

УДК 66.087.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

¹Тягунова В.Г., ¹Самойлик Е.Н., ¹Диньмухаметова Л.С., ²Попов В.Г.

¹ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения», филиал, Орск, e-mail: info@orsksamgups.ru;

²Орский гуманитарно-технологический институт (филиал), ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Орск, e-mail: p_v_g@bk.ru

Обоснована целесообразность проведения гальванокоагуляционной очистки производственно-бытовых сточных вод перед отведением их на городские сооружения. Представлены результаты гальванокоагуляционной обработки сточных вод машиностроительных предприятий (нейтрализованных стоков гальванического цеха, продувочных вод оборотных систем, неочищенных гальваносточков и усредненного сброса производственных и бытовых вод), отличительной особенностью которых являлась многокомпонентность их состава и разнообразие загрязнителей по видам: катионы металлов, анионы серной, азотистой и фосфорной кислот, органические вещества различной природы, соли жесткости. Исследования проводились на установке барабанного типа с использованием двух видов гальванопар – железо – кокс и железо – медь в условиях ферритизации реакционной смеси методом аэрации. Результаты исследований показали, что гальванокоагуляция может применяться для комплексной очистки от разнородных загрязнений: при оптимизированных технологических режимах процесса очистки: длительности реакции, скорости вращения аппарата, подачи стоков – возможно извлечение из стоков меди, хрома, сульфатов, нефтепродуктов и других органических веществ с достижением их концентрации намного ниже ПДК. Полученные экспериментальные данные подтвердили вероятность не только сорбционного, но окислительного механизма удаления из жидкой фазы органических веществ без дополнительных методов интенсификации процесса в «классических» условиях.

Ключевые слова: производственные сточные воды, гальванокоагуляция, сорбция, активация дикислорода, гальванопара, деструкция, ферритизация, гальваносток

INVESTIGATION OF ORGANIC POLLUTANTS DESTRUCTION BY COMPLEX GALVANOCOAGULATION WASTEWATER TREATMENT

¹Tyagunova V.G., ¹Samoylik E.N., ¹Dinmukhametova L.S., ²Popov V.G.

¹Samara State Transport University, branch in Orsk, Orsk, e-mail: info@orsksamgups.ru;

²Orsk Humanitarian and Technological Institute (branch) of «Orenburg State University», Orsk, e-mail: p_v_g@bk.ru.

Expediency of galvanocoagulation treatment of industrial and household waste water before their discharge to sewage treatment plant is provide. Obtained results of engineering companies wastewater galvanocoagulation treatment are shown. The distinctive feature of engineering companies wastewater (neutralized electroplating wastewater, crude galvanic wastewater, average discharge of industrial and domestic waters) was the complexity of their composition and diversity of pollutants on species: the cations of the metals, the anions of sulfuric, nitric and phosphoric acids, different organic substances and salts. The research was carried out on the installation of drum type using two kinds of galvanic couples such as iron-cox and iron-copper with ferritization of reaction mixture by aeration method. The results showed that galvanocoagulation can be used for complex purification from heterogeneous contamination when process conditions of the cleaning process are optimized: the duration of the reaction, the speed of drum rotation, filling system. It has been shown that possible to recovery from wastewater of copper, chromium, sulfates, petroleum products and other organic substances to their concentration is much below the MCL. The obtained experimental data confirmed the possibility not only sorption, but the oxidative mechanism removal of organic substances from the liquid phase without additional methods of process intensification in «classic» conditions.

Keywords: industrial wastewater, galvanocoagulation, sorption, activation of dioxygen, galvanic couple, destruction, ferritization, galvanic wastewater

В настоящее время на промышленных предприятиях стоит проблема локальной очистки сточных вод, отводимых в систему ЖКХ, до установленных норм (табл. 1). На большинстве предприятий сбросные сточные воды содержат в сравнительно невысоких концентрациях широкий спектр загрязнений. В них одновременно присутствуют катионы металлов, синтетические СОЖ, нефте-

продукты, сульфаты, нитриты [5]. Тонкая очистка таких вод возможна только при использовании универсальных методов, к которым можно отнести гальванокоагуляцию.

Принцип гальванокоагуляции состоит в образовании короткозамкнутых гальванических элементов при непрерывном перемешивании анодной и катодной загрузки мелкого фракционного состава в присутствии

кислорода воздуха. Такие условия создаются в «классическом» гальванокоагуляторе [9], который представляет собой вращающийся барабанный аппарат с внутренними полками. Выбор материала гальванопар по стандартным потенциалам в водных растворах (E_n^0) зависит от назначения процесса и от химического состава очищаемой воды. Наиболее перспективными из них являются Al ($E_n^0 = -1,662$ В), Fe ($E_n^0 = -0,44$ В), Cu ($E_n^0 = +0,337$ В) и углерод С ($E_n^0 = +0,36$ В).

В данной работе исследовался метод гальванокоагуляции в «классическом» варианте [9], т.е. без наложения какого-либо дополнительного физического или химического воздействия на систему очистки. Данная оговорка имеет значение, поскольку многие исследователи с целью интенсификации процесса гальванокоагуляции дополняют его введением в очищаемую воду перекиси водорода [11, 13], внешним электрическим воздействием с наложением асимметричного тока [10], ультрафиолетовым облучением [1], использованием магнитоакустического резонансного воздействия [4].

Механизм гальванокоагуляционной очистки чрезвычайно сложен. Химический состав и структура образующихся продуктов очистки анализируются с использованием самых современных методов анализа. Однако однозначного мнения о механизме этого процесса нет. Например, одна часть исследователей относит извлечение тяжелых металлов на счет включения их в кристаллическую решетку феррошпинелей [9, 13], другая – отдает основную роль сорбционным процессам [1]. Что касается изъятия органических соединений, то наиболее признанным, для исследованных органических компонентов, является комбинированный окислительно-сорбционный механизм, когда идет и химическое окисление, и сорбция органических соединений образовавшимся осадком.

Особый интерес представляет окислительный механизм, имеющий возможности полной минерализации органических составляющих. Однако в публикациях на эту тему для полного удаления органических веществ применяют не чисто гальванокоагуляцию, о чем говорилось выше, а комбинированный метод, который заключается в том, что в очищаемую воду перед направлением на гальванокоагуляцию добавляют пероксид водорода [1, 13]. В сущности, этот метод является реагентно-гальванокоагуляционным. В описании этих работ имеются некоторые принципиальные моменты. Так, в работе [5] при реагентно-гальванокоагуляционном окислении фенола и пирокатехина исследователи выявляли вклад сорбционных и окислительных механизмов в этот процесс. Проведя гальванокоагуляционную очистку от пирокатехина без введения пероксида водорода, получили отсутствие пирокатехина в жидкой фазе и, предполагая, что окисления этого вещества не состоялось, а произошла только сорбция, спектральным методом исследовали осадок. Однако обнаружили в нем не пирокатехин, а хиноны – производные окисления пирокатехина. Следовательно, окисление с разрывом структурных цепочек идет и при «классической» гальванокоагуляции, хотя и с 50%-ным эффектом по сравнению с опытами с добавками перекиси водорода. В пользу окислительного механизма говорит также тот факт, что все исследователи реагентно-гальванокоагуляционного метода отмечают пониженную по сравнению со стехиометрическим соотношением потребность пероксида водорода для полного окисления органических составляющих. Из этого можно сделать вывод, что в системе гальванокоагуляции при аэрации и каталитическом воздействии Fe^{2+} происходит образование перекиси водорода из молекулярного кислорода и воды, что также обосновано имеющимися термодинамическими расчетами [8].

Таблица 1

Характеристика стокоотведения

№ п/п	Показатели качества	Состав общезаводского сброса	Утвержденные нормы
1	ХПК, мг O_2 /л	187	178
2	Медь Cu^{2+} , мг/л	0,074	0,005
3	Железо общее Fe общ., мг/л	2,2	0,75
4	Сульфаты SO_4^{2-} , мг/л	280	100
5	Фосфаты PO_4 , мг/л	1,7	0,211
6	Нитриты NO_2 , мг/л	0,77	0,08
7	Ионы аммония NH_4^+ , мг/л	8,26	2,9
8	Нефтепродукты, мг/л	17,6	1,7

Обзор публикаций на данную тему показывает, что, как правило, изучение процесса ведут на искусственных модельных растворах определенных загрязнителей либо на определенных видах сточных вод. При этом выявленные закономерности не всегда можно перенести на механизм извлечения конкретных загрязнителей, если они присутствуют при другом солевом фоне раствора. Может наблюдаться как синергизм [12], так и мешающее влияние отдельных компонентов. Имеются данные исследований по очистке от фенолов [1, 6], сточных вод красильно-отделочного производства [7], бытовых сточных вод от фосфатов [3], моющих растворов предприятий железнодорожного транспорта [2]. Следует отметить, что отличительной особенностью исследований, проведенных авторами данной статьи, является оценка эффективности гальванокоагуляционной очистки не по отдельным видам органических загрязнений, а по общему содержанию органических веществ – по косвенному показателю ХПК. Однозначно установлено образование в системе гальванокоагуляции гидроксида железа (III), которое желательнее перевести в оксидную форму. Из [3] следует, что такое превращение возможно при аэрации, которая была также испытана на выходящей из гальванокоагулятора смеси воды и осадка.

Предпосылки проведения работы

Изначально гальванокоагуляция была разработана и применялась для очистки сточных вод от металлов. Однако при разработке технологической схемы очистки стоков машиностроительных предприятий авторами обнаружено, что одновременно при гальванокоагуляции происходит частичное удаление из жидкой фазы сульфатов, кальция и магния, а также полное удаление нефтепродуктов, что свидетельствует об универсальности метода.

Механизм гальванохимического извлечения металлов на данный момент времени можно считать изученным в большей степени по сравнению с механизмом очистки от органических соединений, солей жесткости, сульфатов. Внедрение гальванокоагуляции очень заманчиво в плане экологической чистоты этого метода, поскольку появляется возможность получения продуктов очистки в таких формах, которые участвуют в природном кругообороте – феррошпинелей, присутствующих в рудах и минералах, а также образующихся в результате полного окисления органических веществ газов. При этом особое значение имеет образование углекислого газа, участвующего в фотосинтезе и являющегося основным постав-

щиком углерода как основного скелетного материала органических веществ. Широкое же распространение метода гальванокоагуляции замедляется также в связи с тем, что большинство исследователей работает с модельными растворами, поэтому полученные закономерности, в силу значительного влияния солевого фона, о чем говорилось выше, отличаются от реальных. Вышеоценное обуславливает необходимость дальнейших исследований сущности происходящих при гальванохимической обработке процессов. Учитывая многообразие влияющих на механизм гальванокоагуляции факторов, изучение этих процессов целесообразно проводить на реальных сточных водах предприятий.

Целью настоящей работы является анализ эффективности гальванохимической обработки для очистки промышленных сточных вод от органических соединений с оценкой приоритетного механизма деградации последних.

Материалы и методология исследований

В качестве объекта исследований были выбраны реальные сточные воды одного из машиностроительных заводов г. Орска, характеризующиеся одновременным присутствием загрязнений различной природы: загрязненные кислотно-щелочные сточные воды гальванического производства; очищенные гальваностоки после станции нейтрализации; продувки оборотных систем условно-чистого и «грязного» циклов; смесь неочищенных гальваностоков с продувками оборотных систем (смешанные стоки); реальный усредненный сброс в систему ЖКХ; бытовые сточные воды. При разработке схемы и режимов очистки использовали литературный и патентный обзор, лабораторное моделирование процесса, аналитический контроль исходных и очищенных вод, использование сертифицированных методик физико-химического анализа.

Исследования проводились на лабораторном модуле барабанного типа с внутренними перегородками. Диаметр модуля 150 мм, скорость вращения 5 оборотов в минуту. Продолжительность обработки составляла от 10 до 30 минут.

Испытания по ферритизации и повышению эффективности очистки посредством дополнительной аэрации проводились в мерном цилиндре. Воздух от микрокомпрессора подавался в нижнюю часть цилиндра через пористую насадку.

Были опробованы две гальванопары: железо – кокс и железо – медь.

Результаты исследования и их обсуждение

Максимальная эффективность для испытанных натуральных проб была получена на гальванопаре железо – кокс. Полученные результаты обработки (представлены в табл. 2) показали, что одноступенчатая гальванокоагуляция с использованием

катодно-анодной загрузки Fe–С позволяет одновременно извлекать из промышленных стоков машиностроительных предприятий медь, железо, сульфаты, хром, нефтепродукты и другие органические вещества, входящие в состав технологических смазок и жидкостей. При этом концентрация железа, нефтепродуктов и органических веществ по ХПК в очищенной сточной воде оказывается значительно ниже предельно допустимой для отведения в систему ЖКХ. При этом отмечается, что снижение концентрации сульфатов происходит после дополнительной аэрации реакционной смеси.

Анализ показателей эффективности гальванохимического метода очистки, приведенных в табл. 3, подчеркивает, что закономерности процесса гальванокоагуляции и его эффективность определяются химическим составом воды, следовательно, для каждого объекта необходимо

проводить исследования на натуральных пробах.

Механизм очистки от органических загрязнителей может быть сорбционным и (или) окислительным. В пользу последнего свидетельствует одновременное повышение содержания в жидкой фазе ионов аммония, источником которых могут быть только аминогруппы, входящие в состав органических веществ и выделившиеся при разрыве структурных цепочек в результате окислительного процесса. Окисление органических веществ в «классических» условиях коагуляции говорит о наличии и действии в данной системе радикала гидроксида водорода $\cdot\text{OH}$, являющегося сильнейшим окислителем и образующегося в присутствии двухвалентного железа по реакции Фентона:

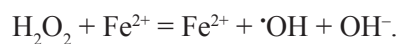


Таблица 2

Результаты обработки сточных вод гальванокоагуляцией

Показатели качества	Гальванические стоки		Промстоки (водоблок)		Промбытовые стоки (перекачка)		Бытовые стоки		Смешанные промстоки		ПДК
	исх	после ГХО	исх	после ГХО	исх	после ГХО	исх	после ГХО	исх	после ГХО	
ХПК, мг О/л	46	2		124	100 – 138		181	53	191	44	178
Фосфаты, мг/л	2,3	Н.о.	0,043–0,108	0,005–0,025	0,039–0,22	0,003–0,014	3,6	0,08	0,879	0,007	0,211
Сульфаты, мг/л	202	149	398–420	310–410	258–317	129*–303	160	97	196	112	150
Нитриты, мг/л	0,534	0,265	0,319–0,54	0,069–0,16	0,190–0,613	0,135–0,579	0,703	0,563	1,11	1,23	0,08
Ионы аммония, мг/л	0,709	2,01	2,66–3,12	0,15–0,70	2,76–4,96	1,32–6,05	21,43	19,54	1,37	2,01	2,9
Железо общ., мг/л	0,142	0,018	1,15–2,82	0,159	0,885–3,06	0,062–0,163	0,885	0,097	1,68	0,106	0,75
Медь, мг/л	0,028	0,003	0,042–0,045	0,011–0,025	0,014 –0,057	0,007–0,016	0,026	0,011	0,028	0,007	0,005
Нефтепродукты, мг/л		Н.о.	37,4–40,1	Н.о. – 0,07	23,4–34,2	Н.о. – 0,1	23,4	0,111	22,9	Н.о.	1,7
Хром b^+ , мг/л	1,38	Н.о.							1,39	Н.о.	0,05

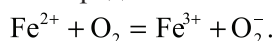
Примечание. * при использовании дополнительной аэрации.

Таблица 3

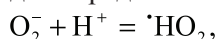
Эффективность гальванохимического метода очистки

Вид сточных вод	Степень извлечения, %								Снижение ХПК, %
	Медь	Железо	Сульфаты	Фосфаты	Нитриты	Ионы аммония	Нефтепродукты	Хром b^+	
Гальванические сточные воды	89%	87%	26%	100%	50%	–65%		100%	96%
Промбытовые стоки (усредненный сброс)	80%	97%	32%	98%	66%	–9%			
Бытовые стоки	58%	89%	39%	98%	20%	9%	100		71%
Смешанные промстоки (гальваностоки + водоблок)	75%	94%	43%	99%	–10%	–32%	100	100	77%

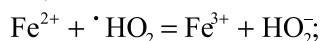
Образование же пероксида водорода в данной водной системе, в присутствии кислорода воздуха и двухвалентного железа, возможно через образование супероксидного анион-радикала O_2^- в результате одноэлектронного восстановления атмосферного диоксида водорода



Далее в нейтральной водной среде, в присутствии диссоциированных катионов водорода, протекает реакция образования гидропероксидного радикала $\cdot HO_2$:



который в присутствии двухвалентного железа образует перекись водорода по следующим реакциям:



Таким образом, радикально-цепное окисление органических загрязнителей может осуществляться двумя активными формами кислорода – $\cdot OH$ и $\cdot HO_2$. Процесс поддерживается за счет диссоциации молекул воды, что позволяет обеспечить его необходимыми ионами H^+ и OH^- .

Следует обратить внимание, что в данном процессе может иметь место не только химическая активация диоксида водорода двухвалентным железом, но и биологическая активация. Однако биологическая активация в присутствии бактериальной микрофлоры бытовых сточных вод менее вероятна из-за небольшой продолжительности обработки. Напротив, для радикально-цепных превращений необходимая продолжительность процесса составляет не более 20 минут [9].

С практической точки зрения также следует отметить, что при условии последующего за гальванокоагуляцией фильтрования продукт очистки представляет собой компактный осадок, который относится к IV классу опасности и может быть утилизирован в качестве сырья в металлургической и строительной индустрии.

Выводы

1. Гальванокоагуляция применима для комплексной очистки промышленных вод сложного состава как на общезаводском сбросе, так и на его составляющих. Выбор вариантов определяется технико-экономическим анализом после предварительной оптимизации системы отведения сточных вод.

2. Эффективность процесса гальванохимической обработки достижима в «классическом» гальванокоагуляторе, предложенном В.А. Феофановым, в котором лучшим

образом обеспечиваются и сочетаются два основных принципиальных условия процесса – интенсивное перемешивание загрузки и обеспечение гальванокоагуляционной системы кислородом.

3. Эффективная очистка от органических соединений может происходить как за счет сорбции, так и за счет окисления, т.е. разрыва органических цепочек. Результаты проведенных экспериментов указывают на преимущественное извлечение (полное или частичное) нефтепродуктов и других органических соединений (по ХПК) по окислительному механизму.

4. Результаты настоящего и иных исследований создают предпосылки возможности полной минерализации методом гальванокоагуляции любых органических загрязнителей (в том числе токсичных и трудноокисляемых) до простых природных составляющих без внесения принципиальных изменений и дополнений в сущность этого процесса.

5. По мнению авторов, научное направление дальнейшего изучения процесса гальванокоагуляции должно состоять в изыскании таких параметров процесса, которые обеспечат деструкцию органических соединений по цепному радикальному механизму без дополнительного внесения в очищаемую воду перекиси водорода.

Список литературы

1. Батоева А.А. Гальванохимическое окисление фенолов / А.А. Батоева, М.Р. Сизых, А.А. Рязанцев, М.С. Хандархаева, Д.Г. Асеев // Журнал прикладной химии. – 2007. – Т. 80, Вып. 8. – С. 1326–1329.
2. Батоева А.А. Усовершенствование технологии очистки мюющих растворов / А.А. Батоева, М.Р. Сизых, А.А. Рязанцев, Т.Г. Ошорова // Экология и промышленность России. – 2006. – Т. 5 – С. 14–15.
3. Коничев М.А. Доочистка городских сточных вод от фосфатов методом гальванокоагуляции: дис. ... канд. хим. наук. – М., 2001. – 144 с.
4. Малышев В.В., Вишняков И.А., Литвинов В.А., Джаниянц А.В. Способ очистки промышленных сточных вод // Патент России № 2161137. 2000.
5. Попов В.Г. Разрушение высокодисперсных коллоидных систем на основе синтетических СОЖ и шламовых гидроокисных осадков методами температурного воздействия / В.Г. Попов, Л.С. Диньмухаметова, В.Г. Тягунова, Е.В. Пояркова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–24. – С. 5357–5361.
6. Рязанцев А.А., Батоева А.А., Жалсанова Д.Б. Способ очистки сточных вод от примесей // Патент РФ № 2135419. 1999.
7. Сизых М.Р., Батоева А.А., Тимофеева С.С. Локальная очистка сточных вод красильно-отделочных производств // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 3. – С. 22.
8. Сычев А.Я., Травин С.О., Дука Г.Г., Скуратов Ю.И. Каталитические реакции и охрана окружающей среды. – Кичинев: Штинца, 1983. – 283 с.
9. Феофанов В.А., Давыдов Г.И., Чилиева Л.И. Очистка сточных вод методом гальванокоагуляции. – Алма-Ата: Казмеханоб, 1991. – 53 с.

10. Халтурина Т.И. Очистка сточных вод гальванического производства от ионов Ni²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺/ Т.И. Халтурина, Т.А. Курилина, Д.Ф. Хакимов, О.В. Чурбакова // Известия вузов. Серия «Строительство». – 2012. – № 1. – С. 77–83.

11. Хандархаева М.С. Интенсификация процессов гальванохимического окисления токсичных органических загрязнителей: дис. ... канд. техн. наук. – Улан-Удэ, 2009. – 148 с.

12. Цыбикова Б.А. Синергизм действия ионов меди и железа при гальванохимическом окислении тиоцианатов пероксидом водорода // Вестник Бурятского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 156–162.

13. Чантурия В.А., Соложенкин П.М. Гальванохимические методы очистки техногенных вод: Теория и практика. – М.: ИКЦ «Академкнига». 2005. – 204 с.

References

1. Batoeva A.A., Sizyh M.R., Rjazancev A.A., Handarhaeva M.S., Aseev D.G. Zhurnal prikladnoj himii – Journal of Applied Chemistry, 2007, t. 80, no. 8, pp. 1326–1329.

2. Batoeva A.A. M.R. Sizyh, A.A. Rjazancev, T.G. Oshorova. Jekologija i promyshlennost' Rossii. – Ecology and Industry of Russia, 2006, no. 5, pp. 14–15.

3. Konichev M.A. Doochistka gorodskih stochnyh vod ot fosfatov metodom gal'vanokoagulyacii [Tertiary treatment of municipal wastewater from phosphate by galvanochemical method]. Moscow, 2001. 144 p.

4. Malyshev V.V., Vishnjakov I.A., Litvinov V.A., Dzhanjanc A.V. Sposob ochistki promyshlennyh stochnyh vod [Method of treating industrial wastewater]. Patent RF no. 2161137. 2000.

5. Popov V.G., Dinmukhametova L.S., Tyagunova V.G., Poyarkova E.V. Fundamentalnye issledovaniya. – Fundamental research, 2015, no. 2–24, pp. 5357–5361.

6. Rjazancev A.A., Batoeva A.A., Zhalsanova D.B. Sposob ochistki stochnyh vod ot primesej [A method for purifying waste water from impurities] Patent RF no. 2135419. 1999.

7. Sizyh M.R., Batoeva A.A., Timofeeva S.S. Vodopabzhenie i sanitarnaja tehnika – Water supply and sanitary engineering, 2013, no. 3, pp. 22.

8. Sychev A.Ja., Travin S.O., Duka G.G., Skuratov Ju.I. Kataliticheskie reakcii i ohrana okruzhajushhej sredy [Catalytic reactions and environmental protection]. Kishinev: «Shtiinca», 1983. 283 p.

9. Feofanov V.A., Davydov G.I., Chiljaeva L.I. Ochistka stochnyh vod metodom gal'vanokoagulyacii [Wastewater treatment by galvanochemical method]. Alma-Ata: «Kazmehano», 1991. 53 p.

10. Халтурина Т.И., Д.Ф. Хакимов, О.В. Чурбакова. Izvestija vuzov. Serija «Stroitelstvo» Proceedings of the universities. A series of «Construction», 2012, no. 1, pp. 77–83.

11. Handarhaeva M.S. Intensifikacija processov gal'vanohimicheskogo okislenija toksichnyh organicheskikh zagryzajutelej [Intensification of galvanochemical oxidation of toxic organic pollutants]. Ulan-Udje, 2009. 148 p.

12. Cybikova B.A. Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of the Buryat State University, 2013, no. 3, pp. 156–162.

13. Chanturija V.A., Solozhenkin P.M. Galvanohimicheskie metody ochistki tehnogennyh vod: Teorija i praktika [Galvanochemical man-made water purification methods: Theory and Practice]. M.: IKC «Akademkniga». 2005. 204 p.

Рецензенты:

Кушнаренко В.М., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией «Надежность», Технопарк, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург;

Кузеев И.Р., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа.