

## Получение и применение иодированного бактерицида для дезинфекции воды в локальных системах очистки

© 2024. Н. В. Веденева<sup>1</sup>, к. б. н., доцент,  
Е. И. Тихомирова<sup>1</sup>, д. б. н., профессор,  
А. В. Кошелев<sup>2</sup>, к. т. н., с. н. с., В. Ф. Головков<sup>2</sup>, д. х. н., г. н. с.,  
<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А.,  
411054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77,  
<sup>2</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Государственный научно-исследовательский институт  
органической химии и технологии» (ФГУП «ГосНИИОХТ»),  
111024, Россия, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23,  
e-mail: vnv202@yandex.ru

В работе представлены результаты исследований по получению бактерицида на основе иодированной отечественной анионообменной смолы АВ-17-8. Иодированные четвертичные аммониевые основания являются высокоэффективными бактерицидами, что позволяет использовать их для очистки природных вод в локальных системах водоподготовки. Проведённая оценка антибактериальной эффективности полученного бактерицида с использованием модельной суспензии культур *Escherichia coli* доказала перспективность разработки для целей дезинфекции воды. Кроме того, полученный бактерицидный фильтр может быть использован для количественного определения бактериологической заражённости исследуемых вод. По результатам проведённых испытаний предложена блок-схема технологического процесса очистки поверхностных вод, в которой наличие бактерицидного фильтра позволяет использовать в составе установки обратноосмотический фильтр, чувствительный к биологическим загрязнениям воды.

**Ключевые слова:** обеззараживание воды, бактерициды для воды, иодированные четвертичные аммониевые основания, дезинфекция по сигналу.

## Obtaining and application iodinated bactericide for water disinfection in local treatment systems

© 2024. N. V. Vedeneva<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-0383-3820, E. I. Tikhomirova<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6030-7344,  
A. V. Koshelev<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-1623-734X, V. F. Golovkov<sup>2</sup> ORCID: 0009-0000-5293-1286,  
<sup>1</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,  
77, Politekhnikeskaya St., Saratov, Russia, 411054,  
<sup>2</sup>Federal State Unitary Enterprise “State Research Institute  
of Organic Chemistry and Technology” (FGUP “GosNIIOKhT”),  
23, Entuziastov Highway, Moscow, Russia, 111024,  
e-mail: vnv202@yandex.ru

The paper presents the results of studies on obtaining a bactericide based on iodized anion exchange resin AB-17-8. The obtained compound bactericidal efficiency was assessed on *Escherichia coli* culture suspensions at  $10^3$ – $10^9$  CFU/mL. All experiments gave positive results and demonstrated the possibility of their use for natural water treatment in local water treatment systems. The obtained bactericidal filter can be used for quantitative determination of bacteriological contamination of the studied waters. Water samples contaminated with *E. coli* at 500, 1000, 5000 and 10000 CFU/mL were prepared to quantify the bactericidal activity of the iodine-containing compound obtained on an anion-exchange resin. Then samples were sequentially passed through a 100 cm<sup>3</sup> bactericidal filter. By the amount of iodine released, the degree of microbial contamination can be determined. There were no microbial cells in the filtrate at zero concentrations of released iodine in the solution. The degree of microbiological contamination of water *Q* was 10,000 CFU/mL at 0.00391 g/L of iodine. A linear dependence between bactericidal activity and iodine release from the anion-exchange

resin was established. This allows us to assume that the positive iodine radical is released “on a signal” – at the appearance of living microorganisms carrying excessive electrostatic charge. The released by the bactericide positive iodine radical ( $I^{*+}$ ) interacts only with the electrostatic charge of microorganisms, and not with the functional groups of their shells. The found quantitative dependence makes it possible to determine microbiological contamination based on the iodine concentration in the treated solution. Based on the test results, a flowchart of the technological process of surface water treatment was proposed. The presence of a bactericidal filter allows the use of a reverse osmosis filter, sensitive to biological water contaminants, as part of the installation.

**Keywords:** water disinfection, water bactericides, iodinated quaternary ammonium bases, disinfection on a signal.

Загрязнение окружающей среды за последние десятилетия привело к значительному ухудшению качества поверхностных и подземных природных вод, используемых для питьевых целей. Это обстоятельство делает актуальной проблему эффективной локальной очистки вод до питьевого качества, особенно в случае возникновения природных, техногенных и гуманитарных чрезвычайных ситуаций. Необходимость быстрого развёртывания мероприятий по стабилизации ситуации и обустройству временных лагерей для перемещённых (эвакуированных) граждан не во всех случаях обеспечена возможностью подвоза воды питьевого качества. В этих случаях могут использоваться источники, находящиеся в максимальной близости к месту размещения населения, даже если они не удовлетворяют всем требованиям. Поверхностные и подземные воды могут содержать широкий перечень ксенобиотиков различного происхождения [1]. Это механические частицы (песок, глина), ионы тяжёлых металлов (железо, марганец, цинк, ртуть и т. п.), органические вещества (гуматы, нефтепродукты, пестициды, ПАВ и т. п.), а также микроорганизмы.

Гигиеническим критерием качества питьевых вод являются устанавливаемые санитарными нормативами предельно-допустимые концентрации (ПДК) растворённых химических веществ и пороговые значения содержания микроорганизмов [2, 3]. Благоприятные органолептические свойства воды определяют по установленным показателям мутности, цветности, запаха, привкуса. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям: по отсутствию термотолерантных и общих колиформных бактерий, колифагов в 100 мл пробы, цист лямблий в 50 л воды, спор сульфитредуцирующих клостридий в 20 мл; общее микробное число не должно превышать 50 КОЕ в 1 мл. Присутствие в воде патогенных бактерий или вирусов обуславливает распространение таких заболеваний, как холера,

острый гастроэнтерит, паратиф, брюшной тиф, дизентерия, бруцеллёз, инфекционные гепатиты, полиомиелиты, туляремия и т. д., и способствует развитию эпидемий [4, 5].

Очевидно, что при выборе методов водоподготовки основополагающими являются состав исходной воды и требования к очищенной воде. Возможность выполнения этих требований одним методом очистки крайне редка. Практически всегда необходима комбинация нескольких способов. Оптимальный выбор сочетания таких способов особенно актуален в настоящее время, когда наряду с ужесточением требований к качеству воды на первый план выходит экономическая выгода при сохранении экологической безопасности всего процесса [6, 7].

К настоящему времени в РФ зарегистрировано свыше 700 наименований бактерицидных средств, однако спектр антисептических препаратов и химических соединений, используемых для целей водоподготовки, крайне ограничен [8, 9]. Хлор и хлорсодержащие препараты являются наиболее распространёнными за счёт высокой бактерицидной эффективности хлора и способности консервировать очищенную воду [10]. Некоторые специалисты считают хлорирование единственным способом, гарантирующим безопасность воды, поступающей населению по централизованным системам водоснабжения [11]. При воздействии хлором происходит не только биологическое обеззараживание воды, но и окисление ионов двухвалентных железа и марганца, гуминовых и других органических веществ, разрушение некоторых коллоидов, что создаёт благоприятные условия для её осветления и фильтрации [7].

Все хлорсодержащие препараты хорошо растворимы в воде, действуют губительно на большинство микроорганизмов, но вызывают коррозию металлов, раздражают дыхательные пути и слизистые глаз, имеют стойкий запах, быстро теряют свою активность в процессе хранения; при длительном их использовании возможно появление резистентности микроорганизмов. Механизм антимикробного дей-

ствия основан на окислительной реакции, возникающей при взаимодействии хлора с белками микробной клетки и приводящей к её гибели. Главный недостаток хлорсодержащих препаратов – способность за счёт высокой реакционной способности хлора образовывать при взаимодействии с органическими загрязнителями воды высокотоксичные соединения [12, 13]. Этому недостатку лишены иодсодержащие бактерицидные препараты, причём, только в одной форме иода – в положительно одновалентной форме, т. е. в состоянии окисления  $I^+$  [14, 15]. Соединения положительно одновалентного иода вызывают существенные необратимые изменения в клетках микроорганизмов, причём другие формы иода (иодиды и иодаты) являются нетоксичными и антимикробным действием не обладают [16]. Механизм бактерицидного действия иода до конца не выяснен. В частности, предполагается, что нарушение синтеза белка происходит в результате окисления иодом SH-групп цистеина, что приводит к потере способности присоединения цепей белка к дисульфидным мостикам ( $-S-S-$ ) и нарушению важного фактора в синтезе белков [17].

Впервые технологию по очистке питьевой воды, основанную на использовании положительно одновалентного иода, разработали и запатентовали в семидесятых годах прошлого столетия [18, 19]. Разработанный бактерицид представлял собой трийодид четвертичного аммониевого основания общей формулы  $R_4N^+I_3^-$ , где R – органические радикалы, которые могут иметь различную природу,  $N^+$  – четвертичный атом азота, несущий положительный заряд,  $I_3^-$  – отрицательно заряженный полийодид-ион, представляющий собой комплексное образование из иодид-иона и одной молекулы иода. Для приготовления бактерицида ионообменную смолу на основе четвертичных аммониевых оснований (ЧАО) обрабатывали иодом, растворённым в водном растворе щелочного иодида  $[KI_2]I$ .

Позже зарегистрирован патент [20] на способ получения бактерицида с увеличенным содержанием иода с общей формулой  $R_4N^+I_5^-$  путём многократного пропускания растворённого в горячей воде иода через ионообменную смолу на основе четвертичных аммониевых оснований. Таким образом, формировались полийодид-ионы, закреплённые на ЧАО, в которых индекс иода имел значение от трёх до семи.

Бактерицидное действие полийодидов четвертичных аммониевых оснований на

микроорганизмы в водных растворах объясняется порционным выделением иода за счёт частичной нейтрализации положительного заряда атома азота в ЧАО микроорганизмами, несущими на своей поверхности отрицательный заряд. В результате исследований доказана эффективность данного бактерицида в отношении содержащихся в водной среде грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также RNA и DNA вирусов и простейших *Giardia muris*, *G. lamblia* [21]. Однако существенным минусом использования данного способа обеззараживания является повышение концентрации солей иодидов в фильтрате.

Целью работы явилось получение иодированного бактерицидного препарата на основе отечественной анионообменной смолы марки АВ-17-8 для биологической очистки воды сорбционным методом, и последующая разработка способа комплексной водоподготовки в полевых условиях.

## Материалы и методы

Для реализации поставленной цели использовали реактивы, выпускаемые в России в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ РФ).

В работе использовалась анионообменная смола АВ-17-8 отечественного производства, которая является четвертичным аммониевым основанием сополимеров стирола и дивинилбензола; функциональные группы – четвертичные триметиламмониевые. Выпускается смола АВ-17-8 в соответствии с ГОСТ 20301-22. Основные характеристики приведены в таблице 1.

Иод марки «чистый» (ч.), массовая доля основного вещества – 99,5%, соответствует требованиям ГОСТ 4159-79, сухие тяжёлые фиолетово-чёрные или серо-чёрные с металлическим блеском кристаллические пластинки или кусочки; легко растворим в спирте, эфире, хлороформе, сероуглероде, в водных растворах щелочных иодидов; плохо растворим в воде. В этиловом спирте растворимость иода до 20% вес., при обычных условиях, а в воде существенная растворимость достигается только при повышенных температурах – 3,3 г/л при 100 °С.

Иодид калия марки «чистый» (ч.), массовая доля основного вещества – 99,0%, соответствует требованиям ГОСТ 4232-74. Формула: KI. Иодид калия представляет собой белые кристаллы, хорошо растворим в воде [23].

Таблица 1 / Table 1

Характеристика анионита АВ-17-8 / Anion-exchange resin АВ-17-8 characteristics

Марка Brand	Обменная ёмкость, ммоль/см <sup>3</sup> (мг-экв/см <sup>3</sup> ) Exchange capacity, mmol/cm <sup>3</sup> (mg-eq/cm <sup>3</sup> )	Ионная форма Ionic form	Тип смолы Resin type	Структура Structure	Размер зёрен, мм Grain size, mm
АВ-17-8, высший сорт Anion-exchange resin АВ-17-8, higher grade	Статическая – 1,15 Static  Динамическая – 0,7 Dynamic	Хлоридная Chloride	Полимери- зационная Polymerization	Гелевая Gel	0,4–0,6

Гидроокись натрия марки «технический» соответствует требованиям ГОСТ Р 55064-2012, представляет собой чешуированную массу белого цвета с содержанием основного вещества не менее 98,5%.

Спирт этиловый первого сорта соответствует требованиям ГОСТ 5962-2013. Объёмная доля спирта – 96,0%.

Для исследования антибактериальной активности полученного бактерицида использовали модельные суспензии референс-штамма бактерий *Escherichia coli* 113-13. Оценку антимикробной активности

бактерицида в отношении модельного тест-объекта (референс-штамма) проводили в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.1890-04 и Р 4.2.2643-10. Для приготовления микробной взвеси использовали чистую суточную культуру *E. coli*, выросшую на скошенном ГРМ-агаре. Результат антимикробного действия оценивали по количеству выросших колоний на чашках Петри в контрольных и опытных образцах через 24 ч инкубации посевов при 37 °С.

Концентрация иода в исследуемых растворах определялась фотометрическим методом на спектрофотометре КФК-2 в соответствии с методическими указаниями МУК 4.1.1090-02.

Полученные результаты 10-ти кратных повторений экспериментов обрабатывали статистически по общепринятым методикам.

## Результаты и обсуждение

Бактерицид на основе отечественной анионообменной смолы АВ-17-8 готовили следующим образом. Собирали установку, как показано на рисунке 1.

Готовили два 10% раствора: раствор иодида калия в воде и раствор иода в этиловом спирте. Иодсодержащий раствор получали растворением кристаллического иода в спирте с добавлением щёлочи до рН, равной 10–11 [24].

При обработке раствором иодида калия анионит переводился из хлоридной в иодидную форму. Схема реакции представлена на рисунке 2.

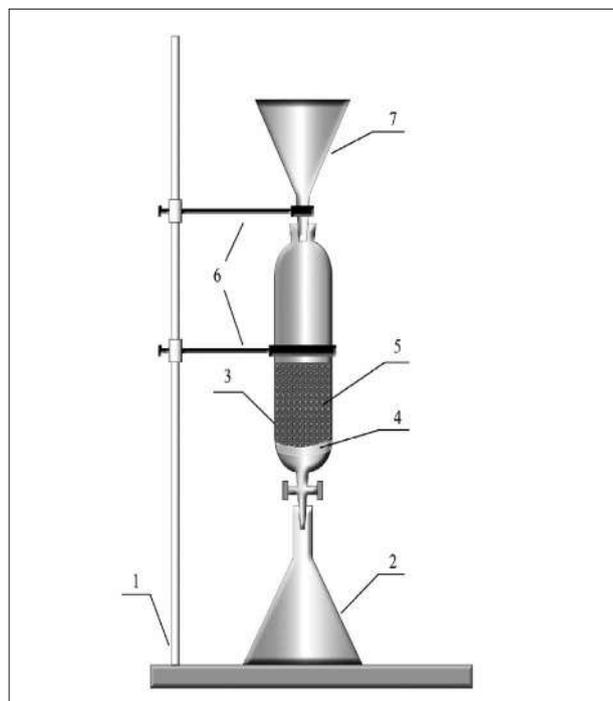


Рис. 1. Установка получения бактерицида:

- 1 – штатив; 2 – плоскодонная колба;  
3 – делительная воронка объёмом 250 мл;  
4 – инертный фильтрующий материал; 5 – анионообменная смола АВ-17-8 объёмом 100 мл;

6 – «лапки»; 7 – воронка стеклянная

- Fig. 1. Bactericide production installation:  
1 – tripod; 2 – flat-bottomed flask;  
3 – separating funnel of 250 mL; 4 – inert filter material;  
5 – anion exchange resin АВ-17-8 of 100 mL;  
6 – “legs”; 7 – glass funnel

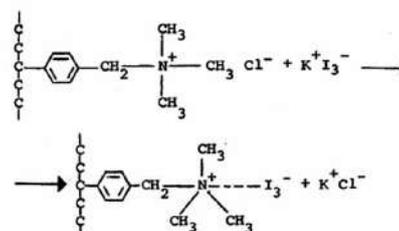


Рис. 2. Схема реакции иодирования анионита  
Fig. 2. Scheme of anionite iodization reaction

Таблица 2 / Table 2

Зависимость концентрации выделившегося иода от степени микробиологического заражения  
Dependence of released iodine concentration on the degree of microbiological contamination

Концентрация иода, г/дм <sup>3</sup> Iodine concentration, g/dm <sup>3</sup>	Оптическая плотность D, отн. ед. Optical density D, rel. units	Степень микробиологического загрязнения воды Q, КОЕ/мл Degree of microbiological contamination of water Q, CFU/mL
0,0000	0,0000	0
0,0002	0,0064	500
0,0004	0,0128	1000
0,00180	0,0630	5000
0,00391	0,1267	10000

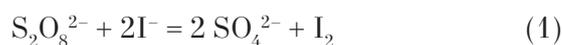
Иодсодержащий раствор заливали в делительную воронку, полностью покрывая поверхность смолы, выдерживали в контакте с ней в течение 10–15 мин, затем сливали в виде осветлённого раствора. Обработка смолы проводилась в температурном интервале 20–25 °С. После каждого цикла обработки смолу отмывали деионизированной водой до получения отрицательной реакции на свободный иод (I<sub>2</sub>). Процесс обработки смолы повторяли до полного её насыщения иодом. Контрольный показатель насыщения иодом смолы – потеря прозрачности сливаемого раствора. Иодированную смолу отмывали концентрированным раствором иодида калия, затем деионизированной водой до отрицательной реакции на свободный иод, высушивали до получения постоянного веса и определяли привес.

По привесу из стехиометрических соотношений с учётом известной обменной ёмкости смолы рассчитывали формальный состав полученного соединения. При вышеуказанных условиях этим способом было получено соединение стехиометрического состава R<sub>4</sub>NI<sub>9</sub> · 4H<sub>2</sub>O или R<sub>4</sub>N<sup>+</sup>[I-H<sub>2</sub>OI<sup>+</sup>]<sub>4</sub><sup>0</sup>I<sup>-</sup>. Такой формальный состав подтверждается экспериментальными данными по ионному обмену в насыщенном растворе NaCl. После осуществления обменных реакций в растворе наблюдались только иодид-ионы (I<sup>-</sup>), а свободный иод (I<sub>2</sub>) отсутствовал.

Оценка бактерицидной эффективности полученного соединения была проведена на суспензиях культуры *E. coli* при различных концентрациях (10<sup>3</sup>–10<sup>9</sup>) КОЕ/мл. Все опыты дали положительный результат. После обработки суспензий с использованием полученного бактерицида роста колоний микроорганизмов не отмечено ни в одном случае.

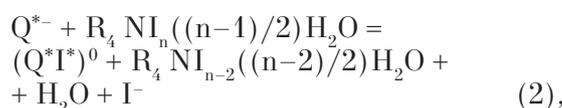
Для установления количественной зависимости бактерицидной активности полученного на анионообменной смоле иодсодержащего соединения готовили пробы загрязнён-

ной бактериями *E. coli* воды в концентрациях 500, 1000, 5000 и 10000 КОЕ/мл. Полученные пробы последовательно пропускали через бактерицидный фильтр объёмом 100 см<sup>3</sup>. Затем в реакторе с мешалкой рН отфильтрованных растворов доводили добавлением фосфатно-лимонно-кислотного буферного раствора до значений 5–6. Далее I<sup>-</sup> переводился в нейтральную форму I<sub>2</sub> стехиометрическим окислением надсерноокислым аммонием (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> по реакции (уравнение 1):



Концентрацию I<sub>2</sub>, пропорциональную степени микробиологического загрязнения воды, определяли колориметрически (табл. 2). В качестве раствора сравнения использовали деионизированную воду.

Полученная линейная зависимость между бактерицидной активностью и выходом иода из анионообменной смолы позволила предположить, что положительный иод-радикал выделяется «по сигналу» – при появлении в воде живых микроорганизмов, несущих избыточный электростатический заряд. Выделяющийся бактерицидом положительный иод-радикал (I<sup>\*+</sup>) взаимодействует только с электростатическим зарядом микроорганизмов, а не с функциональными группами их оболочек. Найденная количественная зависимость позволяет по концентрации иода в обработанном растворе определять микробиологическое загрязнение. Данное взаимодействие можно пояснить следующим уравнением (2):



где Q<sup>\*-</sup> – микробиологический объект, несущий отрицательный электростатический заряд; R<sub>4</sub>NI<sub>n</sub>((n-1)/2)H<sub>2</sub>O – иодсодержащий

бактерицид;  $(Q^*I^*)^0$  – микробиологический объект, нейтрализованный иод-радикалом;  $I^-$  – иод в восстановленной форме.

В результате проведённых экспериментов выявлено, что зависимость оптической плотности водной среды от микробиологического загрязнения может быть выражена следующим эмпирическим уравнением:

$$D = 127 \cdot 10^{-7} Q \quad (3)$$

Полученные результаты позволили сделать заключение, что бактерицидный фильтр на основе отечественной анионообменной смолы АВ-17-8 может быть использован для быстрого и количественного определения микробиологического загрязнения исследуемых вод. В течение 30 мин можно определить заражённость пробы воды с точностью до 400 КОЕ/мл, при этом не требуется особой стерильности, что крайне важно в полевых условиях.

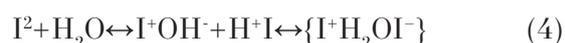
Для обоснования спектра применения разработанного бактерицидного фильтра необходимо было проанализировать механизм получения иодсодержащих соединений четвертичных аммониевых оснований.

Положительно одновалентный иод по химическим свойствам близок к водороду. Так, он способен замещать водород в аммиаке, образуя соединение  $NI_3$ , а также в процессе гидролиза по кислотному типу образует аналогичный иону гидроксония ион  $H_2O \cdot I^+$ .

Отрицательно одновалентный иод образует типичный анион иодистоводородной кислоты  $I^-$ , со всеми присущими кислотному аниону свойствами. Очевидно, что могут существовать условия, когда возможно образование как положительно, так и отрицательно одновалентных ионов иода.

Такие условия создаются, например, при восстановлении иода в растворе его иодистых солей, при растворении иода в растворе щелочных иодидов, при гидролизе иода в неводных (например, спиртовых) растворителях в присутствии небольшого количества  $OH^-$  ионов.

В этих случаях в растворе возможно образование комплексного полииона формального состава  $[I_3^- \cdot H_2O]$ . Образование такого иона идёт, по-видимому, по реакции:



Первая реакция является обратимой и для получения иона  $\{I^+H_2OI^-\}^0 I^-$  и сдвига равно-

весия реакции (4) вправо требуется иметь в растворе избыток иодид-ионов.

Можно предположить, что образующийся в этих условиях комплексный ион состоит из двух частей: нейтрального ионного диполя  $\{I^+H_2OI^-\}^0$  и иодид-иона  $I^-$ , служащего в качестве своеобразного стабилизатора. Нейтральный ионный диполь имеет на своих концах положительный и отрицательный электростатический заряд, что обуславливает его повышенную способность к координации на комплексообразователях, таких как несущий избыточный положительный заряд атом азота в четвертичных аммониевых основаниях.

Такой комплексообразователь может координировать из раствора некоторое количество нейтральных ионных диполей  $\{I^+H_2OI^-\}^0$ , определяемое его координирующими возможностями (предельное число четвертичного атома азота равно 4). При этом сам атом азота является своеобразным «стабилизатором» нейтральных диполей, т. к. они, образуя нерастворимый комплекс с четвертичным аммониевым основанием, делают реакцию гидролиза иода необратимой. Следует учитывать, что для уравнивания избыточного заряда четвертичного азота требуется ещё и присоединение к образуемому комплексу отрицательно однозарядного иона (например,  $I^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $NO_3^-$  и др.). Природа уравнивающего аниона не так важна, надо только, чтобы он был отрицательно однозаряден.

Не исключено, что возможна стабилизация таких комплексных образований ионами с более высокими зарядами за счёт стабилизации нескольких координационных центров.

Таким образом, возможно получение комплексных иодсодержащих соединений четвертичных аммониевых оснований с общей формулой:



где  $R$  – органический радикал,  $N^+$  – четвертичный атом азота,  $\{I^+H_2OI^-\}_n$  – ионный диполь,  $I^-$  – иодид-диполь,  $n = 1-4$ .

Интересны свойства таких соединений. С одной стороны, они ведут себя как типичные аниониты и способны обменивать свои стабилизирующие анионы на другие, присутствующие в растворе. С другой стороны, наличие в их структуре ионных диполей, несущих электростатический заряд, обуславливает ряд специфических свойств, наиболее практически важными из которых являются:

- электростатическое воздействие на заряженные мицеллы коллоидных золей;
- бактерицидное воздействие на присутствующие в воде и водных растворах микроорганизмы.

Иодные комплексы четвертичных аммониевых оснований, содержащие в своей структуре ионные диполи, способны нейтрализовать заряды на мицеллах коллоидных золей, что позволяет использовать их в качестве специальных загрузок для фильтров-коагуляторов при очистке различных растворов от коллоидных взвесей. Эти свойства могут найти применение при водоочистке, а также в пищевых производствах.

Взаимодействие иодных комплексов четвертичных аммониевых оснований с микроорганизмами носит сложный характер. С одной стороны, по-видимому, имеет место дезактивация микроорганизмов, несущих на своей поверхности избыточный отрицательный заряд, за счёт электростатического разряда ионных диполей, строение которых можно представить как «микроконденсатор» с положительно и отрицательно заряженными «обкладками», между которыми имеется изолятор – молекула воды.

С другой стороны, образующийся при разрушении ионного диполя после электростатического разряда очень активный атомарный иод может вступать в реакции присоединения с функциональными группами соедине-

ний в составе микроорганизмов (например,  $>C=C<$ ,  $-SH$ ), что приводит к необратимым изменениям в составе аминокислот протеинов и гибели микроорганизмов.

Таким образом, иодные комплексы четвертичных аммониевых оснований представляют собой ионный класс бактерицидов, действующих только «по сигналу», т. е. при появлении в растворе микроорганизмов, и не связаны с реакциями окисления, присущими другим химическим дезинфектантам, тем самым не образуя в растворе токсичных продуктов. Это позволяет сделать заключение, что повышение бактерицидной активности четвертичных аммониевых оснований при их иодировании [25, 26] может быть использовано для получения новых медицинских препаратов различного назначения.

Полученный бактерицидный препарат на основе отечественной анионообменной смолы АВ-17-8 позволил разработать технологию обеззараживания и очистки природных вод (рис. 3). На первой ступени (песчаный фильтр) вода очищается от механических загрязнений, далее, на стадии бактериологической фильтрации, происходит дезинфекция воды. На третьей ступени возможно использовать угольный фильтр, но его регенерация крайне затруднительна. Поэтому лучше использовать обратноосмотическую фильтрацию, которая гарантированно очистит воду от химических и остаточных механических

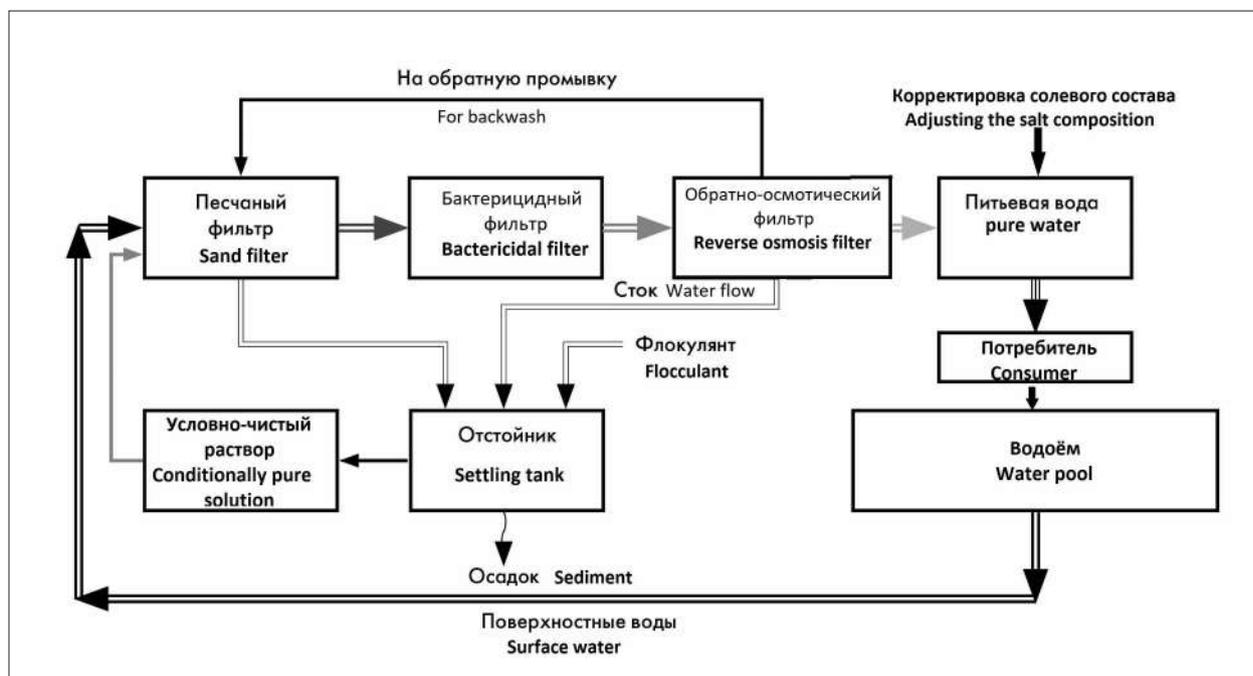


Рис. 3. Блок-схема технологического процесса очистки поверхностных вод  
 Fig. 3. Flowchart of the surface water treatment process

загрязнений. После обратноосмотического фильтра чистая вода частично используется для обратной промывки песчаного фильтра. Стоки с песчаного и обратноосмотического фильтров поступают в отстойник, где с помощью флокулянта осуществляется осветление воды и возврат её на первую ступень очистки.

Очищенная вода (пермиат) с обратноосмотического фильтра поступает в ёмкость питьевой воды, где, при необходимости, могут быть добавлены соли для доведения качества воды до нормативных требований в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

### Заключение

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Иодированные четвертичные аммониевые основания являются высокоэффективными бактерицидами, что позволяет использовать их для очистки природных вод в локальных системах водоподготовки.

2. Полученный бактерицидный фильтр на основе отечественной анионообменной смолы АВ-17-8 может быть использован для количественного определения бактериологической заражённости исследуемых вод.

3. Разработана технология обеззараживания и очистки природных вод с использованием бактерицидного фильтра на основе отечественной анионообменной смолы АВ-17-8, позволяющая получать качественную питьевую воду даже в полевых условиях.

4. Предложена блок-схема технологического процесса очистки поверхностных вод, в которой наличие бактерицидного фильтра позволяет использовать в составе установки обратноосмотический фильтр, чувствительный к биологическим загрязнениям воды.

### Литература

1. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г. Гигиеническая оценка питьевого водообеспечения населения Российской Федерации: проблемы и пути рационального их решения // Гигиена и санитария. 2022. № 101 (10). С. 1158–1166. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166

2. Зайцева Н.В., Сбоев А.С., Клейн С.В., Вековщина С.А. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора // Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 44–54. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.05

3. Степанов Н.А., Заводова Е.И. Характеристика влияния качественного состава питьевой воды на здоровье человека // Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 207–212.

4. Алексеев С.К. Контроль качества воды. М.: Инфра-М, 2004. 154 с.

5. Онищенко Г.Г. Бенчмаркинг качества питьевой воды. СПб.: Новый журнал, 2010. 464 с.

6. Тихомирова Е.И., Кошелев А.В., Веденева Н.В., Заматырина В.А., Атаманова О.В., Истрашкина М.В., Скиданов Е.В. Совершенствование сорбционных методов очистки загрязнённых природных и сточных вод: коллективная монография. Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2017. 154 с.

7. Кострова Ю.С., Ефремов Н.В. Оценка риска здоровью населения Рязанской области, связанная с загрязнением питьевой воды // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.29

8. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. М.: МГУ, 1996. 680 с.

9. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. 328 с.

10. Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учётом оценки риска здоровью населения. [Электронный ресурс] <https://www.minstroyrf.ru/docs/18725/> (Дата обращения: 01.03.2020).

11. Федорова Л.С., Арефьев Л.И., Путинцева Л.С., Веремкович Н.А. Современные средства дезинфекции и дезинсекции. Характеристика, назначение, перспективы. М.: НПО «Союзмединформ», 1991. 51 с.

12. Швецов А.Б., Козырева А.В., Седунов С.Г., Тараскин К.А. Хлорные дезинфектанты и их применение в современной водоподготовке // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 4 (40). С. 32–40.

13. Петросян О.П., Кожевникова А.Б., Логинова А.Ю., Силаева Н.А., Петросян А.О. Хлорированию воды альтернативы нет // Водоснабжение и канализация. 2014. № 7–8. С. 114–124.

14. Макотрина Л.В., Зверькова А.С. Влияние обеззараживания питьевой воды хлором на здоровье человека // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2011. № 1. С. 87–95.

15. Мокиенко А.В., Петренко Н.Ф. Галогенсодержащие соединения (ГСС) как продукты хлорирования воды. Сообщение первое: общее состояние проблемы (часть 2) // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2013. № 1 (31). С. 22–32.

16. Мохнач В.О. Теоретические основы биологического действия галоидных соединений. Л.: Наука, 1968. 298 с.

17. Мохнач В.О. Йод и проблемы жизни. Л.: Наука, 1974. 254 с.

18. Iodine chemistry and applications / Ed. T. Kaiho. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 636 p. doi: 10.1002/9781118909911
19. Krusé C.W., Hsu Y.C., Griffiths A.C., Stringer R. Halogen action on bacteria, viruses and protozoan // Proceedings of the National Specialty Conference on Disinfection. Amherst, July 8–10 1970. New York: ASCE, 1970. P. 113–137.
20. Lambert J.L., Fina L.R. Method of disinfecting water and demand bactericide for use therein // Patent USA 3817860. Application: US30855372A, 21.11.1972. Date of publication: 18.06.1974.
21. Lambert J.L., Fina L.R. Demand bactericide for disinfecting water and process of preparation // Patent USA 3923665. Application: 05/457633, 03.04.1974. Date of publication: 12.02.1975.
22. Lambert J.L., Fina L.R., Bridges R.L. Preparation of I<sub>2</sub>-polyiodide disinfectant resins // Patent USA 4999190. Application: 07/365556, 13.06.1989. Date of publication: 12.03.1991.
23. Fina L.R., Hassouna N., Horacek G.L., Lambert J.P., Lambert J.L. Viricidal capability of resin-triiodide demand-type disinfectant // Applied and environmental microbiology. 1982. V. 44. No. 6. P. 1370–1373. doi: 10.1128/aem.44.6.1370-1373.1982
24. Некрасов Б.В. Основы общей химии. Т. 1. М.: Химия, 1974. 275 с.
25. Фотометрический анализ / Сост. Б.М. Стифатов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. 34 с.
26. Заматырина В.А., Веденева Н.В., Тихомирова Е.И., Кошелев А.В., Скиданов Е.В., Анохина Т.В. Бактерицидная композиция // Патент РФ № 2595871 С1. Заявление: 2595871, 27.08.2016. Заявка № 2015102899/15 от 29.01.2015.
27. Нечаева О.В., Шуршалова Н.Ф., Тихомирова Е.И., Плотников О.П. Исследование токсичности гетероциклических соединений с высокой антимикробной активностью // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2016. Т. 79. № 8. С. 29–32. doi: 10.30906/0869-2092-2016-79-8-29-32
- cupational Medicine and Human Ecology. 2015. No. 3. P. 207–212 (in Russian).
4. Alekseev S.K. Water quality control. Moskva: Infra-M, 2004. 154 p. (in Russian).
5. Onishchenko G.G. Benchmarking of drinking water quality. Sankt-Peterburg: New Journal, 2010. 464 p. (in Russian).
6. Tikhomirova E.I., Koshelev A.V., Vedeneva N.V., Zamatyrina V.A., Atamanova O.V., Istrashkina M.V., Skidanov E.V. Improvement of sorption methods for treating contaminated natural and waste waters: collective monograph. Saratov: SSTU named after Gagarin Yu.A., 2017. 154 p. (in Russian).
7. Kostrova Yu.S., Efremov N.V. A health risk evaluation of the population of Ryazan oblast related to drinking water contamination // International scientific research journal. 2022. No. 12 (126) (in Russian). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.29
8. Frog B.N., Levchenko A.P. Water treatment. Moskva: MSU, 1996. 680 p. (in Russian).
9. Ryabchikov B.E. Modern methods of water treatment for industrial and domestic use. Moskva: DeLi print, 2004. 328 p. (in Russian).
10. Handbook of promising technologies for water treatment and purification using technologies developed by organizations of the military-industrial complex and taking into account the assessment of public health risk [Internet resource] <https://www.minstroyrf.ru/docs/18725/> (Accessed: 01.03.2020) (in Russian).
11. Fedorova L.S., Arefiev L.I., Putintseva L.S., Veremkovich N.A. Modern means of disinfection and disinsection. Characteristics, purpose, prospects. Moskva: NPO “Soyuzmedinform”, 1991. 51 p. (in Russian).
12. Shvetsov A.B., Kozyreva A.V., Sedunov S.G., Taraskin K.A. Chlorine disinfectants and their use in modern water treatment // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. 2011. No. 4 (40). P. 32–40 (in Russian).
13. Petrosyan O.P., Kozhevnikova A.B., Loginova A.Yu., Silaeva N.A., Petrosyan A.O. There is no alternative to water chlorination // Vodosnabzhenie i kanalizatsiya. 2014. No. 7–8. P. 114–124 (in Russian).
14. Makotrina L.V., Zverkova A.S. drinking water chlorine disinfection and its influence on human health // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. 2011. No. 1. P. 87–95 (in Russian).
15. Mokienko A.V., Petrenko N.F. Halogen-containing substances (HCS) as result of chlorination of water. Message first. The general condition of problem (part 2) // Actual problems of transport medicine. 2013. No. 1 (31). P. 22–32 (in Russian).
16. Mokhnach V.O. Theoretical basis of the biological action of halogen compounds. Leningrad: Nauka, 1968. 298 p. (in Russian).
17. Mokhnach V.O. Iodine and life's problems. Leningrad: Nauka, 1974. 254 p. (in Russian).

## References

1. Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G. Hygienic assessment of drinking water supply to the population of the Russian Federation: problems and the way to rational decision // Hygiene and Sanitation. 2022. No. 101 (10). P. 1158–1166 (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166
2. Zaitseva N.V., Sboev A.S., Klein S.V., Vekovshinina S.A. Drinking water quality: health risk factors and efficiency of control and surveillance activities by Rospotrebnadzor // Health Risk Analysis. 2019. No. 2. P. 44–54 (in Russian). doi: 10.21668/health.risk/2019.2.05
3. Stepanov N.A., Zavodova E.I. Characteristics of drinking water quality influence on human health // Oc-

- cupational Medicine and Human Ecology. 2015. No. 3. P. 207–212 (in Russian).
4. Alekseev S.K. Water quality control. Moskva: Infra-M, 2004. 154 p. (in Russian).
5. Onishchenko G.G. Benchmarking of drinking water quality. Sankt-Peterburg: New Journal, 2010. 464 p. (in Russian).
6. Tikhomirova E.I., Koshelev A.V., Vedeneva N.V., Zamatyrina V.A., Atamanova O.V., Istrashkina M.V., Skidanov E.V. Improvement of sorption methods for treating contaminated natural and waste waters: collective monograph. Saratov: SSTU named after Gagarin Yu.A., 2017. 154 p. (in Russian).
7. Kostrova Yu.S., Efremov N.V. A health risk evaluation of the population of Ryazan oblast related to drinking water contamination // International scientific research journal. 2022. No. 12 (126) (in Russian). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.29
8. Frog B.N., Levchenko A.P. Water treatment. Moskva: MSU, 1996. 680 p. (in Russian).
9. Ryabchikov B.E. Modern methods of water treatment for industrial and domestic use. Moskva: DeLi print, 2004. 328 p. (in Russian).
10. Handbook of promising technologies for water treatment and purification using technologies developed by organizations of the military-industrial complex and taking into account the assessment of public health risk [Internet resource] <https://www.minstroyrf.ru/docs/18725/> (Accessed: 01.03.2020) (in Russian).
11. Fedorova L.S., Arefiev L.I., Putintseva L.S., Veremkovich N.A. Modern means of disinfection and disinsection. Characteristics, purpose, prospects. Moskva: NPO “Soyuzmedinform”, 1991. 51 p. (in Russian).
12. Shvetsov A.B., Kozyreva A.V., Sedunov S.G., Taraskin K.A. Chlorine disinfectants and their use in modern water treatment // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. 2011. No. 4 (40). P. 32–40 (in Russian).
13. Petrosyan O.P., Kozhevnikova A.B., Loginova A.Yu., Silaeva N.A., Petrosyan A.O. There is no alternative to water chlorination // Vodosnabzhenie i kanalizatsiya. 2014. No. 7–8. P. 114–124 (in Russian).
14. Makotrina L.V., Zverkova A.S. drinking water chlorine disinfection and its influence on human health // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. 2011. No. 1. P. 87–95 (in Russian).
15. Mokienko A.V., Petrenko N.F. Halogen-containing substances (HCS) as result of chlorination of water. Message first. The general condition of problem (part 2) // Actual problems of transport medicine. 2013. No. 1 (31). P. 22–32 (in Russian).
16. Mokhnach V.O. Theoretical basis of the biological action of halogen compounds. Leningrad: Nauka, 1968. 298 p. (in Russian).
17. Mokhnach V.O. Iodine and life's problems. Leningrad: Nauka, 1974. 254 p. (in Russian).

18. Iodine chemistry and applications / Ed. T. Kaiho. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 636 p. doi: 10.1002/9781118909911
19. Krusé C.W., Hsu Y.C., Griffiths A.C., Stringer R. Halogen action on bacteria, viruses and protozoan // Proceedings of the National Specialty Conference on Disinfection. Amherst, July 8–10 1970. New York: ASCE, 1970. P. 113–137.
20. Lambert J.L., Fina L.R. Method of disinfecting water and demand bactericide for use therein // Patent USA 3817860. Application: US30855372A, 21.11.1972. Date of publication: 18.06.1974.
21. Lambert J.L., Fina L.R. Demand bactericide for disinfecting water and process of preparation // Patent USA 3923665. Application: 05/457633, 03.04.1974. Date of publication: 12.03.1975.
22. Lambert J.L., Fina L.R., Bridges R.L. Preparation of I5-polyiodide disinfectant resins // Patent USA 4999190. Application: 07/365556, 13.06.1989. Date of publication: 12.03.1991.
23. Fina L.R., Hassouna N., Horacek G.L., Lambert J.P., Lambert J.L. Viricidal capability of resin-triiodide demand-type disinfectant // Applied and environmental microbiology. 1982. V. 44. No. 6. P. 1370–1373. doi: 10.1128/aem.44.6.1370-1373.1982
24. Nekrasov B.V. Fundamentals of general chemistry. V. 1. Moskva: Khimiya, 1974. 275 p. (in Russian).
25. Photometric analysis / Ed. B.M. Stifatov. Samara: Samara state tech. univ., 2017. 34 p. (in Russian).
26. Zamatyryna V.A., Vedeneeva N.V., Tikhomirova E.I., Koshelev A.V., Skidanov E.V., Anokhina T.V. Bactericidal composition // RF Patent No. 2595871 C1. Application: 2595871, 27.08.2016. Application No. 2015102899/15 dated January 29, 2015.
27. Nechaeva O.V., Shurshalova N.F., Tikhomirova E.I., Plotnikov O.P. Toxicity of heterocyclic compounds with high antimicrobial activity // Экспериментальная и клиническая Фармакология. 2016. V. 79. No. 8. P. 29–32 (in Russian). doi: 10.30906/0869-2092-2016-79-8-29-32