворяют 160 г сернистого гидросиламина, 1,35 г трилона Б, 250 г уксуснокислого натрия и 40 мл ледяной уксусной кислоты, подогревая до температуры 25 °С. Получают примерно 1 л реактива Б.

Ход определения

В делительную воронку наливают исследуемую воду до метки 100 мл. Пипеткой добавляют 5 мл реактива Б, встряхивают в течение 1 мин и титруют раствором дитизона в CCl_4 . Последний набирают из

склянки пипеткой на 2 мл при помощи резиновой груши и вливают по 1 мл в делительную воронку. После этого содержимое воронки встряхивают в течение 1 мин. Золотистый экстракт (дитизонат серебра) при помощи крана выпускают в цилиндр на 10 мл. Добавление дитизона и отделение экстракта продолжают до тех пор, пока последняя порция дитизона не останется зеленой. Исходя из общего количества слитого реактива А, который находится в цилиндре емкостью 10 мл, по калибро-



Рис. 72. Калибровочная кривая серебра.

вочной кривой (рис. 72) определяют соответствующее значение концентрации серебра. Если на титрование пробы (100 мл воды) расходуются больше 5 мл реактива А, объем ее следует уменьшить вдвое (до 50 мл). В этом случае для вычисления истинного содержания серебра в воде величину, определенную по калибровочной кривой, необходимо удвоить.

Экстракционный метод

Реактивы

1. Дитизон — раствор в ССЦ, концентрация 20 мг/л.
2. Уксусная кислота, разбавленная (1 : 4).
3. Уксуснокислый натрий, 10%-ный раствор.
4. Стандартный раствор $AgNO_3$, 1 мл содержит 0,01 мг ионов серебра.
5. Трилон Б — 0,01 н. раствор.
6. Сернистый гидроксилламин, 1%-ный раствор.

Ход определения

Для анализа отбирают пробу, содержащую 0,001—0,050 мг серебра*.

К отобранной пробе прибавляют 0,01 н. раствор трилона Б приблизительно в десятикратном избытке по сравнению с требуемым количеством для связывания мешающих определению катионов (1—5 мл), доводят рН раствора почти до 5 прибавлением 4 мл разбавленной уксусной кислоты (1 : 4) и 20 мл 1,0%-ного раствора уксуснокислого натрия. Если объем полученного раствора меньше 50 мл, его доливают до этой величины дистиллированной водой, добавляют 5—10-мг мочевины или 2 мл 1%-ного раствора сернистого гидроксилламина, встряхивают в делительной воронке, выдерживают 5—7 мин, а затем титруют раствором дитизона. Для этого раствор дитизона в CCl_4 прибавляют порциями по 0,3—0,5 мл и экстрагируют серебро, сильно встряхивая раствор в делительной воронке в течение 1—2 мин, пока последняя порция не перестанет изменять свой первоначальный зеленый цвет. (Можно не сливать отдельные экстракты и добавлять дитизон до промежуточной желто-зеленой окраски экстракта). Во второй делительной воронке готовят контрольную пробу с таким же содержанием хлоридов и вводи-

* Ориентировочное определение концентрации серебра в растворе производится по этой же методике.

мых реактивов, как и в исследуемом растворе. Затем в контрольную пробу добавляют такое количество раствора дитизона, которое пошло на извлечение серебра в пробе, и титруют его стандартным раствором соли серебра, пока окраска экстрактов в обеих воронках не станет одинаковой.

По количеству затраченного на титрование стандартного раствора соли серебра определяют количество серебра в пробе. Определение можно завершить фотоколориметрированием. В этом случае изменение содержания хлоридов в воде на 30—40 мг/л требует проверки по калибровочной кривой и даже построения новой.

Определение серебра в дистиллированной воде можно проводить без добавления трилона Б в сернистой среде при pH 1,5—2,0.

Аналитический контроль содержания серебра в питьевой воде экспрессным методом

Для определения серебра на объектах водоснабжения необходим высокочувствительный и простой метод с широким диапазоном определяемых концентраций (0,01—0,6 мг/л), которым можно пользоваться во внелабораторных условиях. Для определения серебра в питьевой воде ранее использовался дитизиновый метод [88]. Учитывая трудность работы с дитизоком (неустойчивость растворов реагента во времени, необходимость проведения экстракции), в отделе аналитической химии ИКХХВ им. А. В. Думанского АН УССР под руководством академика АН УССР А. Т. Филипенко разработан новый метод определения серебра. Для этого использовали один из наиболее чувствительных фотометрических реагентов на серебро — тиокетон Михлера и эффект от введения в раствор поверхностно-активных веществ. При разработке метода большое внимание обращали на мешающее влияние компонентов питьевых вод при определении серебра и способы его устранения, экспрессность и простоту выполнения анализа, возможность определения серебра на уровне ПДК (0,05 мг/л) без предварительной подготовки проб.

Новый фотометрический метод определения серебра в питьевой воде может применяться в лаборатории и непосредственно на объекте водоснабжения.

Метод основан на образовании красно-фиолетового комплекса серебра с тиокетоном Михлера при pH 5—9 в присутствии додецилсульфата натрия. В оптимальных условиях проведения реакции молярный коэффициент поглощения равен 2,15·10⁵ при длине волны максимального светопоглощения 530 нм. Предел обнаружения серебра составляет 5 мкг/л, ошибка определения — 5—10%. Для перевода в одну реакционную форму различных соединений серебра, присутствующих в питьевой воде, а также для достижения оптимального pH раствора и устранения мешающего влияния остаточных количеств окислителей в методике используют сульфит натрия. Для устранения мешающего влияния солей жесткости Ca (II) и (II), которые при концентрации [^]10 мг-экв/л образуют с додецилсульфатом натрия нерастворимые соли, прибавляют раствор гексаметафосфата натрия. В оптимальных условиях выполнения реакции и в присутствии комплексообразователей определению серебра не мешает 12 г/л хлорид-ионов (допускается в питьевой воде 350 мг/л, ГОСТ 2874—82), [^]600 мг/л бромид-ионов (ПДК — 0,2 мг/л), [^]20 мг/л остаточного свободного хлора (содержание в питьевой воде составляет 0,3—

0,5 мг/л, ГОСТ 2874—82), <10 мг/л гуминовых кислот. При определении серебра другими фотометрическими методами допустимые концентрации указанных компонентов значительно ниже; при определении дитизионом, например, хлорид-ион оказывает заметное влияние уже при концентрации 100 мг/л, остаточный свободный хлор — 0,02 мг/л.

Высокая контрастность реакции (ДЛ = 90 нм) позволяет проводить определение 0,015—0,2 мг/л серебра в питьевой воде в полевых условиях путем визуального фотометрирования исследуемого раствора по градуировочной шкале, приготовленной из растворов гмитаторов (сульфат кобальта, бихромат калия), при этом возрастает экспрессность анализа. На основе предлагаемого метода в отделе аналитической химии ИКХХВ им. А. В. Думанского АН УССР создан прибор СВ-82 (рис. 1), опытную партию таких приборов изготовило СКТЬ с ОП ИКХХВ АН УССР. Метод и прибор рекомендованы Минздравом УССР к применению для определения серебра в питьевой воде.

Выполнение определения в лаборатории

Реактивы, растворы, приборы

1 Исходный стандартный раствор серебра. 0,157 г азотнокислого серебра растворяют в мерной колбе вместимостью 1 л в небольшом количестве дистиллированной воды, подкисляют 2—3 каплями концентрированной азотной кислоты и доводят дистиллированной водой объем раствора до 1 л; 1 мл раствора содержит 100 мкг серебра. Рабочий стандартный раствор серебра получают путем разбавления исходного раствора в 100 раз. 1 мл такого раствора содержит 1 мкг серебра.

2. Тиокетон Михлера (ТУ-6-09-15-384-78) ч., 0,05%-ный раствор. 0,05 г реагента растворяют в 100 мл диметилформамида. При хранении раствора в темноте он устойчив в течение нескольких месяцев.

3. Додецилсульфат натрия (ТУ-6-09-64-75) ч., 5%-ный раствор, 5 г додецилсульфата натрия растворяют в 100 мл горячей дистиллированной воды.

4. Натрий гексаметафосфат, 1%-ный раствор. 1 г реагента растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

5- Натрий сернистоокислый безводный (ГОСТ 195-66), чда.

6. Диметилформамид (ГОСТ 20289-74).

7. Фотоэлектроколориметр ФЭК-56М, светофильтр № 6, спектрофотометр СФ-26. Кюветы с толщиной слоя 5 см.

Ход определения. 25 мл исследуемой пробы воды помещают в коническую колбу на 50 мл, прибавляют 30—40 мг (на конце скальпеля) сухого сульфита натрия, перемешивают, далее прибавляют 1 мл однопроцентного раствора гексаметафосфата натрия и 1 мл 5%-ного раствора додецилсульфата натрия, снова перемешивают, затем прибавляют 0,1 мл 0,05%-ного раствора тиокетона Михлера в диметил-формамиде. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряют при $\lambda = 530$ нм в кюветах с $l = 5$ см.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб на 25 мл вводят 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 мл рабочего стандартного раствора серебра и разбавляют дистиллированной водой до метки. Полученные растворы соответствуют содержанию серебра в пробе воды 0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12; 0,16 мг/л. Далее прибавляют все необходимые реагенты, как описано выше, измеряют оптическую плотность полученных растворов и строят градуировочный график в коор-

динатах. Оптическая плотность — концентрация серебра в воде в мг/л. Градуировочный график линеен в интервале концентраций 0,005— 0,1 мг/л серебра.

Выполнение определения серебра на объекте водоснабжения

Для экспрессного определения серебра на объекте водоснабжения используют прибор СВ-82 (рис. 73). Основная часть прибора — индикатор серебра. В корпусе индикатора серебра укреплен штатив, в котором находятся шесть ампул с окрашенными калиброванными растворами. В штативе имеется ячейка для колориметрической пробирки с анализируемым раствором. Калиброванные растворы приготовлены из растворов-имитаторов и откалиброваны по стандартным растворам азотнокислого серебра и стандартному образцу СОВ-5 (ГСО 1761-80). Калиброванные растворы имеют окраску от светло-желтой до красной и соответствуют содержанию серебра в питьевой воде 0,015; 0,03; 0,05; 0,07; 0,10; 0,15 мг/л. Ампулы с окрашенными растворами отражаются в зеркале и видны в экране индикатора как шесть цветных кружков на черном фоне.

В комплекте прибора имеются реагенты, необходимые для выполнения анализа воды. Реагент *A* — тиокетон Михлера, 0,05%-ный раствор в диметилформамиде (0,05 г тиокетона Михлера растворены в 100 мл диметилформамида). Реагент *Б* — смесь 3%-ного водного раствора додецилсульфата натрия и 1%-ного раствора гексаметафосфата натрия (6 г додецилсульфата натрия и 2 г гексаметафосфата натрия растворены в 2,00 мл горячей дистиллированной воды). Реагент *В* — сернистокислый натрий (сухой препарат). Реагенты *A*, *Б*, *В* находятся в склянках. Количество с аналогичными надписями реагентов, входящих в комплект прибора, достаточно для выполнения 200 определений. Свежие растворы реагентов готовят в стационарных лабораторных условиях,

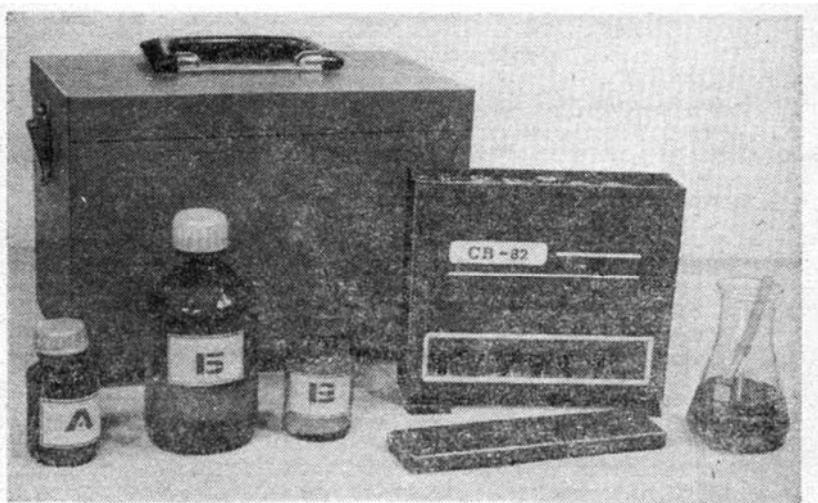


Рис. 73. Прибор СВ-82.

Концентрацию серебра определяют путем визуального сравнения окраски анализируемого раствора с окраской калиброванных растворов шкалы. Для этого в коническую колбу отмеряют мерным цилиндром 20 мл подлежащей анализу питьевой воды, прибавляют реагент В на кончике мерной ложечки, перемешивают раствор до полного растворения соли. Приливают 1 мл раствора В, осторожно перемешивают круговыми движениями. К полученному раствору прибавляют по одной—четыре капли раствора А, осторожно перемешивая после каждой капли. Окрашенный раствор наливают, не допуская вспенивания, в колориметрическую пробирку до метки, вставляют пробирку в свободную ячейку индикатора и сравнивают окраску анализируемого раствора с окраской калиброванных растворов. Для этого индикатор располагают так, чтобы свет падал на ампулы сверху. Отражение ампул в зеркале рассматривают в нижней части индикатора.

Пример 1. Окраска анализируемого раствора совпадает с окраской калиброванного раствора, отмеченного цифрой 0,05. Это значит, что в анализируемом растворе содержится 0,05 мг/л серебра.

Пример 2. Анализ растворов с высоким содержанием серебра необходимо выполнять дважды. Например, окраска анализируемого раствора совпадает с окраской калиброванного раствора, отмеченного цифрой 0,15. Определение следует повторить, предварительно разбавив анализируемую воду в два или четыре раза. Для этого в коническую колбу мерным цилиндром наливают 10 или 5 мл анализируемой воды и 10 мл (или 15 мл) питьевой воды без серебра. Далее проводят определение так, как указано выше. Полученный результат умножают на 2 или 4, соответственно разбавлению.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ СЕРЕБРА В ЛЕЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ

Опираясь на полученные в АН УССР данные о дезинфицирующих и консервирующих свойствах электролитических растворов серебра, некоторые специалисты-медики предприняли попытки использовать этот препарат в лечебной практике.

Исходя из предварительных данных (в соответствии с поручением Ученого медицинского совета МЗ УССР), кандидат медицинских наук А. А. Вакар и заслуженный врач УССР М. А. Ромоданов рекомендовали на основании изучения собранного ими материала провести клинические исследования по использованию растворов серебра в следующих областях медицины и по следующей рецептуре:

а) хирургия (при поражении костей, мышц, суставов, лимфатических узлов и других органов, вызванном стрепто-стафилококковой инфекцией, туберкулезной палочкой и др.). Концентрация серебра 20—30 мг/л, температура раствора 30—32 °С, для орошений, промываний, примочек, компрессов, а также для введения в свищевые входы;

б) офтальмология (при конъюнктивите, блефарите, кератите, воспалении слезного мешка и других воспалительных процессах). Концентрация серебра 10—20 мг/л, температура комнатная для примочек или промываний;

в) ЛОР (при поражении наружного слухового прохода, воспалении среднего уха, мастоидите, фарингите, ларингите, гайморите, тонзиллите и рините, а также при различных формах ангины и гриппозных эпидемиях). Концентрация серебра 20—25 мг/л, раствор подогретый, применяется с целью профилактики в виде полосканий, промываний, примочек;

г) терапия и эндокринология (при лечении язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, хронического гиперацидного гастрита, сопровождающихся изжогами, а также при лечении секреторных невротозов с повышенным выделением желудочного сока, энтерита и колита, при эндокринологических заболеваниях и нарушении обмена веществ — сахарная болезнь, диатезы). Концентрация серебра 20 мг/л; по две столовые ложки три раза в день за 15—20 мин до еды ■ на протяжении одного-трех месяцев;

д) инфекционные заболевания (при дизентерии, брюшном тифе, паратифе, скарлатине, дифтерии и др.). Концентрация серебра 10—20 мг/л, по одной столовой ложке через каждые четыре часа, а также в виде тепловых полосканий;

е) акушерство и гинекология (при различных воспалительных процессах слизистой оболочки гинекологической сферы и трещинах сосков). Концентрация серебра 20—25 мг/л, в виде орошений, марлевых тампонов или промываний;

ж) дерматология (при фурункулезе и грибковых поражениях кожи). Концентрация серебра 30—35 мг/л, раствор подогретый;

з) стоматология (при афтозис-ульцерозном стоматите, гингивите и других заболеваниях полости рта). Концентрация серебра 20 мг/л, раствор подогретый для полосканий.

Настоящая справка приводится как своего рода ответ на поступающие в адрес АН УССР вопросы ряда медицинских работников и учреждений, занимающихся профилактической и лечебной деятельностью.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ К ДЕВЯТОМУ ИЗДАНИЮ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ К СЕДЬМОМУ ИЗДАНИЮ	4
ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ СЕРЕБРА	10
ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТ СТЕРИЛИЗАЦИИ И КОНСЕРВИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ СЕРЕБРА	34
ДЕЙСТВИЕ СЕРЕБРА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ	46
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ	59
МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ	73
АППАРАТУРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ И ЕЕ КОНЦЕНТРАТОВ	81
СВЕДЕНИЯ О ПОЛЬЗОВАНИИ ИОНАТОРАМИ	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	118
ПРИЛОЖЕНИЯ	127

Научно-популярное издание ЛЕОНИД АДОЛЬФОВИЧ
КУЛЬСКИЙ

СЕРЕБРЯНАЯ ВОДА

*Печатается по решению Редакционной коллегии научно-
популярной литературы АН УССР*

Редактор Н. Ф. МАКИВЧУК. Оформление художника Б. И. БРОДСКОГО. Художественный редактор И. В. КОЗИЙ. Технический редактор В. А. КРАСНОВА. Корректоры И. В. КРИВОШЕИНА, О. Е. ЧЕЛОК

Сдано в набор 11.11.86. Подп. в печ. 28.01.87. БФ 25015. Формат 84ХЮ8/32. Бум. тип. № 3. Лит. гари. Выс. печ. Усл. печ. л. 7,14. Усл. кр.-отг. 7,35. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 80000 (1 — 40000) экз. Зак. 3933. Цена 25 к.

Издательство «Наукова думка». 252601 Киев 4, ул. Репина, 3. Львовская областная книжная типография. 290000 Львов, ул. Стефаника, 11.