

## Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства

Юрий С. Перегудов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:inorganic_033@mail.ru">inorganic_033@mail.ru</a>
Анна В. Тимкова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:timkova.anna@mail.ru">timkova.anna@mail.ru</a>
Елена М. Горбунова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>
Светлана Е. Плотникова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:burkovasweta@yandex.ru">burkovasweta@yandex.ru</a>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** В гальваническом производстве используются большие объемы воды, которая на стадиях технологического процесса загрязняется различными соединениями. Сточная вода, содержащая ионы переходных металлов представляет собой не только опасный источник загрязнения окружающей среды, но и ценные отходы. Учитывая проблемы, связанные с экологией и рациональным использованием природных ресурсов необходимо создавать мало- и безотходные производства, в частности, разрабатывать новые технологические процессы и соответствующее оборудование, внедрять водооборотные циклы. В настоящей работе приведены результаты исследования сорбции катионов меди (II) и никеля (II) ионообменным волокном ФИБАН X-1. Проведены калориметрические исследования тепловых эффектов взаимодействия волокна ФИБАН X-1 с растворами нитратов меди (II) и никеля (II). Показано, что мощность, тепловой эффект и время процесса зависят от природы и концентрации ионов металлов в растворе. На основе экспериментальных данных рассчитана энтальпия процесса. Эндотермический эффект процесса объясняется энергетическими затратами, связанными с дегидратационными эффектами и изменением конформаций полимерных цепей волокна. Получены изотермы сорбции данных ионов. Установлено, что при всех исследуемых концентрациях ионы  $Ni^{2+}$  в данных условиях поглощаются ионообменным волокном лучше, чем катионы  $Cu^{2+}$ . Рассчитанные константы сорбции меди (II) и никеля (II) больше 1. Показано, что уравнение Ленгмюра описывает сорбционную изотерму лучше, чем уравнение Фрейндлиха. Для глубокой очистки сточной воды от ионов металлов предложено использовать волокнистый сорбент ФИБАН X-1.

**Ключевые слова:** энтальпия, хемосорбционное волокно, калориметрический метод, сорбция, сточные воды, ионы меди (II) и никеля (II)

## Use of ion-exchange fiber at the purification stage of wastewater of electroplating

Yurii S. Peregudov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:inorganic_033@mail.ru">inorganic_033@mail.ru</a>
Anna V. Timkova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:timkova.anna@mail.ru">timkova.anna@mail.ru</a>
Elena M. Gorbunova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>
Svetlana E. Plotnicova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:burkovasweta@yandex.ru">burkovasweta@yandex.ru</a>

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** In the electroplating industry, large volumes of water are used, which are polluted at various stages in the process. Waste water containing transition metal ions is not only a dangerous source of environmental pollution, but also valuable waste. Taking into account the problems associated with the ecology and the rational use of natural resources, it is necessary to create low- and non-waste production, in particular, to develop new technological processes and appropriate equipment, to introduce water-circulation cycles. This paper presents the results of a study of the sorption of copper (II) and nickel (II) cations by the FIBAN X-1 ion exchange fiber. Calorimetric studies of the thermal effects of the interaction of FIBAN X-1 fiber with solutions of copper (II) and nickel (II) nitrates were carried out. It is shown that the power, thermal effect and time of the process depend on the nature and concentration of metal ions in the solution. Based on the experimental data, the enthalpy of the process was calculated. The endothermic effect of the process is explained by the energy costs associated with dehydration effects and changes in the conformation of the polymer fiber chains. Sorption isotherms of these ions were obtained. It has been established that at all concentrations studied,  $Ni^{2+}$  + ions under these conditions are absorbed by ion exchange fibers better than  $Cu^{2+}$  + cations. The calculated sorption constants for copper (II) and nickel (II) are greater than 1. It is shown that the Langmuir equation describes the sorption isotherm better than the Freundlich equation. For deep purification of waste water from metal ions, it was proposed to use the fibrous sorbent FIBAN X-1.

**Keywords:** enthalpy, chemisorption fiber, calorimetric method, sorption, wastewater, copper and nickel ions

### Введение

Гальваническое производство является опасным источником загрязнения окружающей среды. В процессе нанесения гальванических покрытий огромное количество воды расходуется на приготовление электролитов, технологических растворов, а также на меж- и послеоперационную промывку деталей. При этом образуются сточные воды, загрязненные ионами тяжелых металлов – меди, никеля, хрома, железа и т. д.

Для цитирования

Перегудов Ю.С., Тимкова А.В., Горбунова Е.М., Плотникова С.Е. Применение ионообменного волокна на стадии доочистки сточных вод гальванического производства // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 330–336. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-330-336

В настоящее время для очистки сточных вод гальванического производства используются:

- механические методы очистки (отстаивание, фильтрование);
- химические методы очистки (нейтрализация, химическое осаждение, окисление);
- физико-химические методы очистки (коагуляция, флокуляция, мембранные методы очистки, ионный обмен, сорбция).

For citation

Peregudov Yu.S., Timkova A.V., Gorbunova E.M., Plotnikova S.E. Use of ion-exchange fiber at the purification stage of wastewater of electroplating. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 330–336. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-330-336

Суть очистки сточных вод гальванического производства от тяжелых металлов заключается в переводе растворенных ионов металлов в нерастворенные химические соединения с последующим отделением и обезвреживанием твердой фазы. Как правило, все имеющиеся виды растворов поступают в усреднитель, нейтрализуются и сбрасываются в канализацию [1].

Часто для очистки сточных вод гальванического производства используют процесс, состоящий из следующих ступеней: нейтрализация – выравнивание определенного значения уровня pH с помощью NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> для химического осаждения металлов; флокуляция – добавление органических флокулянтов для образования макрофлокул; осаждение – для отделения твердой фазы с последующим обезвреживанием шлама; заключительная доочистка – фильтрация, сорбция или ионный обмен. Для этих целей могут использоваться зернистые и волокнистые ионообменные материалы.

В связи с этим представляет интерес изучение сорбции ионов переходных металлов на хемосорбционных волокнах. Безотходная

технология – это идеальная модель производства, которая в большинстве случаев в настоящее время реализуется не в полной мере, а лишь частично. В области гальванического производства необходимо разрабатывать и применять современные и эффективные методы водоочистки, позволяющие переходить к замкнутым процессам рециркуляции воды и извлечению металлов из сточных вод. Внедрение бессточных систем водоснабжения и реконструкция действующего производства способствует резкому сокращению расходов воды и уменьшению объема сточных вод.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлось хемосорбционное волокно ФИБАН X-1 в Na-форме. Волокно данной марки разработано Институтом физико-органической химии Академии Наук Беларуси на основе полиакрилонитрильного волокна (таблица 1) [2]. Подготовку волокнистого ионообменника проводили по стандартным методикам [3].

Таблица 1.

Характеристика волокна ФИБАН X-1

Table 1.

Characteristics of fiber FIBAN X-I

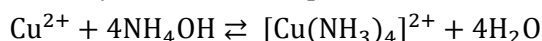
Функциональные группы Functional group	COE, ммоль/г		Набухание в H <sup>+</sup> -форме, г H <sub>2</sub> O/г ионита Swelling in H <sup>+</sup> form, g H <sub>2</sub> O/g of the ion exchanger
-N(CH <sub>2</sub> COOH) <sub>2</sub> - COOH	3,76	0,60	0,60
Рабочий интервал pH   pH range		Рабочий интервал температур   Operating temperature range	
5–12		0–80 °C	

Ионообменный материал ФИБАН X-1 устойчив к воздействию концентрированных кислот и органических растворителей, характеризуется умеренным набуханием в воде и водных растворах. При переходе из водородной формы в натриевую набухание и емкость волокна увеличиваются. В определенных случаях возможна регенерация и повторное использование материала [4].

Сорбционную емкость волокна ФИБАН X-1 по ионам меди и никеля определяли в статических условиях с применением магнитной мешалки для перемешивания раствора. Для этого навеску волокна 0,2 г заливали 50 см<sup>3</sup> раствора нитрата соответствующего металла с начальными концентрациями 2, 4, 6, 8, 10 ммоль/дм<sup>3</sup> и выдерживали до установления равновесия. Затем раствор отфильтровывали и определяли равновесную концентрацию катионов металлов.

Способность меди к комплексообразованию позволяет количественно определять содержание ионов меди в растворе различными фотометрическими методами [5]. Сущность используемой

методики [6] заключается в измерении оптической плотности окрашенного раствора аммиаката меди, полученного в ходе реакции:



Измерение оптической плотности растворов проводили на колориметре фотоэлектрическом концентрационном КФК-2МП при длине волны 590 нм в 10 мм кювете.

Содержание ионов Ni<sup>2+</sup> в растворе определяли методом комплексонометрического титрования. Для этого в колбу для титрования вносили 5 см<sup>3</sup> пробы, 1 см<sup>3</sup> раствора аммиака с массовой долей 25% и столько мурексида, чтобы раствор окрасился в интенсивно желтый цвет. Титровали раствором ЭДТА до перехода желтого окрашивания в фиолетовое [7].

Сорбционную емкость (*A*, ммоль/г) в условиях установившегося в системе равновесия определяли по формуле

$$A = \frac{(C - C_p)V}{m},$$

где  $C$ ,  $C_p$  – исходная и равновесная концентрация ионов исследуемых металлов в растворе соответственно, ммоль/дм<sup>3</sup>;  $V$  – объем раствора, дм<sup>3</sup>;  $m$  – масса сорбента, г.

Полученные данные по сорбции ионов меди и никеля из растворов с разными концентрациями использовали для построения изотерм сорбции.

Калориметрические исследования процессов взаимодействия волокна с растворами солей исследуемых металлов проводились на микрокалориметре МИД-200 при 298 К. Для эксперимента использовали растворы нитратов меди (II) и никеля (II) с концентрацией от 0,001 до 0,01 моль/дм<sup>3</sup>.

Методика эксперимента заключалась в следующем. В калориметрический стакан помещали 50 см<sup>3</sup> раствора соли, а в лодочку, плавающую на поверхности, 0,2 г волокна. После термостатирования в течение 24 ч волокно и раствор соли смешивали и регистрировали тепловые эффекты их взаимодействия. Погрешность калориметрических измерений не превышала 2% [8].

### Результаты и обсуждение

По результатам калориметрических измерений получены термокинетические кривые. Данные кривые представляют собой энергию процесса как функцию от времени  $W = f(\tau)$ . На термокинетических кривых имеется один ярко выраженный максимум.

На рисунке 1 представлена термокинетическая кривая на примере взаимодействия волокна ФИБАН X-1 с раствором нитрата никеля (II). Все термокинетические кривые близки по форме, но различаются по высоте пика и длительности.

При всех исследуемых концентрациях растворов  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  процесс сопровождается поглощением тепла. С повышением концентрации возрастает термоэффект и время установления равновесия. В момент достижения наибольшего значения эндоэффекта, в реакцию с ионами вступает максимальное число функциональных групп. Из термокинетических кривых были рассчитаны энтальпии взаимодействия ( $\Delta H$ ) волокна с катионами металлов (рисунк 2). Для солевых растворов с концентрацией

0,01–0,03 моль/дм<sup>3</sup> величины  $\Delta H$  для ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  близки по значениям. С концентрацией 0,04 моль/дм<sup>3</sup> наблюдается превышение энтальпии взаимодействия  $\text{Ni}^{2+}$  с волокном по сравнению с  $\text{Cu}^{2+}$ .

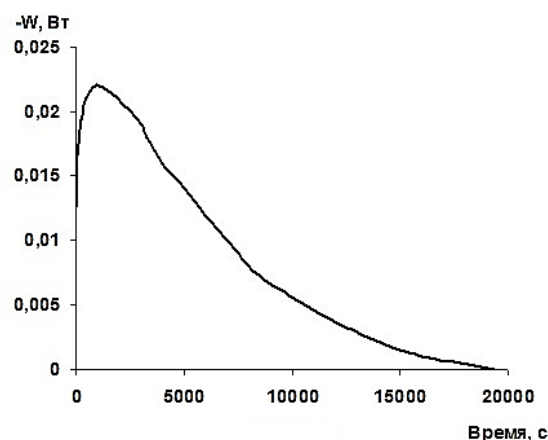


Рисунок 1. Термокинетическая кривая на примере взаимодействия волокна ФИБАН X-1 с раствором нитрата никеля (II)

Figure 1. Thermokinetic curve on the example of the interaction of fiber FIBAN X-I with a solution Nickel (II) nitrate

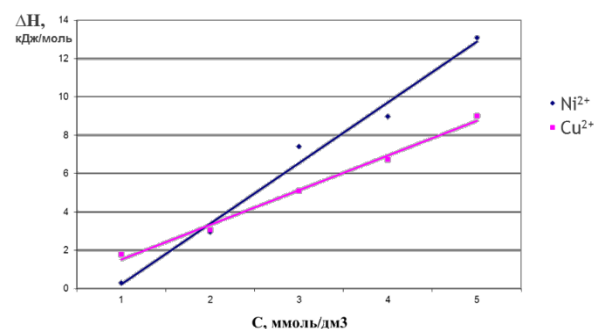


Рисунок 2. Энтальпия взаимодействия волокна ФИБАН X-1 с растворами нитратов меди (II) и никеля (II)

Figure 2. Enthalpies of the interaction fiber FIBAN X-I with solutions of copper nitrate (II) and nickel (II)

Процесс сорбции ионов металлов волокном ФИБАН X-1 во многом зависит от природы насыщающих волокно ионов. Некоторые характеристики исследованных ионов представлены в таблице 2 [9].

Таблица 2.

Ионный радиус  $r$  (по Гольдшмидту), электронное строение иона, энтальпия и энтропия гидратации, изменение энтропии воды при гидратации ионов

Table 2.

Ionic radius  $r$  (according to Goldschmidt), electronic structure of the ion, enthalpy and entropy of hydration, change in the entropy of water during the hydration of ions

Ион Ion	Строение Structure	$r$ , нм	$-\Delta H_{\text{гидр}}$ , кДж/моль	$-\Delta S_{\text{гидр}}$ , Дж/(моль К)	$-\Delta S_{\text{п}}$ , Дж/(моль К)
$\text{Cu}^{2+}$	...3d <sup>9</sup>	0,079	2975,7	433,5	205,0
$\text{Ni}^{2+}$	...3d <sup>8</sup>	0,078	2964,8	443,5	225,1

Процесс взаимодействия волокна с ионами металлов складывается из параллельно идущих стадий, каждая из которых вносит определенный вклад в энтальпию процесса в целом. Необходимо учитывать следующие основные вклады [10]:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{сорб}} + \Delta H_{\text{д.и.}} + \Delta H_{\text{д.ф.}} + \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H_{\text{деф.}}$$

где  $\Delta H_{\text{сорб}}$  – сорбция ионов волокном;  $\Delta H_{\text{д.и.}}$  – дегидратация ионов;  $\Delta H_{\text{д.ф.}}$  – дегидратация функциональных групп волокна;  $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}$  – изменение структуры воды, связанное с природой иона;  $\Delta H_{\text{деф.}}$  – деформация полимерных цепей волокна для образования сорбционных центров.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что экзотермический эффект образования связей между волокном и указанными ионами перекрывается энергетическими затратами, связанными с дегидратационными эффектами и изменением конформаций полимерных цепей.

На рисунке 3 представлены изотермы сорбции ионов меди и никеля Na-формой ионообменного волокна ФИБАН X-1.

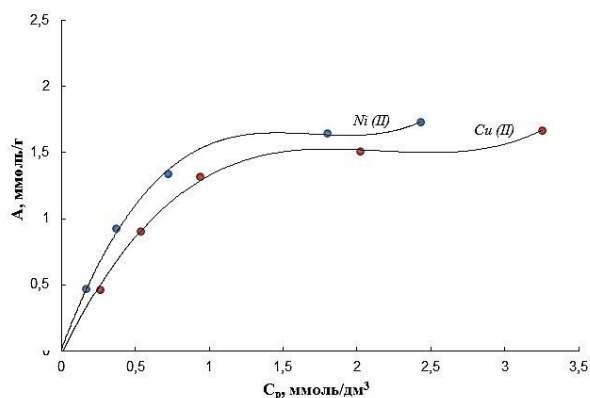


Рисунок 3. Изотермы сорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  хемосорбционным волокном ФИБАН X-1

Figure 3. Sorption isotherms of  $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions with chemisorption fiber FIBAN X-1

Как видно из рисунка 3, повышение концентрации металлов в растворе приводит к увеличению сорбционной емкости волокна. Также стоит отметить, что при всех исследуемых концентрациях ионы  $\text{Ni}^{2+}$  в данных условиях поглощаются ионообменным волокном лучше, чем катионы  $\text{Cu}^{2+}$ .

Для обработки полученных изотерм были применены модели Ленгмюра и Фрейндлиха. Изотермы сорбции в линейной форме показаны на рисунках 4 и 5.

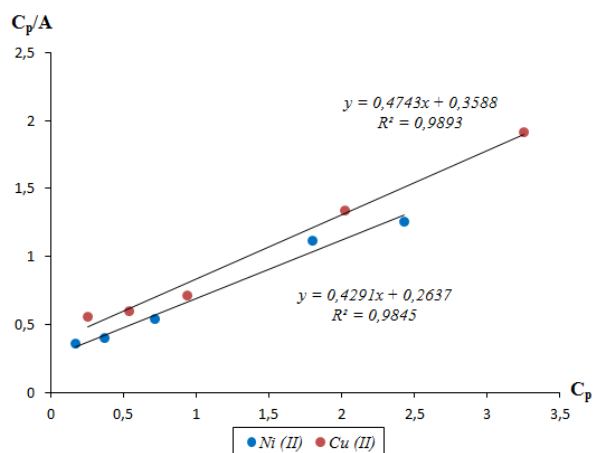


Рисунок 4. Изотермы сорбции ионов меди (II) и никеля (II) в линейной форме по Ленгмюру

Figure 4. Sorption isotherms of copper (II) and nickel (II) ions in linear form according to Langmuir

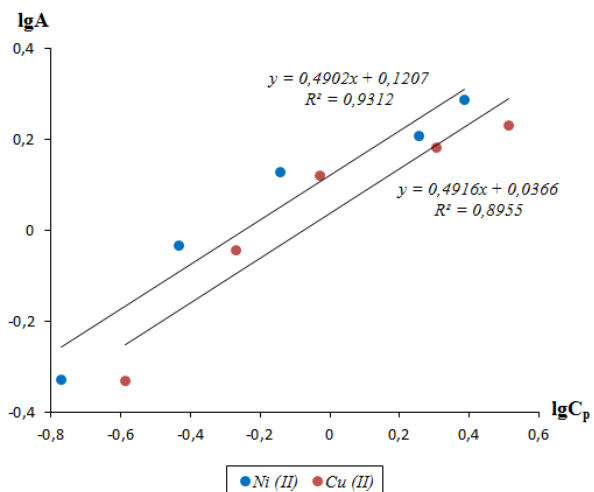


Рисунок 5. Изотермы сорбции ионов меди (II) и никеля (II) в линейной форме по Фрейндлиху

Figure 5. Sorption isotherms of copper (II) and nickel (II) ions in Freundlich linear form

Параметры обработки изотермы сорбции по модели Ленгмюра и Фрейндлиха приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристики сорбции ионов меди и никеля

Table 3.

Sorption characteristics copper and nickel ions

Катион металла Metal cation	Параметры модели Ленгмюра Langmuir model parameters			Параметры модели Фрейндлиха Freundlich model Parameters		
	$A_{\infty}$ , ммоль/г	$K$ , $\text{дм}^3/\text{ммоль}$	$R^2$	$k$	$1/n$	$R^2$
$\text{Cu}^{2+}$	2,108	1,322	0,9893	1,0879	0,4916	0,8955
$\text{Ni}^{2+}$	2,330	1,627	0,9845	1,3204	0,4902	0,9312

Как видно из таблицы 3, уравнение Ленгмюра описывает сорбционную изотерму лучше, чем уравнение Фрейндлиха. Из этого следует, что все сорбированные частицы взаимодействуют только с центрами сорбции и не взаимодействуют друг с другом, при этом на поверхности сорбента образуется мономолекулярный сорбционный слой. Константы сорбции ионов меди (II) и никеля (II) больше 1, следовательно, величина энергии Гиббса будет больше нуля. Это свидетельствует о самопроизвольности протекания процесса. Величина предельной сорбции  $A_{\infty}$  катионов меди (II) и никеля (II) составила 2,108 и 2,330 ммоль/г соответственно. Результаты проведенных исследований и расчетов показывают, что ионообменное волокно может быть использовано для стадии доочистки сточных вод гальванического производства с концентрацией ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  от 0,001 до 0,01 моль/дм<sup>3</sup>. Нами предложена следующая технологическая схема очистки гальванических сточных вод с применением ионообменного волокна ФИБАН X-1 (рисунок 6).

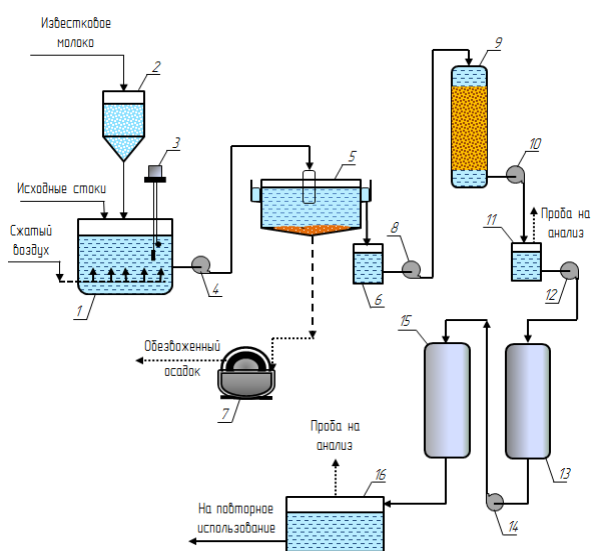


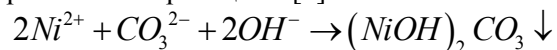
Рисунок 6. Технологическая схема очистки медь- и никельсодержащих сточных вод: 1 – реактор; 2 – дозатор щелочного агента; 3 – датчик pH-метра; 4, 8, 10, 12, 14 – насосы; 5 – отстойник; 6 – приемная емкость; 7 – узел обезвоживания осадка; 9 – механический фильтр; 11 – сборник осветленных стоков; 13, 15 – ионообменные фильтры; 16 – сборник очищенной воды

Figure 6. Technological scheme of cleaning copper and nickel-containing wastewater: 1 – reactor; 2 – dispenser alkali agent; 3 – pH meter; 4, 8, 10, 12, 14 – pumps; 5 – sump; 6 – receiving capacity; 7 – sludge dewatering unit; 9 – mechanical filter; 11 – collection of clarified effluents; 13, 15 – ion exchange filters; 16 – collection of purified water

В состав предлагаемой технологической схемы очистки стоков входят узлы:

- реагентной обработки;
- тонкослойного отстаивания стоков;
- обезвоживания осадка;
- глубокого осветления на механических фильтрах;
- доочистки сточных вод (ионообменные фильтры).

В соответствии со схемой (рисунок 6) сточные воды из промывных ванн поступают в реактор 1, туда же дозирующим устройством 2 подается щелочной реагент. Наиболее дешевым и доступным реагентом является гидроксид кальция, который применяют в виде 5%-ого раствора известкового молока. При достижении  $\text{pH} = 9-10$  происходит осаждение ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  в виде малорастворимых осадков основных карбонатов по реакциям [2]:



Значение  $\text{pH}$  контролируют с помощью погружного датчика 3. Время контакта сточных вод с реагентом в камере реакции не менее 30 мин.

Для выделения из сточных вод нерастворимых соединений водную суспензию направляют в отстойник 5, в котором она выдерживается в течение 2 ч. Осветленная вода из отстойника накапливается в приемной емкости 6, а образовавшийся осадок поступает на узел обезвоживания 7 и затем на утилизацию.

Для более глубокого осветления сточные воды насосом подаются на механический фильтр 9, где происходит их доочистка от остаточного количества взвесей. Образовавшийся фильтрат поступает в сборник осветленных стоков 11.

Для обеспечения глубокой очистки воды и обессоливания до требований ГОСТ 9.317–90 предложено использовать фильтры тонкой очистки (13, 15), заполненные хелатным сорбентом ФИБАН X-1.

Предлагаемый ионообменный материал работает в области малых концентраций ионов токсичных металлов и позволяет обеспечить замкнутый водооборот с использованием воды повторно в производственном цикле.

Для достижения наиболее высокой степени очистки стоки пропускают последовательно через два ионообменных фильтра с загрузкой из волокнистого хемосорбента. Остаточная концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  составляет около 0,1 мг/л, что соответствует требованиям ГОСТ 9.317–90. Очищенная вода может использоваться повторно для приготовления электролитов, обезжиривающих и травильных растворов и промывку деталей, а также на охлаждение ванн и выпрямителей тока.

По сравнению с зернистыми ионитами волокнистые ионообменные материалы обладают высокой скоростью ионообменных и сорбционных процессов. Фильтрующие слои волокна ФИБАН Х-1 обеспечивают в процессах очистки сточных вод высокие скорости потоков, на порядок превышающие аналогичные зернистые иониты, одновременно обладая более высокой сорбционной активностью по ионам переходных металлов. Сопротивление фильтрующего слоя ФИБАН Х-1 зависит от плотности его упаковки, которая задается текстильной формой или дополнительным принудительным уплотнением. Для процессов очистки воды оптимальной является плотность слоя 0,16–0,20 кг/дм<sup>3</sup>, а толщина слоя 3–6 см [2].

Наиболее совершенные конструкции фильтров с загрузкой из волокнистых материалов

представлены в работе [11]. Благодаря возможности уменьшения плотности упаковки волокнистого материала данные конструкции позволяют осуществлять регенерацию отработанного волокна без извлечения его из фильтра, что, в свою очередь, сократит затраты на эксплуатацию фильтров.

### Заключение

Полученные в работе значения констант сорбции и величин предельной сорбции катионов меди (II) и никеля (II) показали, что волокнистый ионообменник ФИБАН Х-1 может быть использован на стадии доочистки сточных вод гальванического производства. Совершенствование стадии доочистки сточных вод гальванического производства за счет использования ионообменного материала ФИБАН Х-1 обеспечит экономное и рациональное использование воды.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Жданова А.В., Илларионов С.А. Очистка сточных вод гальванического производства от загрязнений тяжелыми металлами // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2012. № 1. С. 54–60.
- 2 Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси. ФИБАН-1. URL: [http://ifoch.by/research/fiban/XI\\_1.html](http://ifoch.by/research/fiban/XI_1.html)
- 3 Полянский Н.Г., Горбунов Г.В., Полянская Н.Я. Методы исследования ионитов. М.: Химия, 1976. 280 с.
- 4 Солдатов В.С., Зеленковский В.М., Сосинович З.И., Мосунова Н.В. и др. Селективное выделение меди и цинка из модельных растворов шахтных вод волокнистыми ионитами // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2011. № 2. С. 41–45.
- 5 Кулиев К.А., Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Таранова А.Н. Смешаннолигандные комплексы меди (II) с дитиолфенолами и гетероциклическими диаминами // Вестник ВГУИТ. 2017. № 1. С. 248–256.
- 6 Дехтярь Т.Ф., Боcharова Е.С. Определение меди фотометрическим методом // Молодежный научный вестник. 2017. № 1 (13). С. 81–86.
- 7 Булатов А.В., Зеймаль А.Е., Николаева Д.Н., Никоноров В.В. и др. Методические указания к практикуму «Химические методы анализа»: учебное пособие. СПб.: ВВМ, 2010. 54 с.
- 8 Астапов А.В., Перегудов Ю.С., Копылова В.Д., Попова К.А. Энтальпии взаимодействия сильноосновных анионитов с ионами аминокислот // Журнал физической химии. 2009. Т. 83. № 6. С. 1016–1020.
- 9 Крестов Г.А. Термодинамика ионных процессов в растворах. Л.: Химия, 1984. 272 с.
- 10 Астапов А.В., Перегудов Ю.С., Нифталиев С.И. Сорбция катионов никеля (II) хелатным волокнистым сорбентом ФИБАН Х-1 // Журнал физической химии. 2017. № 8. С. 1397–1402.
- 11 Петров Ю.П., Котюков А.Б. Совершенствование конструкции фильтров с загрузкой из углеродных волокнистых сорбентов (УВС), активированной углеродной ткани (АУТ) и волокнистого ионообменного материала ВИОН // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 2 (19). С. 94–101.

### REFERENCES

- 1 Zhdanova A.V., Illarionov S.A. Wastewater treatment of electroplating from heavy metal contamination. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Himiya* [Perm University Bulletin. Series: Chemistry]. 2012. no. 1. pp. 54–60. (in Russian).
- 2 Institut fiziko-organicheskoy himii Nacional'noj akademii nauk Belarusi. FIBAN-1 [Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. FIBAN-1]. Available at: [http://ifoch.by/research/fiban/XI\\_1.html](http://ifoch.by/research/fiban/XI_1.html) (in Russian).
- 3 Polyanskiy N.G., Gorbunov G.V., Polyanskaya N.I. Metody issledovaniya ionitov [Research methods ion-exchange resins]. Moscow, Chemistry, 1976. 280 p. (in Russian).
- 4 Soldatov V.S., Zelenkovskij V.M., Sosinovich Z.I., Mosunova N.V. et al. Selective isolation of copper and zinc from model solutions of mine water by fibrous ion exchangers. *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya himicheskikh nauk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Sciences Series]. 2011. no. 2. pp. 41–45. (in Russian).
- 5 Kuliev K.A., Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Taranova A.N. Mixed-ligand complexes of copper (II) with ditiolphenols and heterocyclic diamines. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. no. 1. pp. 248–256. (in Russian).
- 6 Dekhtyar T.F., Bocharova E.S. Determination of copper by photometric method. *Molodezhnyy vestnik* [Youth scientific Bulletin]. 2017. no. 1 (13). pp. 81–86. (in Russian).
- 7 Bulatov A.V., Zejmal' A.E., Nikolaeva D.N., Nikonorov V.V. et al. Metodicheskie ukazaniya k praktikumu "Himicheskie metody analiza" [Guidelines for the workshop "Chemical methods of analysis"]. Saint Petersburg, WWM, 2010. 54 p. (in Russian).
- 8 Astapov A.V., Peregudov Yu.S., Kopylova V.D., Popova K.A. The enthalpy of interaction of a strongly basic anion exchange resin with ions of amino acids. *Zhurnal fizicheskoy himii* [Journal of Physical Chemistry]. 2009. vol. 83. no. 6. pp. 1016–1020. (in Russian).
- 9 Krestov G.A. Termodinamika ionnykh processov v rastvorah [Thermodynamics of ionic processes in solutions]. Leningrad, Chemistry, 1984. 272 p. (in Russian).



10 Astapov A.V., Peregudov Yu. S., Niftaliev S.I. Sorption of nickel (II) cations with chelate fiber sorbent FIBAN X-I. *Zhurnal fizicheskoy himii* [Journal of Physical Chemistry] 2017. no. 8. pp. 1397–1402. (in Russian).

11 Petrov Yu. P., Kotyukov A.B. Improving the

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Юрий С. Перегудов** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, inorganic\_033@mail.ru

**Анна В. Тимкова** магистрант, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, timkova.anna@mail.ru

**Елена М. Горбунова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия, lobanova8686@gmail.com

**Светлана Е. Плотникова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия, burkovasweta@yandex.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Юрий С. Перегудов** предложил методику проведения эксперимента

**Анна В. Тимкова** обзор литературных источников по

исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

**Елена М. Горбунова** написала рукопись, корректировал её

до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Светлана Е. Плотникова** консультация в ходе исследования

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 04.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 30.10.2018

design of filters with loading of carbon fiber sorbents (UVS), activated carbon cloth (OUT) and fibrous ion exchange material VION. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Perm University Press. Geology]. 2013. no. 2 (19). pp. 94–101. (in Russian).

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Yurii S. Peregudov** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, inorganic\_033@mail.ru

**Anna V. Timkova** master student, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, timkova.anna@mail.ru

**Elena M. Gorbunova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobanova8686@gmail.com

**Svetlana E. Plotnicova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, burkovasweta@yandex.ru

#### CONTRIBUTION

**Yurii S. Peregudov** proposed a scheme of the experiment

**Anna V. Timkova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Elena M. Gorbunova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Svetlana E. Plotnicova** consultation during the study

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.4.2018

ACCEPTED 10.30.2018