

ВСТ

ISSN 0321-4044

9
2004



ВОДОСНАБЖЕНИЕ
И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА



**ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОПРОВОДНОГО
И КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА**



Россия, 308810, г. Белгород,
ул. Князя Трубецкого 40, оф. 704А
тел./факс: (0722) 278-292
e-mail: info@ekoton.com

e-mail: info@ekoton.com, интернет: www.ekoton.com

Россия, 107076, г. Москва,
ул. Краснобогатyrская 44,
тел./факс: (095) 777-84-76
тел.: (095) 768-08-45

Россия, 420022, г. Казань,
ул. Ахтямова 1, ком. 812
тел.: (8432) 78-27-59

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
«ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА» № 9, 2004
Издается с 1913 г.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

PROBLEMS, PERSPECTIVES

Драгинский В. Л., Алексеева Л. П.
Обеспечение качества питьевой
воды в свете новых нормативных
требований 2

V. L. Draginsky, L. P. Alekseeva.
The Provision of Potable Water Quality
in Accordance with New Normative
Requirements 2

Мясников И. Н., Потанина В. А.,
Горшенин А. Н., Буков Ю. Б.,
Слободникова Н. Г., Нетреба М. П.,
Воропаев В. А., Фетисов А. Г.
Модернизация технологии очистки
питьевой воды методом напорной
флотации 7

I. N. Miasnikov, V. A. Potanina,
A. N. Gorshenin, Yu. B. Bukov,
N. G. Slobodnikova, M. P. Netreba,
V. A. Voropayev, A. G. Fetisov.
Modernization of Potable Water
Purification Technology with Pressure
Flotation Method 7

Фесенко Л. Н. Очистка воды от йода
и брома окислительно-сорбционным
методом 9

L. N. Fesenko. Water Elimination
for Bromine and Iodine
by the Oxidation-Sorption Method 9

Сычев А. В., Гетманцев С. В.
Некоторые вопросы применения
полиоксихлорида алюминия
«АКВА-АУРАТ™30» 17

A. V. Sichev, S. V. Getmantsev.
Some Problem of Application
of Aluminium Polyoxochloride
AKVA-AURAT™30 17

Линевич С. Н., Гетманцев С. В.,
Кудинов И. А., Казанок Л. С.,
Бондарюк А. Н., Квитовская О. Н.,
Журенкова Л. В. Особенности
коагуляционной обработки
сероводородсодержащих вод на
Ейском групповом водопроводе ... 21

S. N. Linevich, S. V. Getmantsev,
I. A. Kudinov, L. S. Kazanok,
A. N. Bondariuk, O. N. Kvitovskaya,
L. V. Zhurenkova. The Peculiarities
of Coagulation Treatment of Hydrogen
Sulphide Containing Water at the Eysk
Group Water Supply System 21

Линевич С. Н., Корохов В. В.
Оптимизация параметров
водоочистной установки малой
производительности 25

S. N. Linevich, V. V. Korokhov.
Optimization of Low Capacity
Water Treatment
Unit Parameters 25

Гетманцев С. В., Линевич С. Н.,
Казанок Л. С. Коагуляционная
водообработка на Таманском
групповом водопроводе 30

S. V. Getmantsev, S. N. Linevich,
L. S. Kazanok. Coagulation Water
Treatment at the Tamansk Group
Water Supply System 30

Тихонова Е. А., Усачев А. С.
Использование органических
коагулянтов для подготовки
питьевой воды 33

E. A. Tikhonova, A. S. Usachev.
The Use of Organic Coagulants
for Potable Water
Treatment 33

Лучкина С. Н., Сабуров В. А. Новый
типовой ряд насосов AFP-ME
компании ABS 37

S. N. Luchkina, V. A. Saburov.
New Standard Series of AFP-ME
Pumps of ABS Co. 37

Рефераты статей, опубликованных
в № 9 журнала 40

Abstracts of the Articles Published
in the Issue № 9 40

УЧРЕДИТЕЛИ:

ИНСТИТУТЫ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ –

ГП «СОЮЗВОДОКАНАЛПРОЕКТ»,
ФГУП ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО,
ЦНИИЭП ИНЖЕНЕРНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ,
ГПКНИИ САНТЕХНИПРОЕКТ.
МГП «МОСВОДОКАНАЛ»

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:

В. Н. ШВЕЦОВ
(главный редактор)
Р. А. ЧУБУКОВА
(зам. главного редактора)
Ю. Н. АНДРИАНОВ
Е. Н. ЖИРОВ
Н. Н. ЖУКОВ
Н. А. ЗЕНИТОВ
Ф. В. КАРМАЗИНОВ
А. И. КУНАХОВИЧ
В. В. НАЙДЕНКО
Р. Ш. НЕПАРИДЗЕ
П. П. ПАЛЬГУНОВ
А. Ф. ПОРЯДИН
Е. И. ПУПЫРЕВ
М. Н. СИРОТА
С. В. ХРАМЕНКОВ
А. Я. ШАРИПОВ
С. А. ШУБЕРТ
С. В. ЯКОВЛЕВ

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА
НАХОДИТСЯ
ПО АДРЕСУ:

Россия, 119992, Москва, ГСП-2,
Комсомольский пр-т, 42,
строение 2
Тел./факс: (095) 245-9633
Тел.: 245-9638
E-mail: vst@aha.ru
http://www.vstmag.ru

© ООО «Издательство ВСТ»,
журнал «Водоснабжение
и санитарная техника», 2004
Регистрационный № 01109

Очистка воды от йода и брома окислительно-сорбционным методом

Проблема очистки вод, содержащих йод и бром, возникла относительно недавно в связи с использованием подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении, а также с необходимостью очистки производственных йодобромных сточных вод до значений ПДК. В центральных областях европейской части России, Карелии, Сибири, на Дальнем Востоке, Северном Кавказе имеются значительные запасы пресных подземных вод, содержащих йод и бром, которые после очистки могут успешно использоваться для водоснабжения. Только шесть йодобромных заводов, расположенных на территории СНГ, ежегодно сбрасывают около 5 млн. м³ промышленных сточных вод, содержащих до 8 млн. т растворенных примесей, в том числе йод и бром. Минеральная вода, содержащая йод и бром, широко используется в бальнеотехнике для лечения многих заболеваний. Применение минеральной воды в лечебных целях приводит к образованию в курортных зонах значительных количеств послепроцедурных вод, содержащих йод и бром.

Комплексное использование природных ресурсов (в том числе и йодобромных вод) предусматривает создание новых технологических процессов, резко снижающих количество вредных выбросов за счет одновременного применения минерального сырья различными потребителями. Рационально использовать эти ресурсы или полностью как источник сырья, или многократно, если они не расходуются (например, в бальнеотехнике).

В настоящее время только комплексное и рациональное использование природных ресурсов, в частности йодных и бромных вод, позволит снизить количество выбросов и, следовательно, увеличить объемы добычи и вторичного применения ценных минеральных веществ, содержащих йод и бром.

Йод и бром, присутствующие в воде, следует рассматривать с двух позиций. Во-первых, это вещества, концентрация которых регламентируется нормативными документами в зависимости от области их использования. Во-вторых, эти компоненты представляют собой сырье для получения чрезвычайно полезных йода и брома. До сих пор подземные воды, содержащие йод и бром, использовались по данному назначению. Практически не делались попытки утилизировать эти вещества в случае применения йодобромных вод в водоснабжении, бальнеологии, промышленной добыче йода и брома. Сдерживалось это тем, что большинство йодных и бромных вод имели низкую концентрацию полезных компонентов и, следовательно, не могли рассматриваться как сырье для их добычи.

В основе общепринятых односторонних критериев, определяющих целесообразность извлечения йода и брома из воды, лежат экономические показатели технологии. Экологические же аспекты технологии, ресурсо-экологический потенциал, как правило, оцениваются впоследствии. Сочетание эколого-экономических факторов – главное направление при разработке новых перспективных технологий раци-

онального комплексного использования йодных и бромных вод.

Еще в начале прошлого века были разработаны технологии промышленного извлечения йода и брома из высококонцентрированных рассолов с использованием парового и воздушно-десорбционного методов [1]. Однако эти методы неприемлемы при обработке природных йодобромных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения, поскольку они не обеспечивают очистку воды до требований СанПиН и экологическую безопасность процесса.

В последние годы проведены комплексные исследования по разработке сорбционных методов извлечения из воды йода и брома. Предложен ряд модифицированных сорбентов: силикагель КСМ, оксид алюминия, тефлон, аниониты АВ-17 и АМП, четвертичные аммониевые соли, волокнистые сорбенты ПАН-АВ-17, редоксиониты на основе АВ-17 [2; 3]. Однако в вышеперечисленных работах не дается технологических решений по извлечению йода и брома указанными сорбентами в промышленных масштабах, не раскрывается механизм взаимодействия соединений йода и брома с сорбентом. При этом степень извлечения указанных веществ низка. Применение данных сорбентов в технологии очистки воды от йода и брома зачастую оказывается невозможным по следующим основным причинам:

из-за отсутствия выпуска многих указанных сорбентов в промышленных масштабах, их дефицита и высокой стоимости;

вследствие необходимости сопутствующей очистки отрабо-

Таблица 1

Сис-тема	pH	Доза окислителя, мг/мг					
		0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–0,6
Йодная	5	$J^- \gg J_2$	$J^- \geq J_2$ J_3^-	$J^- < J_2$ J_3^-	$J^- \ll J_2$	$J_2 > JCl$ JO_3^-	$JCl > J_2$ JO_3^-
	Зона	I		II	III	IV	
	6	$J^- \gg J_2$	$J^- \geq J_2$ J_3^-	$J^- < J_2$ J_3^-	$J^- \ll J_2$	$J_2 > JCl$ JO_3^-	$JCl > J_2$
	Зона	I		II	III	IV	
	7	$J^- \gg J_2$	$J^- \geq J_2$	$J^- < J_2$	$J^- \ll J_2$	$J_2 > JCl$ JO_3^-	$JCl > J_2$ JO_3^-
	Зона	I		II		III	
Бромная	5	$Br^- \gg Br_2$	$Br^- > Br_2$ Br_3^-	$Br_2 > Br_2$ Br_3^-	$BrCl > Br_2$	$BrCl > Br_2$	$BrCl > Br_2$
	Зона	I	II		III	IV	
	6	$Br^- \gg Br_2$	$Br^- > Br_2$ Br_3^-	$Br^- \geq Br_2$ Br_3^-	$Br^- < Br_2$	$Br^- \ll Br_2$	$Br^- \ll Br_2$
	Зона	I		II	III	IV	
	7	Br^-	Br^-	Br^-	$Br^- \gg Br_2$	$Br^- \gg Br_2$	$Br^- \gg Br_2$
	Зона	I				II	

танных регенерационных растворов;

использование ионообменных смол АВ-17 и АМП не рекомендовано Всемирной организацией здравоохранения при очистке воды, предназначенной для питьевых целей.

С учетом требований к разрабатываемой технологии и анализа литературы наибольший практический интерес представляют гидроксиды металлов. Способ извлечения из воды йода и брома с использованием гидроксидов металлов, хотя и является привлекательным, но имеет существенный недостаток: процент извлечения из воды соединений йода и брома различен и недостаточно высок, что не позволит вести сброс отработанных сточных йодобромных вод в водоемы или в городскую канализационную сеть; кроме того, сорбция соединений йода и особенно брома на гидроксидах металлов недостаточно исследована.

В качестве сорбента из гидроксидов металлов наибольший интерес представляет гидроксид алюминия, который может быть

получен в растворе при гидролизе сернокислого алюминия – коагулянта, широко применяемого в практике водоочистки.

При окислении йодид- и бромидсодержащих растворов гипохлоритом натрия образуются различные формы соединений йода и брома: J_2 , J_3^- , J_5^- , J_2Br^- , J_2Cl^- , JCl , JBr , JCl_2^- , $JBrCl$, JBr_2^- , Br_2 , Br_3^- , Br_5^- , $BrCl$, $BrCl_2$. Их количество и взаимное соотношение в растворе определяются величиной pH среды, температурой, концентрацией йодидов, бромидов, хлоридов, дозой вводимого окислителя, а их взаимодействие носит сложный характер. Практический интерес представляет определение степени очистки воды от различных соединений йода и брома в зависимости от дозы сорбента (гидроксида алюминия) и pH раствора при обработке йодных, бромных и йодобромных вод.

Исследования проводили в стационарных условиях на модельных водах. Концентрация йодидов составляла 62 мг/л, бромидов 32 мг/л. Дозу окислителя (гипохлорита натрия) изме-

няли от 0 до 0,6 мг активного хлора на 1 мг йода или брома с тем, чтобы в растворе находились определенные соединения йода и брома, соответствующие зонам, представленным в табл. 1 (составлена авторами на основании экспериментальных исследований процессов окисления йодидов и бромидов хлором), в которой приведены области существования всех форм йода и брома и их соотношение в зависимости от дозы окислителя и pH обрабатываемой воды.

Дозы сульфата алюминия были приняты 1000 и 100 мг/л. Процесс проводили при pH 5, 6, 7. На рис. 1 и 2 представлена степень очистки воды от йода и брома в зависимости от введенной дозы гипохлорита натрия, а также зоны существования различных соединений йода и брома, согласно данным табл. 1. Как следует из рис. 1 и 2, зависимость степени очистки воды от определенных форм йода и брома носит сложный характер и имеет, как правило, два максимума. Увеличение дозы сорбента и снижение pH улучшают сте-

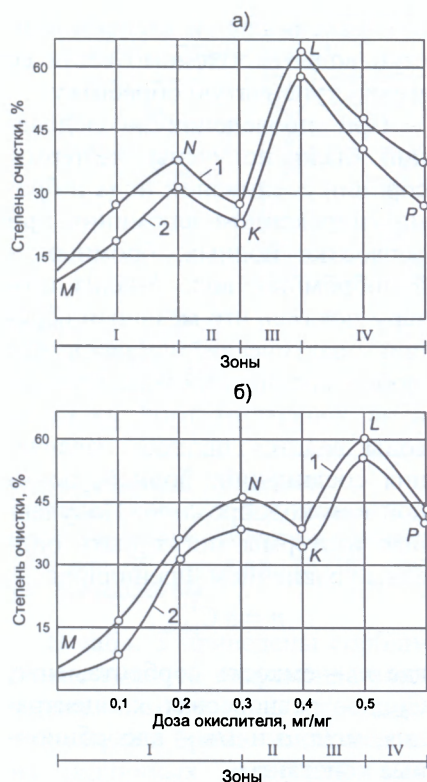


Рис. 1. Степень очистки воды от соединений йода в зависимости от дозы гипохлорита натрия
а – pH 5; б – pH 7; доза сульфата алюминия, мг/л: 1 – 1000; 2 – 100

пень очистки воды от йода и брома. Из рис. 1 и 2 следует также, что наличие в воде йод- или бромсодержащих веществ, соответствующих зонам I и III, увеличивает степень очистки, а соединения, характерные для зон II и IV, ее снижают.

При обработке йодобромной воды с концентрацией йодидов 62 мг/л и бромидов 32 мг/л дозу окислителя изменяли от 0 до 0,8 мг активного хлора на 1 мг йода. Исследования проводили при pH 5 и дозе сульфата алюминия 1000 мг/л. На рис. 3 представлены зависимости степени очистки воды от введенной дозы окислителя. Как следует из рис. 3, характер зависимости эффекта очистки воды от йода при обработке йодобромных вод отличается от вида кривых, приведенных на рис. 1. Кроме того, эффект очистки воды от йода и брома при обработке йодобромных вод значительно выше, чем для вод, содержащих только один йод или бром.

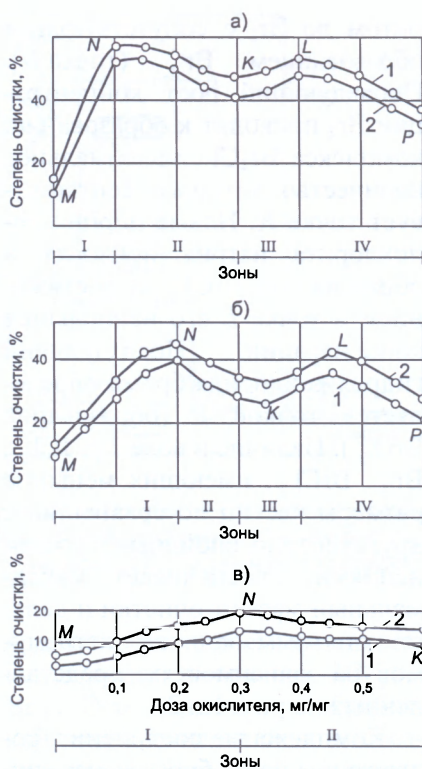


Рис. 2. Степень очистки воды от соединений брома в зависимости от дозы гипохлорита натрия
а – pH 5; б – pH 6; в – pH 7; доза сульфата алюминия, мг/л: 1 – 100; 2 – 1000

Как известно, электролиты, к которым относится и вода, содержащая соединения йода, брома и хлора, образуют раствор, в котором все ионы имеют гидратные оболочки. Поскольку соединения йода и брома отличаются друг от друга природой, а следовательно, и конфигурацией отдельных частиц, размером молекул, ионов, для них и процесс гидратации протекает по-разному. В связи с этим представляет интерес определение геометрии соединений йода и брома и расчет величины их ионных радиусов.

В соответствии с теорией Гиллеспи [4], соединения, содержащие йод и бром, могут образовывать три типа конфигурации ионов: для соединений J_3^- , JCl_2^- , J_2Br^- , J_2Cl^- , JBr_2^- , Br_2Cl^- , $Br_2Cl_2^-$, $JBrCl^-$ форма иона может быть между квадратной пирамидой и тригональной бипирамидой; соединения JCl , JBr , Br_2 , J_2 , $BrCl$ имеют линейную формулу молекул; для соедине-

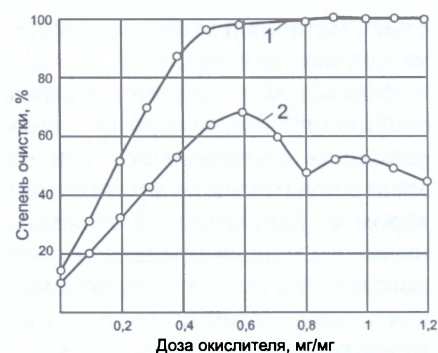
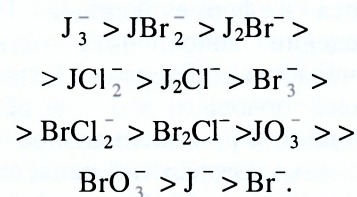


Рис. 3. Степень очистки воды от соединений йода (1) и брома (2) при обработке йодобромных вод в зависимости от дозы гипохлорита натрия

ний JO_3^- , BrO_3^- форма иона – треугольная пирамида.

С учетом размеров облаков, связывающих электронные пары, и геометрии молекул и ионов были рассчитаны ионные радиусы соединений йода и брома. Известно, что при сорбционных процессах преимущества будут иметь те ионы, гидратированный радиус которых меньше. Таким образом, с учетом убывающей величины гидратированного иона лиотропный ряд для соединений йода и брома может быть представлен в виде:



В представленном ряду сорбционная способность по отношению к гидроксиду алюминия уменьшается слева направо.

Анализируя строение мицеллы золя гидроксида алюминия в йодобромных растворах, можно заключить, что коллоидная частица гидроксида алюминия имеет положительный заряд, а ионы, образующие двойной электрический слой, будут определяться дозой окислителя. Очистка воды в данном случае будет возможна, если соединения йода и брома, находящиеся в ионной форме, будут входить в состав частицы золя гидроксида, а при отделении ее от раствора, например фильтрованием через зерни-

стые материалы, будут извлекаться вместе с ней.

Механизм взаимодействия соединений йода и брома с гидроксидом алюминия основан на электростатическом притяжении ядром и положительно заряженными потенциалопределяющими ионами коллоида гидроксида алюминия отрицательно заряженных ионов йодобромных соединений. Эффективность же удаления ионов йода и брома определяется, в первую очередь, размерами этих ионов, т. е. преимущество имеют те ионы, гидратированный радиус которых меньше.

Для объяснения экстремумов на кривых зависимости степени очистки воды от дозы окисления отметим характерные точки, отвечающие максимумам и минимумам на приведенных зависимостях (рис. 1 и 2). На рис. 1 показано, что по мере увеличения дозы гипохлорита натрия происходит смена одних соединений другими, имеющими различные радиусы гидратных оболочек. При нулевой дозе окислителя (точка *M*) йод в растворе находится в форме йодидов. При введении гипохлорита натрия начинается образование J_2 , взаимодействующего с J^- и образующего J_3^- , максимальное количество которых наблюдается в момент, когда $J_2 : J^- = 1 : 1$ (точка *N*). При дальнейшем добавлении гипохлорита натрия доля J_2 растет, и молекулярный йод в хлоридных растворах образует комплекс J_2Cl^- , максимальная концентрация которого соответствует точке *K*. Последующее добавление $NaClO$ приводит к образованию JCl , в хлорных растворах дающего комплексный ион JCl_2^- , максимальное количество которого соответствует точке *L*. В интервале pH 5–7 возможен гидролиз хлористого йода с образованием JO_3^- (точка *P*).

Аналогичный механизм превращений протекает и в бромсодержащих водных растворах, т. е. последовательно Br^- (точка *M*, рис. 2) окисляется гипохло-

ритом до Br_2 с сопутствующим образованием Br_3^- (точка *N*). Последующий рост концентрации Br_2 приводит к образованию комплекса Br_2Cl^- , максимальное количество которого соответствует точке *K*. Новые порции гипохлорита натрия приводят к образованию $BrCl_2^-$ с достижением в точке *L* его наибольшей концентрации. Последующий гидролиз хлорида брома определяется точкой *P* (образование BrO_3^-). Наличие в воде J_3^- , JCl_2^- , Br_3^- , $BrCl_2^-$, имеющих меньшие размеры частиц по сравнению с другими галогеноидными соединениями, обеспечивает максимальный эффект очистки и делает понятным наличие экстремумов на зависимостях, представленных на рис. 1 и 2.

Комплексные соединения, содержащие йод и бром, менее гидратированы, чем соединения, содержащие только йод или только бром, что и объясняет более высокий эффект очистки йодобромных вод по сравнению с растворами, содержащими только один йод или бром. Поскольку не все ионные соединения могут войти в адсорбционный слой мицеллы, в воде остаются некоторые концентрации форм йода и брома. Поэтому для обеспе-

чения максимальной степени очистки воды необходимо вести ее многоступенчатую обработку.

При проведении исследований были получены изотермы сорбции соединений йода и брома гидроксидом алюминия при обработке йодных, бромных и йодобромных вод. Анализ изотерм показал, что механизм сорбции практически одинаков для любых соединений йода и брома и не зависит от того, из какой воды ведется процесс извлечения соединений: йодной, бромной или йодобромной. Полученные изотермы могут быть описаны уравнением Фрейндлиха:

$$n = a C_{\text{равн}}^{1/k},$$

где n – емкость сорбента, мг/г; $C_{\text{равн}}$ – равновесная концентрация, мг/л; a и $1/k$ – адсорбционные константы.

Линеаризация изотерм сорбции в логарифмических координатах позволила рассчитать адсорбционные константы гидроксида алюминия и количественно охарактеризовать весь процесс сорбции соединений йода и брома. Адсорбционные константы гидроксида алюминия при обработке йодных, бромных и йодобромных вод приведены в табл. 2.

Таблица 2

Кон- станта	Значение константы при обработке воды с дозой окислителя, мг/мг					
	0	0,2	0,4	0	0,2	0,4
a	йодная вода			бромная вода		
	1,05	1,15	2,34	1,15	2,34	5,1
$1/k$	0,84	0,84	0,84	0,58	0,58	0,58
a	йодобромная вода					
	по йоду			по брому		
	3,5	11,5	13,2	7,94	13,18	17,78
$1/k$	0,84	0,84	0,84	0,58	0,58	0,58

Таблица 3

Сорбционная емкость гидроксида алюминия, мг/г, при обработке воды с дозой окислителя, мг/мг					
0	0,2	0,4	0	0,2	0,4
йодная вода			бромная вода		
18,28	20,02	40,74	8,27	16,82	36,67
йодобромная вода					
по йоду			по брому		
60,93	200,2	229,9	57,1	94,97	127,84

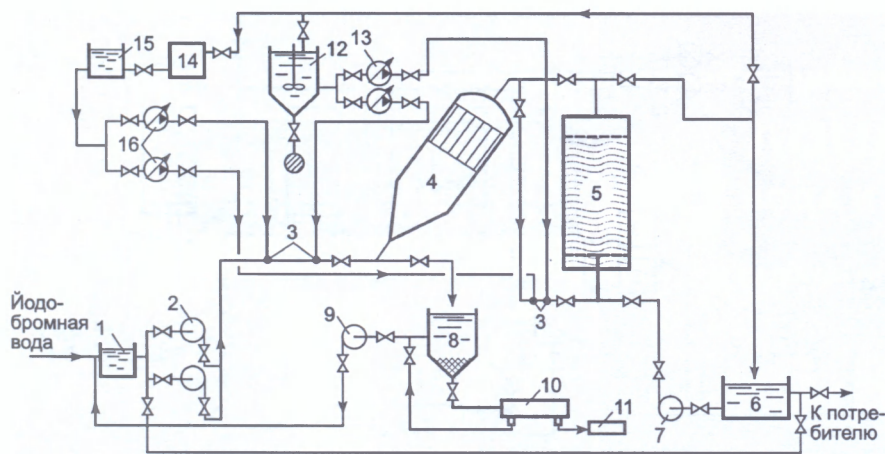


Рис. 4. Установка «Галоген-1»

1 – бак-накопитель; 2, 7, 9 – насосы; 3 – шайбовые смесители; 4 – трубчатый отстойник; 5 – фильтр; 6 – резервуар очищенной воды; 8 – бак-отстойник; 10 – центрифуга; 11 – кек; 12 – мешалка; 13, 16 – насосы-дозаторы; 14 – установка «Хлорэфс»; 15 – расходный бак

В табл. 3 приведены сорбционные емкости гидроксида алюминия по отношению к соединениям йода и брома, извлекаемых из различных категорий вод. Данные представлены для концентраций йода и брома 30 мг/л.

Анализ данных табл. 2 и 3 свидетельствует о том, что сорбционная емкость гидроксида алюминия зависит от того, в каком виде находятся в воде соединения йода и брома, что хорошо согласуется с предлагаемым лиотропным рядом и подтверждает высказанный авторами механизм взаимодействия соединений йода и брома с продуктами гидролиза сульфата алюминия.

Результаты теоретических, лабораторных и производственных исследований явились основой для разработки технологии очистки воды с использованием окислительно-сорбционного метода. В качестве сорбента применяется гидроксид алюминия. Сорбцию на гидроксиде можно осуществлять либо в свободном объеме – в слое взвешенного осадка, либо в слое зернистой загрузки фильтра. Процесс очистки воды следует вести при pH 4,5–5, что позволяет получить положительно заряженные гидрокомплексы при гидролизе сульфата алюминия. Для обеспечения максимального удаления из воды йода и брома необ-

ходимо иметь в растворе галогены в виде комплексов JCl_2^- и Br_3^- . Это достигается обработкой воды окислителем в соответствующих дозах, т. е. при определенном значении окислительно-восстановительного потенциала системы (Eh). Было установлено, что очистку йодной и йодобромной воды следует вести при Eh 650–700 мВ, бромной – 960–980 мВ. Доза сульфата алюминия принимается равной 10 г на 1 г удаляемых соединений йода и брома, оптимальное время контакта воды с сорбентом 10–15 мин при pH 4,5–5.

Возможен ряд технических решений в разработке технологий очистки воды от йода и брома. Они определяются составом

исходной воды (концентрация йодидов, бромидов, хлоридов, минерализация), требованиями к качеству очищаемой воды, расходом, условиями водопользования и водоотведения и могут быть реализованы как при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей, так и для извлечения йода и брома из стоков промышленных предприятий и бальнеолечебниц.

Окислительно-сорбционный метод позволяет достичь 100-процентной степени удаления йода при одноступенчатой обработке воды, при трехступенчатой обработке концентрация брома снижается на 93–98 %. В процессе очистки воды образуется осадок, содержащий извлеченные соединения йода и брома, который может быть утилизирован на предприятиях йодобромной промышленности.

Технология очистки воды от йода и брома с использованием гидроксида алюминия и гипохлорита натрия может быть реализована в двух вариантах. По первому варианту удаление йода и брома производится на фильтрах, работающих в режиме контактного осветления, – на установке «Галоген-1» (рис. 54); по второму – на установке «Галоген-2», сконструированной на базе установки «Струя» (рис. 8).

Установку «Галоген-2» рекомендуется применять при сум-

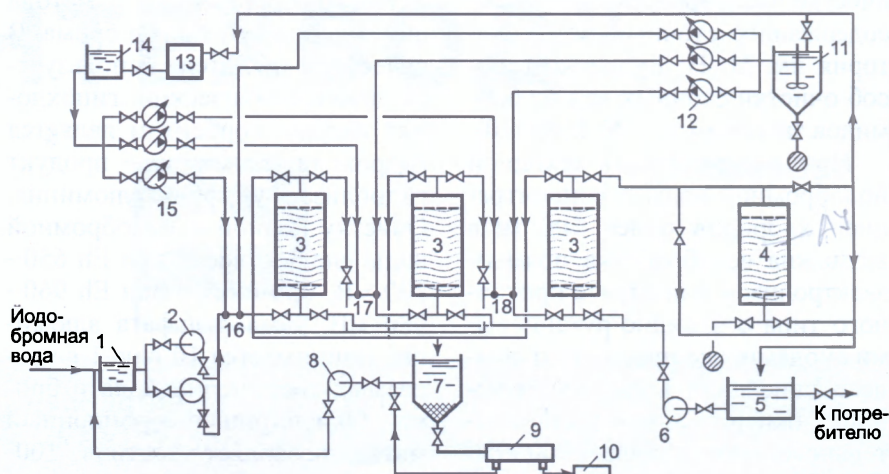


Рис. 5. Установка «Галоген-2»

1 – бак-накопитель; 2, 6, 8 – насосы; 3, 4 – фильтры; 5 – резервуар очищенной воды; 7 – бак-отстойник; 9 – центрифуга; 10 – кек; 11 – мешалка; 12, 15 – насосы-дозаторы; 13 – установка «Хлорэфс»; 14 – расходный бак; 16, 17, 18 – шайбовые смесители

марной концентрации йода и брома более 50 мг/л. Скорость фильтрования 4,5–5 м/ч. Перед фильтрованием в шайбовые смесители вводится гипохлорит натрия дозой, обеспечивающей окислительно-восстановительный потенциал в интервале 650–700 мВ, и сульфат алюминия из расчета 10 г на 1 г удаляемого йода. На первом фильтре происходит удаление йода и частично брома. Далее обработанная вода поступает на вторую и третью ступени очистки, где перед каждым сорбционным фильтром также осуществляется ввод гипохлорита натрия и сульфата алюминия. Доза гипохлорита натрия, необходимая для удаления брома, должна обеспечивать E_h системы в пределах 960–980 мВ, доза сернокислого алюминия составляет 10 г на 1 г удаляемого брома. Сорбционный фильтр 4 (рис. 5), загруженный активным углем, предназначен для удаления остаточного хлора при сбросе в поверхностный водоем (способ очистки воды от йодидов защищен а. с. № 1810308). 1

Установка «Галоген-2» отличается от установки «Струя» двойным вводом гипохлорита натрия и сульфата алюминия: перед тонкослойным отстойником и фильтром, который работает в режиме контактного осветления. Установка прошла апробацию на курорте г. Саки при очистке послепроцедурных бромсодержащих сточных вод санатория им. Н. Н. Бурденко (способ очистки сточных вод от бромидов защищен а. с. № 1682320).

При минерализации исходной йодобромной воды с концентрацией хлоридов более 500 мг/л возможна ее обработка прямым электролизом в аппарате проточного типа с окисидно-рутениевыми анодами, где происходит процесс окисления воды до значительного окислительно-восстановительного потенциала 960–980 мВ. Окисленная вода подается на фильтры, перед которыми вводят раствор сульфата алюминия, – установка «Галоген-3»

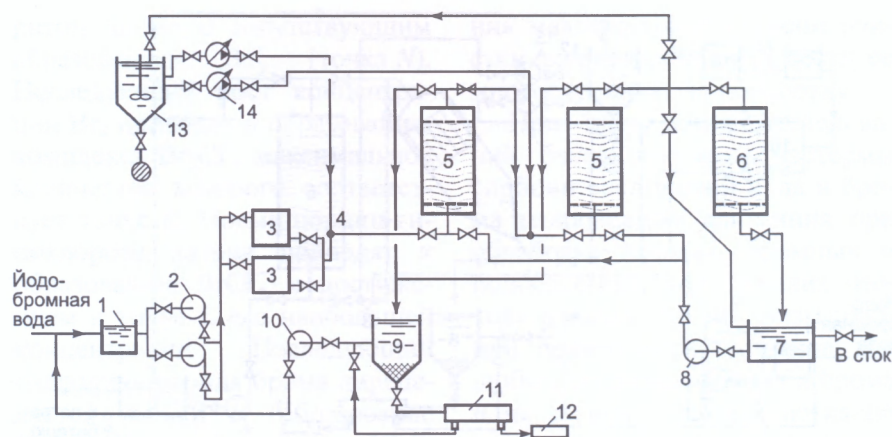


Рис. 6. Установка «Галоген-3»

1 – бак-накопитель; 2, 8, 10 – насосы; 3 – электролизеры; 4 – шайбовые смесители; 5, 6 – фильтры; 7 – резервуар очищенной воды; 9 – бак-отстойник; 11 – центрифуга; 12 – кек; 13 – мешалка; 14 – насосы-дозаторы

(рис. 6). Промывную воду отстаивают в баке-отстойнике 9, осветленную воду возвращают в голову очистных сооружений, а осадок обезвреживают центрифугированием (способ очистки сточных вод от галогенов защищен а. с. № 1308565).

Технологии очистки послепроцедурных йодобромных вод внедрены в санатории «Кавказ» (г. Сочи), бромных вод – в санатории им. Н. Н. Бурденко (г. Саки). На Троицком йодном заводе (ст. Троицкая Краснодарского края) принята к внедрению технология утилизации йода из производственных сточных вод.

Выводы

Экспериментально и теоретически обосновано применение окислительно-сорбционного метода очистки воды от йода и брома. В качестве окислителя используется электролитический гипохлорит натрия, сорбентом является гидроксид алюминия – продукт гидролиза сульфата алюминия. Очистку йодной и йодобромной воды следует вести при E_h 650–700 мВ, бромной – при E_h 960–980 мВ. Доза сульфата алюминия принимается 10 г на 1 г удаляемых соединений йода и брома. Окислительно-сорбционный метод позволяет достичь 100-процентной степени удаления йода при одноступенчатой очистке, при трехступенчатой очистке концентрация брома снижа-

ется на 93–98 %. Осадок, образующийся при водоочистке, содержит извлеченные соединения йода и брома и может быть утилизирован на предприятиях йодобромной промышленности. На базе установленных механизмов химических и физических превращений в йодобромных водах обоснованы технологические процессы и конструктивные решения, технологическая новизна которых подтверждается авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ. Практическая ценность и эффективность очистки природных и сточных йодобромных вод окислительно-сорбционным методом с применением гидроксида алюминия подтверждается опытом эксплуатации водоочистных установок, внедренных на ряде курортов страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ксензенко В. Н., Стасиневич Д. С. Технология йода и брома и их соединений. – М.: Химия, 1979.
2. Ксензенко В. И., Стасиневич Д. С., Ходжамамов А. Применение ионитов для извлечения брома и йода из природных рассолов // Ионный обмен. – М.: Наука, 1981.
3. Извлечение йода, брома и микрокомпонентов жидкими и твердыми сорбентами в йодобромных производствах: Тез. докл. Всесоюз. совещ. (г. Саки, 20–22 окт. 1987 г.). – Черкассы, 1987.
4. Гиллеспи Р. Геометрия молекул: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975.