

УДК 628.16.:628.387:621.357.5

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА РЕДУЦИРОВАНИЯ ИОНОВ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД****Федорова Е.А., Гудков А.А., Гейер Р.В., Плакина Н.Л.***ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева»,**Нижний Новгород, e-mail: rbc@nntu.nnov.ru;**ООО «Омнимед», Нижний Новгород,*

Произведен выбор и разработаны технологии удаления ионов поливалентных металлов: железа Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> и хрома Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> из водных сред с реализацией полученных результатов при изготовлении локальных систем очистки сточных вод и бытовых водоочистителей.

**Ключевые слова:** ионы поливалентных металлов, редуцирование, очистка водных сред.

**SUBSTANTIATION OF THE SELECTION METHOD OF REDUCTION OF IONS OF POLYVALENT METALS FROM WATER ENVIRONMENTS****Fedorova E.A., Gudkov A.A., Gejer R.V., Plakina N.L.***Nizhny Novgorod state technical university him R.E. Alekseeva, Nizhny Novgorod,**e-mail: rbc@nntu.nnov.ru;**Ltd. Omnimed, Nizhny Novgorod, e-mail: lab@omnimed.ru*

The choice is made and technologies of removal of ions of polyvalent metals are developed: iron Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> and chromium Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> from water environments with realization of the received results at manufacturing local systems of sewage treatment and household water purifiers.

**Keywords:** ions of polyvalent metals, reduction, clearing of water environments

По результатам объектного мониторинга природных вод г. Нижнего Новгорода и области за период 2005–2010 гг. установлено [1], что характерными загрязняющими веществами для водных объектов Нижегородской области остаются ионы поливалентных металлов (ИПМ): железа, хрома, меди, марганца и др. Отработанные растворы различных производств, содержащих ИПМ: Cu<sup>2+</sup>, Cu<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, подвергаются специальному обезвреживанию для удаления высокотоксичных компонентов, однако, накопление ряда ионов металлов в воде и донных отложениях природных водоемов Нижегородской области сохраняется с превышением ПДК разовыми концентрациями до 50–99% [1].

Увеличение антропогенной нагрузки, износ водоочистных сооружений и устаревшие коммуникации, часто являющиеся вторичными источниками загрязнений вод, также приводят к существенному снижению качества потребляемой воды. Отрицательное воздействие на организм человека могут оказывать и менее токсичные ИПМ, например, ионы железа Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>, содержание которых в разных источниках водоснабжения значительно отличается как по форме соединений железа, так и по его суммарной концентрации.

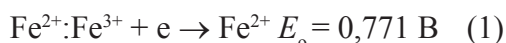
Токсичность ионов поливалентных металлов в растворе часто зависит от степени их окисления, а сложность редуцирования из водных сред – от форм соединений и

комплексов ИПМ с другими компонентами среды, поэтому целью данной работы явилось обоснование выбора способа извлечения ионов поливалентных металлов из природной, водопроводной и сточных вод в зависимости от природы и концентрации ИПМ в водной среде.

Обработке подвергались природная и водопроводная вода, содержащая ионы железа в формах Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> и в виде железо-органических комплексов, и производственные сточные воды, одновременно содержащие ионы Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>. Измерение массовой концентрации ионов железа Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> в воде проведено фотокориметрическим методом на приборе КФК-2 с орто-фенантролином согласно ГОСТ 4011–72 «Методы измерения массовой концентрации общего железа». Содержание ионов Cr<sup>3+</sup> и Cr<sup>6+</sup> в водных средах определялось на фотометре КФК-3 с добавлением соли железа (II).

Хромсодержащие стоки, содержащие высокотоксичные ионы хрома Cr<sup>6+</sup> (ПДК<sub>п/х</sub> = 0,02 мг/л), проявляющего канцерогенные и тетраогенные свойства, являются запрещенными к сбросу в природные водоемы. Это требует их обезвреживания, заключающегося, как правило, в восстановлении ионов хрома Cr<sup>6+</sup> в менее токсичную форму Cr<sup>3+</sup> с ПДК<sub>п/х</sub> = 0,07 мг/л. Нами разработан [2,3] комплексный способ редуцирования ионов Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> при их одновременном присутствии в кислых водных средах, включающий две стадии:

– стадию электрохимического восстановления с использованием диафрагменного электролизера ионов  $\text{Cr}^{6+}$ , присутствующих в кислом растворе в виде  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , стандартный редокс-потенциал которых примерно на 0,6 В положительнее процесса превращения ионов  $\text{Fe}^{3+}$  до



– стадию физико-химического извлечения ионов железа в виде малорастворимого

в кислой среде моногидрата сульфата железа (II)  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  при понижении температуры раствора до 277...270 К.

Такой способ извлечения ионов поливалентных металлов обеспечивает снижение их концентрации в водных средах на 55–95 % (табл. 1).

Для удаления ионов и соединений железа из природной воды и промывных сточных вод применяются ионообменные смолы. Однако метод накладывает ограничения на содержание ионов железа  $\text{Fe}^{3+}$ , которые быстро «забивают» катионит и плохо удаляются.

**Таблица 1**

Содержание ионов железа и хрома, присутствующих в концентрированных и промывных сточных водах до и после обработки

Сточная вода	Исходная концентрация, г/л				После обработки, г/л			
	$[\text{Cr}^{6+}]$	$[\text{Cr}^{3+}]$	$[\text{Fe}^{3+}]$	$[\text{Fe}^{2+}]$	$[\text{Cr}^{6+}]$	$[\text{Cr}^{3+}]$	$[\text{Fe}^{3+}]$	$[\text{Fe}^{2+}]$
Промывная	0,25	0,44	1,8	0,38	0,012	0,076	0,48	0,08
Концентрированная	8	14	40	10	0,40	8,5	18	0,75

К экологически безопасным и экономичным методам водоподготовки воды в локальных очистителях, как показали проведенные нами экспериментальные исследования и промышленные испытания, можно отнести извлечение ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  из водопроводной и природной воды под действием постоянных магнитов. Ко-

личественный анализ воды на содержание ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  до и после магнитной обработки (табл. 2) показал, что в магнитном активаторе происходит значительное снижение на 78–92 % концентрации железа (II) и железа общего с достижением требований ПДК для питьевой воды ( $\text{ПДК}^{\text{Fe}} = 0,3 \text{ мг/л}$ ).

**Таблица 2**

Содержание ионов железа, присутствующих в природной и водопроводной воде до и после магнитной обработки

Питьевая вода	Исходная концентрация, мг/л			После обработки, мг/л		
	$[\text{Fe}^{\text{общ}}]$	$[\text{Fe}^{2+}]$	$[\text{Fe}^{3+}]$	$[\text{Fe}^{\text{общ}}]$	$[\text{Fe}^{2+}]$	$[\text{Fe}^{3+}]$
Природная	1,05	0,90	0,15	0,23	0,18	0,15
Водопроводная	0,38	0,20	0,18	0,05	0,03	0,02

За счет силы Лоренца, создаваемой постоянными магнитами разной полярности, в магнитном активаторе протекает процесс электрохимического окисления ионов  $\text{Fe}^{2+}$  до ионов  $\text{Fe}^{3+}$ . Ионы  $\text{Fe}^{3+}$  в кислой и нейтральной водной среде в интервале  $\text{pH} = 2,5-4,1$  выпадают в осадок в виде коллоидных хлопьев гидроксида  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , которые затем извлекаются из воды с помощью механического или сорбционного фильтра.

Предприятием «Омнимед» (г. Н. Новгород) разработаны две модели магнитно-механических фильтров, используемых в качестве бытовых водоочистителей для снижения концентрации ионов железа в природной и водопроводной воде [4, 5].

Для очистки природных вод (болотистых, торфяных), содержащих гуминовые

кислоты и железо-органические комплексные соединения, сотрудниками ООО «Омнимед» предложена модель сорбционно-ионообменно-механического фильтра, содержащего слой каталитической загрузки: йодсодержащая смола + пирролизит + катионообменная смола в Na-форме + уголь БАУ, обеспечивающие редуцирование металлоорганических примесей.

Таким образом, определяющими при выборе способа редуцирования ИПМ из водных сред могут служить следующие факторы: степень окисления ионов металлов, их окислительно-восстановительная способность и электрохимическая активность, а также основные физико-химические свойства соединений этих металлов, присутствующих в водной среде.

**Список литературы**

1. Обзоры состояния загрязнения природной среды на территории Нижегородской области в 2005–2010 гг. // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Н.Новгород, 2010. – 238 с.

2. Федорова Е. А., Бакаев В.В., Исаев В.В. Способ регенерации отработанных электролитов полирования и травления сталей // Патент РФ № 2175025, 2001. – Бюл. № 29.

3. Гудков А.А., Федорова Е.А. Локальные системы обезвреживания сточных вод предприятий приборостроения // Проблемы безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии: материалы III Междунар. конф. (Ульяновск, 3-4 июня 2010 г.) – Ульяновск, 2010. – С. 116–120.

4. Магнитный активатор / Н.А. Лаврентьева, В.Г. Лаврентьев, Н.Л. Табакова, Н.В. Мокеева // Патент РФ на полезную модель № 86583, 2009. – Бюл. 19.

5. Фильтр магнитно-механический для очистки воды ФММ-01 // Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.37.369.Д.010122.09.08. – ТУ 3697-046-43018878-2008.

**Рецензенты:**

Копейкин В.Н., д.м.н., зав. кафедрой детских болезней ГОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия Минздравсоцразвития», г. Нижний Новгород;

Бодров В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Отопление и вентиляция» ГОУ ВПО «Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета», г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 15.03.2011.