

ISSN 0204-3556

# ХІМІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ВОДИ

JOURNAL OF WATER CHEMISTRY AND TECHNOLOGY



**Головний редактор**

В.В. ГОНЧАРУК (Київ, Україна)

**Заступники головного редактора**

Н.А. МЕШКОВА-КЛИМЕНКО (Київ, Україна)

М.В. МІЛЮКІН (Київ, Україна)

**Члени редакційної колегії**

І.М. АСТРЕЛІН (Київ, Україна)

С.О. АФАНАСЬЄВ (Київ, Україна)

М.Д. ГОМЕЛЯ (Київ, Україна)

Ю.С. ДЗЯЗЬКО (Київ, Україна)

В.М. ЗАЙЦЕВ (Ріо-де-Жанейро, Бразилія)

О.В. ЗУЙ (Київ, Україна)

А.І. ІВАНЕЦЬ (Мінськ, Білорусь)

М.Т. КАРТЕЛЬ (Київ, Україна)

Ж.О. КОРМОШ (Луцьк, Україна)

В.С. КУБЛАНОВСЬКИЙ (Київ, Україна)

Д.Д. КУЧЕРУК (Київ, Україна)

О.О. ЛОБОДА (Грац, Австрія)

Т.Г. ЛУПАШКУ (Кишинів, Молдова)

В.І. МАКСІН (Київ, Україна)

В. МІШРА (Руркі, Індія)

Н.О. МІЩУК (Київ, Україна)

Р. МУНТЕР (Таллінн, Естонія)

В.М. ОГЕНКО (Київ, Україна)

Г.М. ПШИНКО (Київ, Україна)

М.М. РУЛЬОВ (Київ, Україна)

Л.А. САБЛІЙ (Київ, Україна)

Ю.М. САМЧЕНКО (Київ, Україна)

С.М. СУХАРЕВ (Ужгород, Україна)

**Відповідальний секретар**

О.А. СМОГОЛЬ

Матеріали друкуються мовою оригіналу

*Мова видання: українська, російська, англійська*

Реєстраційне свідоцтво

серія КВ № 13594-2558 ПР від 14.12.2007

Англомовна версія журналу «Journal of Water Chemistry and Technology» (ISSN: 1063-455X) входить до Web of Science (індекс цитування ESCI)

Журнал внесено до переліку наукових фахових видань України, які рекомендовані для публікації основних результатів дисертаційних робіт (екологічна безпека, технологія водоочищення)

**Адреса редакції**

Інститут колоїдної хімії та хімії води

ім. А.В. Думанського НАН України

бульв. Акад. Вернадського, 42, Київ, 03142, Україна

тел. (+38 044) 424 31 26, факс (+38 044) 423 82 24

Інститут: honch@iccwc.kiev.ua, <http://iccwc.org.ua/>Редакція: jwct@ukr.net, <http://jwct.org.ua/>**Editor-in-chief**

V.V. GONCHARUK (Kyiv, Ukraine)

**Deputy editors-in-chief**

N.A. MESHKOVA-KLYMENKO (Kyiv, Ukraine)

M.V. MILYUKIN (Kyiv, Ukraine)

**Editorial board members**

I.M. ASTRELIN (Kyiv, Ukraine)

S.O. AFANASIEV (Kyiv, Ukraine)

M.D. GOMELEYA (Kyiv, Ukraine)

Yu.S. DZYAZKO (Kyiv, Ukraine)

V.M. ZAITSEV (Rio de Janeiro, Brazil)

O.V. ZUY (Kyiv, Ukraine)

A.I. IVANETS (Minsk, Belarus)

M.T. KARTEL (Kyiv, Ukraine)

J.O. KORMOSH (Lytsk, Ukraine)

V.S. KUBLANOVSKII (Kyiv, Ukraine)

D.D. KUCHERUK (Kyiv, Ukraine)

O.O. LOBODA (Graz, Austria)

T.G. LUPASCU (Chisinau, Moldova)

V.I. MAKSIN (Kyiv, Ukraine)

V. MISHRA (Roorkee, Uttarakhnad, India)

N.O. MISHCHUK (Kyiv, Ukraine)

R.R. MUNTER (Tallinn, Estonia)

V.M. OGENKO (Kyiv, Ukraine)

G.M. PSHINKO (Kyiv, Ukraine)

M.M. RULYOV (Kyiv, Ukraine)

L.A. SABLIIY (Kyiv, Ukraine)

Yu.M. SAMCHENKO (Kyiv, Ukraine)

S.M. SUKHAREV (Uzhhorod, Ukraine)

**Executive secretary**

O.A. SMOGOL

Materials are printed in the original language

*Language publication: Ukrainian, Russian, English*

Certificate of State Registration of Printed Mass Media series KB 13594-2558 ПР of 14.12.2007

English version of the «Journal of Water Chemistry and Technology» (ISSN: 1063-455X) is included into the scientometric database of the Web of Science (Emerging Sources Citation Index)

The Journal is included in the list of academic periodicals of Ukraine. Qualified for publishing the major results of dissertations (ecological safety, technology of water purification)

**Editorial office**

A.V. Dumansky Institute of Colloid and Water Chemistry

of the National Academy of Sciences of Ukraine

42, Vernadsky blvd., Kyiv, 03142, Ukraine

tel. (+38 044) 424 31 26, fax (+38 044) 423 82 24

Institute: honch@iccwc.kiev.ua, <http://iccwc.org.ua/>Editorial: jwct@ukr.net, <http://jwct.org.ua/>

Оригінал-макет виготовлено ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України

Підписано до друку 21.10.2019. Формат 84×108/16. Ум. друк. арк. 10,08. Обл.-вид. арк. 10,54. Тираж 145 прим. Зам. № 5760.

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України, вул. Терещенківська, 4, Київ, 01004, Україна

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001



# ХІМІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ВОДИ

Том 41 • 2019

№ 5 (271)

вересень—жовтень

JOURNAL OF WATER CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ НА РІК ЗАСНОВАНО У ВЕРЕСНІ 1979 р. КИЇВ



## ЗМІСТ

### От главного редактора

ГОНЧАРУК В.В. Земля — наш общий дом . . . **477**

### Фізична хімія процесів обробки води

AKPEROV E., SHIRINOVA E., AKPEROV O.,  
GAFAROVA S. Sodium salt of the maleic acid-  
decene-1-styrene terpolymer as a sorbent for  
removal of copper ions from water solution **479**

MANISH RANJAN, PRABHAT KUMAR  
SINGH, ARUN LAL SRIVASTAV, VIKRAM  
KUMAR. Adsorptive properties of cation added  
hydrous bismuth oxide on nitrate sorption . . . . . **487**

KUMAR R., MALODIA P., KACHWAHA M.,  
VERMA S. Adsorptive and kinetic studies of resin  
for removal of Cs<sup>+</sup> and Sr<sup>2+</sup> from aqueous solution **499**

## CONTENTS

### From the Editor-in-Chief

Goncharuk V.V. Earth is our joint home . . . . . **477**

### Physical Chemistry of Water Treatment Processes

AKPEROV E., SHIRINOVA E., AKPEROV O.,  
GAFAROVA S. Sodium salt of the maleic acid-  
decene-1-styrene terpolymer as a sorbent for  
removal of copper ions from water solution **479**

MANISH RANJAN, PRABHAT KUMAR  
SINGH, ARUN LAL SRIVASTAV, VIKRAM  
KUMAR. Adsorptive properties of cation added  
hydrous bismuth oxide on nitrate sorption . . . . . **487**

KUMAR R., MALODIA P., KACHWAHA M.,  
VERMA S. Adsorptive and kinetic studies of resin  
for removal of Cs<sup>+</sup> and Sr<sup>2+</sup> from aqueous solution **499**

KESKIN C.S. Rapid removal of Cd <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> and Cr <sup>3+</sup> by polymer/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> composite.....	508	KESKIN C.S. Rapid removal of Cd <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> and Cr <sup>3+</sup> by polymer/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> composite.....	508
--	-----	--	-----

### Аналiтична хiмiя

МИЛЮКИН М.В., ГОНЧАРУК В.В. Химический мониторинг органических экотоксикантов в водных системах .....	517
---	-----

ГРИБОВА Н.Ю., ХИЖАН Е.И., МАКСИН В.И., КОВШУН Л.А., ТОНХА О.Л. Определение содержания ксенобиотика имидаклоприда в поверхностных водах. ....	529
--	-----

### Технологiя водопiдготовки та демiнералiзацiя вод

РАНСКИЙ А.П., ХУДОЯРОВА О.С., ГОРДИЕНКО О.А., ТИТОВ Т.С., КРИКЛИВЫЙ Р.Д. Регенерация смеси сорбентов после очистки оборотных вод производства безалкогольных напитков .....	537
---	-----

СВИТЦОВ А.А., ГОЛОВАНЕВА Н.В., КОПЫЛОВА Л.Е. Экспресс-методика оценки эффективности антискалантов, применяемых в баромембранных системах .....	545
--	-----

### Бiологiчні методи очищення води

НАНИЕВА А.В., ПЕЛИШЕНКО А.В., КОВАЛЕНКО В.Ф., ГОНЧАРУК В.В. Использование <i>Hydra attenuata</i> (Pallas) для определения острой летальной и хронической токсичности питьевых, природных вод и водных растворов химических веществ .....	555
--	-----

### Природнi води

MALAKOOTIAN MASHA, MIRZAIENIA FARIBA, MALAKOOTIAN MOHAMMAD. Removal efficiency of Cu <sup>2+</sup> and Zn <sup>2+</sup> from industrial wastewater by using microbial desalination cell .....	563
---	-----

### Analytical Chemistry

MILYUKIN M.V., GONCHARUK V.V. Chemical monitoring of organic ecotoxicants in water systems .....	517
--	-----

HRYBOVA N.Y., KHYZHAN O.I., MAKSIN V.I., KOVSHUN L.O., TONKHA O.L. Determination of the xenobiotic imidacloprid content in surface water .....	529
--	-----

### Water Treatment and Demineralization Technology

RANSKIY A.P., KHUDOYAROVA O.S., GORDIENKO O.A., TITOV T.S., KRYKLYVYI R.D. The regeneration of the mixture of sorbents after the purification of recycled water in production of soft drinks. ....	537
--	-----

SVITTSOV A.A., GOLOVANEVA N.V., KOPYLOVA L.E. Express methodology for assessing the effectiveness of antiscalants used in baromembrane system .....	545
---	-----

### Biological Methods of Water Purification

NANIEVA A.V., PELISHENKO A.V., KOVALENKO V.F., GONCHARUK V.V. Use of <i>Hydra attenuata</i> (Pallas) to determine acute lethal and chronic toxicity of drinking, natural waters and aqueous solutions of chemicals .....	555
--	-----

### Natural Water

MALAKOOTIAN MASHA, MIRZAIENIA FARIBA, MALAKOOTIAN MOHAMMAD. Removal efficiency of Cu <sup>2+</sup> and Zn <sup>2+</sup> from industrial wastewater by using microbial desalination cell .....	563
---	-----



УДК 663.6 + 628.16.081.3

**А.П. Ранский<sup>1\*</sup>, О.С. Худоярова<sup>2</sup>,  
О.А. Гордиенко<sup>1</sup>, Т.С. Титов<sup>1</sup>, Р.Д. Крикливый<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет, Украина;

<sup>2</sup>Винницкий государственный педагогический университет  
им. Михаила Коцюбинского, Украина

## **РЕГЕНЕРАЦИЯ СМЕСИ СОРБЕНТОВ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ ОБОРОТНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ**

*Современные технологии пищевой промышленности должны предусматривать дополнительную очистку технической воды и увеличение ее части в оборотных промышленных циклах. Несмотря на большое количество современных методов очистки воды, таких, как нано-, ультра-, микрофльтрация, коагуляция, реагентная обработка и фотокатализ, одним из наиболее эффективных методов очистки промышленной воды от органических примесей остается адсорбция активным углем. Однако значительные количества активного угля и других сорбентов, которые применяют в пищевой промышленности, повторно не используются, что связано со сложностью их регенерации и существенными материальными затратами. Таким образом, актуальным является исследование регенерации смеси сорбентов для их повторного эффективно-го использования в оборотных циклах водоснабжения. В данной работе исследованы регенерация отработанной смеси сорбентов, состоящей из активного угля и кизельгура, и возможное их повторное использование для очистки технической оборотной воды при производстве безалкогольных напитков. Регенерация смеси сорбентов обработкой только раствором NaOH или только раствором HCl позволяет увеличить их сорбционную емкость по сравнению с нерегенерированной смесью соответственно на 29 – 42 либо 24 – 29%. Наиболее эффективный результат был достигнут при использовании 1,25%-го раствора NaOH и при совместной обработке смеси сорбентов растворами NaOH и HCl. При этом сорбционная емкость регенерированной смеси сорбентов увеличилась на 42% и достигла первоначального значения емкости до технологического использования сорбента. Определена возможность почти 100%-й регенерации сорбционной емкости отработанной смеси путем последовательной кислотно-основной обработки. Предложенная схема трехступенчатой адсорбционной установки по очистке технической воды от органических примесей может быть использована в замкнутых оборотных циклах производства безалкогольных напитков, поскольку она способствует трехкратной регенерации смеси сорбентов и уменьшению содержания сахара как основного загрязнителя технической воды в 2,9 раза. Очищенная вода может быть использована в оборотном водоснабжении технологического цикла или, при необходимости, дополнительно очищена путем ее подачи в смеситель-коллектор. Такой подход обеспечивает сокращение общего водопотребления производством безалкогольных напитков.*

*Ключевые слова:* адсорбция, органические примеси, регенерация, смесь сорбентов, техническая вода.

\* Для листування: ranskiy@gmail.com



## ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии пищевой промышленности должны отвечать комплексному решению вопросов энерго-, ресурс- и экологосбережения [1]. Согласно этому производство сахара должно предусматривать следующие взаимосвязанные технологические процессы: дополнительная очистка технической воды и увеличение ее части в оборотных промышленных циклах [2]; дополнительное использование регенерированных фильтрующих веществ (активного угля (АУ), кизельгура (К), других искусственных или естественных сорбентов) [3]; разработка модульных технологий при использовании многоступенчатых адсорбционных установок с последовательным (стадийным) введением сорбента [4].

Такой подход позволяет повторно использовать регенерированные сорбенты и технологическую воду, уменьшать материальные и энергетические затраты и, как следствие, снижать экологическую нагрузку на окружающую среду. Эти принципиальные положения касаются и стадии очистки водного сахарного сиропа производства безалкогольных напитков. Несмотря на большое количество современных методов очистки воды от органических примесей, таких, как нано-, ультра-, микрофильтрация, коагуляция, реагентная обработка и фотокатализ [5], адсорбция активным углем остается одним из наиболее эффективных методов очистки промышленной воды от органических примесей. Однако значительные количества АУ и других сорбентов, которые применяют в пищевой промышленности, повторно не используются, что связано со сложностью их регенерации и существенными материальными затратами. Поэтому целью данной работы стало исследование регенерации смеси сорбентов (АУ и К) и повторное их использование для очистки технической оборотной воды при производстве безалкогольных напитков.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

При проведении опытов использовали отработанную смесь сорбентов производственной фирмы (ПФ) "Панда" (г. Винница), которая состояла из активного угля (Деколар А) и кизельгура (Бекогур 200 и Бекогур 3500) в массовом соотношении 4 : 6, постадийно нанесенных на опорный картон INDURA фильтр-пресса.

Органические примеси удаляли из смеси сорбентов в процессе их регенерации на лабораторной установке, которая включала магнитную мешалку VELP AREC (VELP Scientifica, Италия), плоскодонную колбу и обратный холодильник Либиха. К 100 г отработанной смеси сорбентов прибавляли 400 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и перемешивали на магнитной мешалке при нагревании до 50 – 60 °С (200 об/мин) в течение 45 – 60 мин. Далее реакционную массу охлаждали, фильтровали и повторяли данную операцию еще один раз. При этом общее количество промывочных вод после первой стадии регенерации составило 600 см<sup>3</sup>. Полученный объем водного фильтрата очищали регенерированными ранее сорбентами (АУ и К). После первой стадии регенерации смесь этих сорбентов высушивали до постоянной массы при 105 °С, добавляли к ней 100 см<sup>3</sup> 1%-го раствора NaOH и кипятили в течение 45 – 60 мин. Далее реакционную массу охлаждали, фильтровали, а сорбенты подвергали последующей обработке 100 см<sup>3</sup> 4%-го раствора HCl в таких же условиях. Водные фильтраты второй стадии регенерации смеси сорбентов в количестве 200 см<sup>3</sup> объединяли и нейтрализовали до pH 7.

Очистку водного фильтрата (Ф-1) после первой стадии регенерации смеси сорбентов проводили на той же лабораторной установке. К 10 г смеси прибавляли 200 см<sup>3</sup> водного фильтрата и перемешивали на магнитной мешалке при 200 об/мин в течение 60 мин. Сорбент отделяли фильтрованием, а полу-



ченний фільтрат обробляли таким же образом еще дважды.

Определение сорбционной емкости смеси сорбентов по йоду проводили согласно методике [6]. Полученный результат являлся средним арифметическим значением двух параллельных определений, абсолютная погрешность которых не превышала 3%.

Остаточное количество сахара (глюкозы) в водном фильтрате после регенерации смеси сорбентов определяли на рефрактометре ИРФ 454 62 М по величине показателя преломления исследованных растворов [7].

Рентгенофазовый анализ сорбентов (АУ и К) проводили на дифрактометре Дрон-2 в монохроматизированном  $\text{Co-K}\alpha$ -излучении ( $\lambda = 1,79 \cdot 10^{-1}$  нм). Соединения (фазы) идентифицировали путем сравнения межплоскостных расстояний ( $d$ , нм) и относительных интенсивностей ( $I_{\text{отн}} = I/I_0$ ) экспериментальной кривой с данными электронной картотеки PCPDFWIN [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность регенерации отработанных сорбентов (АУ и К) определяли по изменению их сорбционной емкости. Полученные данные указывают, что регенерация смеси сорбентов обработкой только раствором NaOH позволяет увеличить их сорбционную емкость по сравнению с нерегенерированной смесью сорбентов на 29 – 42%. Регенерация этих сорбентов обработкой только раствором HCl менее эффективна и сорбционная емкость увеличивается лишь на 23,8 – 29,0%. Наиболее эффективный результат был достигнут при использовании 1,25%-го раствора щелочи и совместной обработке смеси сорбентов растворами NaOH и HCl. При этом сорбционная емкость смеси сорбентов увеличилась на 42% и достигла значения, которое они имели до их технологического использования при очистке сахарного сиропа (рис. 1).

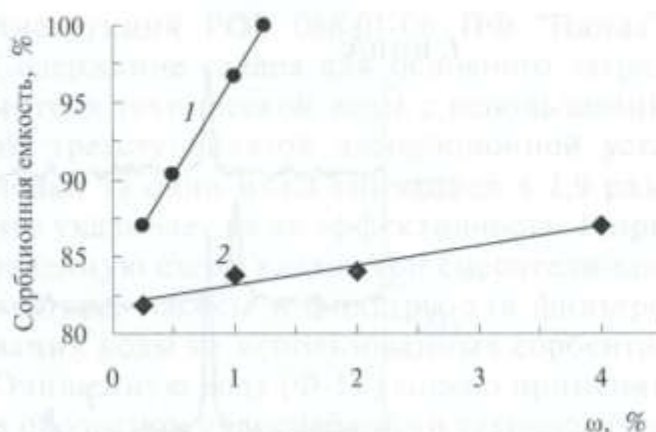


Рис. 1. Залежність сорбційної ємності регенерованої суміші сорбентів (АУ і К) від концентрації використаних розчинів: 1 – NaOH; 2 – HCl

Безумовно, таке суттєве різниця ефективності регенерации суміші сорбентів об'яснюється наявністю сорбованих речовин різної хімічної природи: золи, меланоїдинів і продуктів їх хімічних перетворень [9]. Общепринятым являється положення, що при регенерации АУ зола видаляється обробкою 1 – 4%-м розчином хлоридної кислоти, однак отримані нами дані (см. рис. 1) вказують, що втрата сорбційної активності суміші досліджуваних сорбентів залежить не від наявності золи, а визначається сорбованими меланоїдинами і продуктами їх перетворень. Підтвердженням цього факта служать дані, отримані авторами [10], свідчать про те, що меланоїдини практично не піддаються гідролізу при дії навіть сильних мінеральних кислот. Між тим встановлено, що обробка нерегенерованої суміші сорбентів розчином NaOH призводить до повного відновлення їх сорбційної ємності (см. рис. 1). Очевидно, що органічні приміси і барвники, які сорбовані на поверхні сорбентів, при хімічному взаємодії з NaOH утворюють розчинимі в воді солі, які активно десорбуються з твердої поверхні



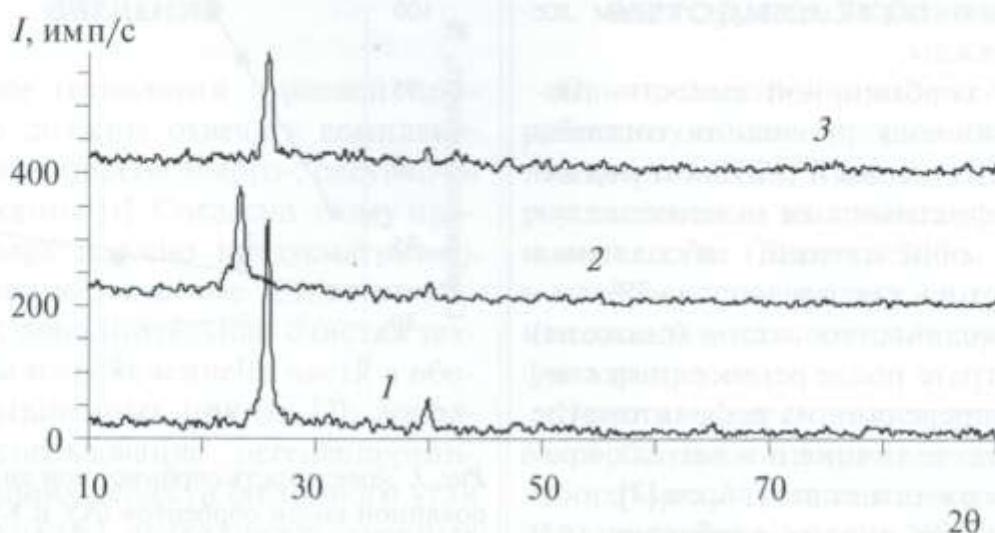


Рис. 2. Дифрактограми суміші сорбентів (АУ і К): 1 – вихідний зразок; 2 – зразок, промитий водою; 3 – регенерований зразок. Дифрактограми 2, 3 зміщені по осі у на 200 імп/с

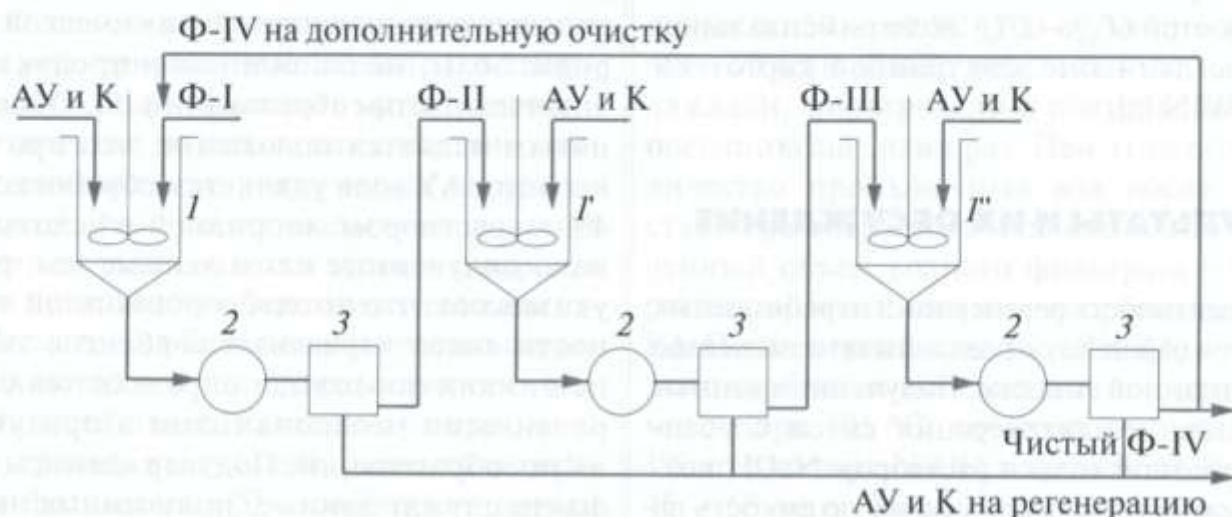


Рис. 3. Схема трьохступенчатої адсорбційної установки з послідовним введенням фільтрата: 1, 1', 1'' – змішувачі-колектори; 2 – насос; 3 – фільтр [4]

Характеристика ступенчатої адсорбційної очистки первичного фільтрата Ф-І

Исследованный раствор	Раствор, который подлежал адсорбции, отобранный после	Показатель преломления	Содержание сахара, %
Ф-І	Промывания водой отработанной смеси (АУ и К)	1,3350	0,060
Ф-ІІ	Смесителя-коллектора 1	1,3347	0,050
Ф-ІІІ	Смесителя-коллектора 1'	1,3342	0,038
Ф-ІV	Смесителя-коллектора 1''	1,3337	0,021



[11], повышая при этом ее сорбционную емкость.

При исследовании изменения фазового состава поверхности смеси сорбентов был использован метод рентгенофазового анализа, который эффективен и при изучении других подобных адсорбционных систем [12]. Так, данные рентгенофазового анализа (рис. 2) подтверждают аморфное состояние активного угля и наличие в левой части дифрактограмм кизельгура основного пика кристоболита  $\text{SiO}_2$ , который размещается при  $26^\circ$  и хорошо характеризует исходную (дифрактограмма 1) и регенерированную смеси сорбентов (дифрактограмма 3). Однако на дифрактограмме 2 нерегенерированной смеси (АУ и К) этот пик сдвигается к более низким значениям дифракционных углов – с  $26$  до  $23^\circ$ . Таким образом, положение основного пика кристоболита  $\text{SiO}_2$  в дифрактограммах можно считать надежным маркером, который указывает на эффективность регенерации отработанной смеси сорбентов.

Далее определяли возможность использования регенерированной смеси сорбентов (АУ и К) для очистки загрязненной органическими примесями воды, которая образуется после первой стадии регенерации этих сорбентов. Исследование проводили на лабораторной установке, используя принцип трехступенчатой адсорбционной установки с последовательным применением регенерированного сорбента. Полученные при этом данные относительно остаточного содержания сахара приведены в таблице, а предложенная принципиальная технологическая схема очистки технической воды – на рис. 3. Установлена возможность трехкратной регенерации смеси сорбентов, что соответствует 15 циклам очистки исходного сахарного сиропа (Рабочая

инструкция РОБ 066.01-06 ПФ "Панда"). Содержание сахара как основного загрязнителя технической воды с использованием трехступенчатой адсорбционной установки за один цикл снижается в 2,9 раза, что указывает на ее эффективность. В приведенную схему входят три смесителя-коллектора, насосы и фильтры для фильтрации воды от использованных сорбентов. Очищенную воду (Ф-IV) можно применять в оборотном водоснабжении технологического цикла или, при необходимости, дополнительно очищать путем ее подачи в смеситель-коллектор. Такой подход обеспечивает сокращение общего водопотребления производством безалкогольных напитков.

Проведенные исследования по регенерации смеси сорбентов (АУ и К) и повторного их использования для очистки технической воды производства безалкогольных напитков указывают на возможность комплексного решения экологических и ресурсосберегающих вопросов в рамках одного промышленного производства.

## ВЫВОДЫ

На основании полученных данных определена возможность 100%-й регенерации сорбционной емкости отработанной смеси сорбентов (АУ и К) путем ее последовательной кислотно-основной обработки. Установлена возможность повторного регенерирования смеси указанных сорбентов для очистки технической воды производства безалкогольных напитков с использованием трехступенчатой адсорбционной установки, которая дает возможность почти в три раза уменьшить количество органических загрязняющих веществ.



ЛИТЕРАТУРА

1. Семиноженко В.П., Сталинский Д.В., Касимов А.М. *Промышленные отходы: проблемы и пути решения*. Харьков: Индустрия. 2011.
2. Сорокин А.И. *Оборотное водоснабжение сахарных заводов*. Москва: Агропромиздат. 1989.
3. Олійник С.І., Прибильський В.Л., Куц А.М., Ковальчук В.П., Коваленко О.О. *Активне вугілля у водоготуванні для виготовлення напоїв*. Харчова наука і технологія. 2014. 28, № 3. С. 36–42.
4. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. *Очистка сточных вод в химической промышленности*. Л.: Химия. 1977.
5. Kochkodan V.M., Rolya E.A., Goncharuk V.V. Photocatalytic membrane reactors for water purification from organic pollutants. *J. Water Chem. and Technol.* 2009. 31, N4. P. 227–237.
6. ГОСТ 6217-74. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия (с изменениями № 1, 2, 3, 4). Введ. 01.01.1976.
7. ГОСТ Р 50546-93. Сироп из глюкозы. Определение содержания сухого вещества с использованием показателя преломления. Рефрактометрический метод. Введ. 01.01.1994.
8. JCPDS-PDF database – International Centre for Diffraction Data, 1999. PCPDFWIN. v.2.02.
9. Тарасова И.А. *Совершенствование адсорбционной очистки сахаросодержащих растворов*: Дис.... канд. техн. наук; Москов. гос. ун-т пищ. производств. Москва. 2005. 179 с.
10. Кузин А.М. *Общая биотехнология*. Москва: Высш. шк. 1969. 251 с.
11. Штагнеев В.О., Молодницкая Е.Н. *Очистка густых продуктов сахарного производства*. Сахар. 2013. № 11. С. 4–49.
12. Заматырина В.А. *Метод очистки сточных вод от тяжелых металлов и нефтепродуктов с использованием модифицированного органобентонита*: Дис.... канд. техн. наук; ФГБОУ ВПО "Саратов. гос. техн. ун-т им. Ю.А. Гагарина". Саратов. 2015. 116 с.

Поступила в редакцию 08.01.2019 г.

После доработки 07.05.2019 г.

Принято к публикации 15.05.2019 г.

REFERENCES

1. Seminozhenko V.P., Stalinskii D.V., Kasimov A.M. *Promyshlennyye otkhody: problemy i puti resheniya*. Kharkov: Industriya. 2011.
2. Sorokin A.I. *Oborotnoe vodosnabzhenie sakharnykh zavodov*. Moskva: Agropromizdat. 1989.
3. Oliynyk S.I., Prybil's'kyy V.L., Kuts A.M., Koval'chuk V.P., Kovalenko O.O. *Aktyvne vuhillya u vodohotuvanni dlya vyhotovlennya napoyiv. Kharchova nauka i tekhnolohiya*. 2014. 28, № 3. S. 36–42.
4. Proskuryakov V.A., Shmidt L.I. *Ochistka stochnykh vod v khimicheskoy promyshlennosti*. L.: Khimiya. 1977.
5. Kochkodan V.M., Rolya E.A., Goncharuk V.V. Photocatalytic membrane reactors for water purification from organic pollutants. *J. Water Chem. and Technol.* 2009. 31, N4. P. 227–237.
6. GOST 6217-74. Ugol' aktivnyy drevesnyy droblenny. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami № 1, 2, 3, 4). Vved. 01.01.1976.
7. GOST R 50546-93. Sirop iz glyukozy. Opredelenie soderzhaniya sukhogo veshchestva s ispol'zovaniem pokazatelya prelomleniya. Refraktometricheskyy metod. Vved. 01.01.1994.
8. JCPDS-PDF database – International Centre for Diffraction Data, 1999. PCPDFWIN. v. 2.02.
9. Tarasova I.A. *Sovershenstvovanie adsorbtsionnoy ochistki sakharosoderzhashchikh rastvorov*: Dis.... kand. tekhn. nauk; Moskovskiy gosudarstvennyy universitet pishchevykh proizvodstv. Moskva. 2005. 179 s.
10. Kuzin A.M. *Obshchaya biotekhnologiya*. Moskva: Vysshaya shkola. 1969. 251 s.
11. Shtagneev V.O., Molodnitskaya E.N. *Ochistka gustykh produktov sakharnogo proizvodstva. Sakhar*. 2013. № 11. S. 44–49.
12. Zamatyryna V.A. *Metod ochistki stochnykh vod ot tyazhelykh metallov i nefteproduktov s ispol'zovaniem modifitsirovanogo organobentonita*: Dis.... kand. tekhn. nauk; FGBOU VPO "Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet imeni Gagarina Yu. A.". Saratov. 2015.

Received 08.01.2019

Revised 07.05.2019

Accepted 15.05.2019



*А.П. Ранський<sup>1\*</sup>, О.С. Худоярова<sup>2</sup>,  
О.А. Гордієнко<sup>1</sup>, Т.С. Тітов<sup>1</sup>, Р.Д. Криклевий<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет, Україна;

<sup>2</sup>Вінницький державний педагогічний університет

ім. Михайла Коцюбинського, Україна

\*ranskiy@gmail.com

## РЕГЕНЕРАЦІЯ СУМІШІ СОРБЕНТІВ ПІСЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ ВИРОБНИЦТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ

Сучасні технології харчової промисловості повинні передбачати додаткове очищення технічної води та збільшення її частки в оборотних промислових циклах. Не зважаючи на велику кількість сучасних методів очищення води, таких, як нано-, ультра-, мікрофільтрація, коагулювання, реагентна обробка та фотокаталіз, одним із найефективніших методів очищення промислової води від органічних домішок залишається адсорбція активним вугіллем. Однак значні кількості активного вугілля та інших сорбентів, що застосовуються в харчовій промисловості, повторно не використовуються, що пов'язано із складністю їх регенерації та істотними матеріальними витратами. Таким чином, актуальним є дослідження регенерації сумішевих сорбентів з метою їх повторного ефективного використання в оборотних циклах водопостачання. В цій роботі досліджені регенерація відпрацьованої суміші сорбентів, що складається з активного вугілля та кізельгуру, а також можливе повторне використання регенованих сорбентів для очищення технічної оборотної води при виробництві безалкогольних напоїв. Регенерація суміші сорбентів обробкою лише розчином NaOH або тільки розчином HCl дозволяє збільшити їх сорбційну ємність порівняно з нерегенованою сумішшю, відповідно, на 29 – 42 або 24 – 29%. Найкращого результату було досягнуто при використанні 1,25%-го розчину NaOH та при сумісній обробці суміші сорбентів розчинами NaOH і HCl. При цьому сорбційна ємність регенованої суміші сорбентів збільшилась на 42% та досягла початкового значення ємності до технологічного використання сорбенту. Визначена можливість майже 100% регенерації сорбційної ємності відпрацьованої суміші шляхом послідовної кислотно-основної обробки. Запропонована схема трьохступінчатої адсорбційної установки з очищення технічної води від органічних домішок може бути використана в замкнених оборотних циклах виробництва безалкогольних напоїв, оскільки вона надає можливість трикратної регенерації суміші сорбентів та зменшення вмісту цукру, як основного забруднювача технічної води, в 2,9 рази. Очищена вода може бути використана в оборотному водопостачанні технологічного циклу або, за необхідністю, додатково очищена шляхом її подачі в змішувач-колектор. Такий підхід забезпечує скорочення загального водоспоживання виробництвом безалкогольних напоїв.

*Ключові слова: адсорбція, органічні домішки, регенерація, суміші сорбентів, технічна вода.*

*A.P. Ranskiy<sup>1\*</sup>, O.S. Khudoyarova<sup>2</sup>,  
O.A. Gordienko<sup>1</sup>, T.S. Titov<sup>1</sup>, R.D. Kryklyvyy<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University, Ukraine;

<sup>2</sup>Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, Ukraine

\*ranskiy@gmail.com

## THE REGENERATION OF THE MIXTURE OF SORBENTS AFTER THE PURIFICATION OF RECYCLED WATER IN PRODUCTION OF SOFT DRINKS

Modern technologies of the food industry should provide for additional purification of industrial water and an increase in its part in reverse industrial cycles. Despite the large number of modern water purification methods such as nano-, ultra-, microfiltration, coagulation, reagent treatment, and photocatalysis, activated carbon adsorption remains one of the most effective methods for purifying industrial water from organic impurities. However, significant amounts of activated carbon and other sorbents which are used in the food industry are not reused, due to the complexity of their



regeneration and significant material costs. Thus, it is relevant to study the regeneration of mixed sorbents with the aim of their repeated effective use in reverse water supply cycles. In this work, the regeneration of a spent mixture of sorbents consisting of activated carbon and kieselguhr and the possible reuse of regenerated sorbents for the purification of industrial recycled water in the production of soft drinks has been studied. Regeneration of the sorbent mixture by treatment only with NaOH solution or only with HCl solution allows increasing their sorption capacity in comparison with the unregenerated mixture, respectively, by 29 – 42 or 24 – 29%. The best result was achieved in two cases: when using a 1.25% solution of NaOH and when processing a mixture of sorbents with solutions of NaOH and HCl. At the same time, the sorption capacity of the regenerated mixed sorbent increased by 42% and reached the initial value of the capacity before the technological use of the sorbent. The possibility of almost 100% regeneration of the sorption capacity of the spent mixture by sequential acid-base treatment has been determined. The proposed scheme of a three-stage adsorption plant for purification of industrial water from organic impurities can be used in closed circuits for the production of soft drinks as it provides the possibility of three-fold regeneration of a mixture of sorbents and a decrease in sugar content, as the main pollutant of industrial water, by 2.9 times. The purified water can be used in the reverse water supply of the technological cycle or, if necessary, additionally purified by feeding it to the mixer-collector. This approach reduces the overall water consumption by the production of soft drinks.

*Keywords: adsorption, organic impurities, regeneration, mixed sorbents, industrial water.*