



**Департамент образования Белгородской области**

**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение –  
лицей №10 г. Белгорода**

## **Очистка фосфатсодержащих растворов шлаком ОЭМК**

**Авторы:**

Глушкова Мария Игоревна,  
ученица 10 класса МБОУ - лицей №10 г.  
Белгорода

Горлова Виктория Сергеевна,  
ученица 11 класса МБОУ - лицей №10 г.  
Белгорода

**Руководитель:**

Свергузова Светлана Васильевна,  
зав. кафедрой промышленной экологии,  
профессор, доктор технических наук  
Андрейченко Светлана Александровна,  
учитель биологии  
МБОУ – лицей № 10 г. Белгорода

**г. Белгород 2015**

**Оглавление**

Введение	стр.3
1. Литературный обзор	стр.4-7
1.1 Очистка вод от фосфатов	стр.4-6
1.2. Выбор способа очистки воды от фосфатов	стр. 7
2. Экспериментальная часть	стр. 8- 13
2.1. Исследование физико-химических свойств шлака	стр.8-9
2.2. Исследование параметров процесса очистки	стр.9-12
2.2.1. Построение калибровочного графика	стр.9-10
2.2.2. Исследование влияние массы добавляемого шлака на эффективность очистки	стр.10-11
2.2.3. Исследование влияния длительности перемешивания на эффективность очистки	стр.11
2.2.4. Исследование зависимости эффективности очистки от температуры раствора	стр.12
2.3. Предполагаемый механизм очистки	стр.12-13
3. Заключение	стр.14
4. Приложение	стр.15-20
5. Список литературы	стр.21-22

## Введение

Современный этап развития цивилизации в большинстве стран мира привел к резкому возрастанию количества различных отходов антропогенного характера и массовому загрязнению поверхностных и подземных вод. Особого внимания заслуживает проблема очистки и доочистки городских сточных вод от биогенных компонентов - соединений углерода, азота и фосфора, способствующих эвтрофикации водоемов [1].

Фосфаты содержатся в сточных водах промышленных предприятий, специализирующихся на производстве удобрений, фосфорной кислоты и ее солей, поверхностно - активных веществ; они присутствуют в бытовых сточных водах и водах после банно-прачечных комплексов и др. Поэтому соединения фосфатов становятся важнейшим фактором загрязнения речных и озерных рек при ненормативной работе очистных сооружений.

Длительное потребление человеком пищи и воды, богатой фосфатами, приводит к накоплению и отложению фосфора в тканях и скелете организма, что вызывает заболевание желудочно-кишечного тракта, центральной нервной системы, зубов и костей. Особенно чувствителен к действию фосфатов организм женщин и детей.

Не смотря на большое количество технологий очистки сточных вод от фосфатов, поиск недорогих и эффективных способов, основанных на использовании отходов местной промышленности, является актуальной задачей.

Целью работы является разработка способа очистки фосфатсодержащих водных сред при помощи отхода электросталеплавильного производства – шлака ОАО Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК).

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать физико-химические свойства шлака ОЭМК.
2. Изучить влияние различных факторов на эффективность очистки.
3. Разработать оптимальные условия процесса очистки фосфатсодержащих вод с помощью шлака ОЭМК.

## 1. Литературный обзор

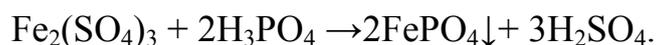
### 1.1. Очистка вод от фосфатов

Высокий уровень загрязнения российских водоемов биогенными элементами не позволяет рассчитывать на процессы самоочищения, поэтому при утверждении проектов вновь строящихся очистных сооружений и на действующих станциях очистки к сбрасываемым сточным водам предъявляются требования, как правило, на уровне ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения. Большинство действующих в России сооружений очистки городских стоков основано на применении традиционной биотехнологии, дающей низкий съем фосфатов (до 20–30%) и не обеспечивающей эффективного удаления нитратов, образующихся в ходе нитрификации. В результате на многих объектах российские нормативы сброса азота и фосфора не выполняются. Наиболее остро стоит проблема обеспечения нормативов по сбросу фосфора [5].

Выбор способа очистки сточных вод зависит от концентрации и вида загрязнителей, содержащихся в сточных водах, расходов сточных вод, нормативных требований, предъявляемых к очищенным сточным водам, технико-экономических показателей и других факторов.

Существующие в наше время способы очистки можно разделить на реагентные, биохимические, электрохимические, мембранные, комбинированные, сорбционные [6].

Механизм химического осаждения фосфатов состоит в образовании нерастворимых металфосфатов при взаимодействии фосфатов с солями металлов (Fe, Al, Mg, Ca), например:



Принцип биологической очистки от фосфора (биологической дефосфотации) состоит в создании условий для развития в составе активного ила фосфорнакапливающих или протце «фосфорных» бактерий (Р-бактерий). Для

этого в системе биологической очистки выделяют анаэробные и аэробные зоны, которые поочередно проходит активный ил (рис. 1).

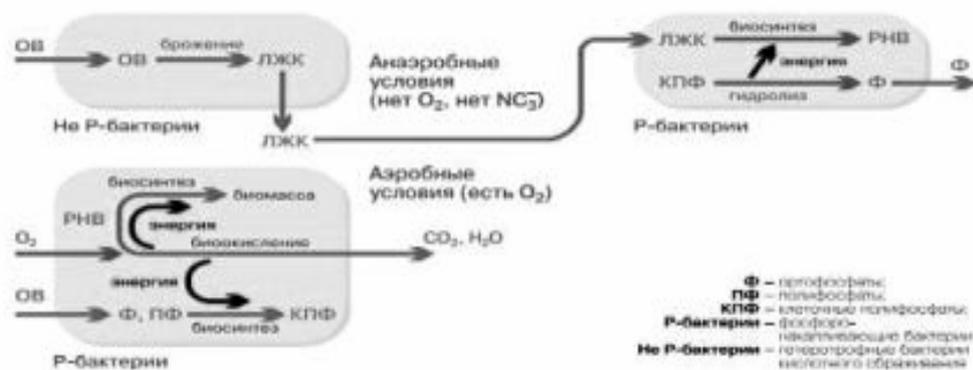


Рис. 1. Система биологической очистки от фосфатов

В аэробных условиях фосфорные бактерии поглощают из сточной воды много фосфора в виде полифосфатов и ортофосфатов. В своих клетках они накапливают фосфор в количестве до 20% от сухого вещества биомассы. Фосфор откладывается в клетках в виде гранул полифосфатов, которые служат источником энергии. Энергия выделяется при гидролизе клеточных полифосфатов до ортофосфатов. Эта энергия используется фосфорными бактериями в анаэробных условиях для потребления летучих жирных кислот (ЛЖК) и синтеза из них поли-β-гидроксибутирата (РНВ). В аэробных условиях РНВ используется на синтез биомассы, т.е. идет рост и размножение фосфорных бактерий. Параллельно происходит потребление из воды фосфатов, из которых синтезируются полифосфаты, запасаемые в клетках фосфорных бактерий. Важно подчеркнуть, что, потребляя из воды и полифосфаты и ортофосфаты, фосфорные бактерии выделяются в воду только ортофосфаты.

В случае необходимости, технология биологической дефосфатизации может быть дополнена химическим осаждением фосфатов с подачей реагентов перед вторичными отстойниками и к иловым водам, образующимся на стадии обработки осадка [5].

Согласно литературным данным для очистки от фосфатов применяются, в основном, химические методы. Чаще всего используются такие реагенты, как известь, соли алюминия и железа [7].

Физико-химические методы удаления фосфатов из сточных вод основаны, как правило, на использовании реагентов - традиционных минеральных коагулянтов (солей алюминия, железа или извести), можно также использовать отходы производств, содержащие соли железа или алюминия и нетоксичные для биологического процесса. При введении реагентов на ступени механической очистки сточных вод, одновременно имеет место значительное снижение концентрации органических и других загрязняющих веществ, поэтому предварительное осаждение фосфатов целесообразно применять для очистки производственных и смеси городских и производственных сточных вод с величиной БПК<sub>п</sub> более 400мг/дм<sup>3</sup>, а также при перегрузке сооружений очистки стоков. Реагенты можно вводить в сооружения биологической очистки сточных вод [8].

## 1.2. Выбор способа очистки воды от фосфатов

Анализируя действующие на сегодняшний день на территории России нормативные документы, можно сделать однозначный вывод о невозможности достижения современных требований в случае применения традиционных технологий и очистных сооружений, в частности аэротенков и биофильтров.

В последнее время круг сорбентов для извлечения загрязняющих веществ из водной среды постоянно расширяется. Однако поиск новых эффективных сорбционных и реагентных материалов по-прежнему является важной и актуальной задачей. По результатам исследований установлено [9, 10], что в промышленных условиях для очистки сточных вод от различных загрязняющих веществ используют отходы производства и природные пористые материалы: золу, металлургический шлак, шлакосодержащие композиции, кокс, торф, полукокс, силикагели, алюмогели, активные глины и т.д.

Несмотря на большое количество способов очистки сточных вод от загрязняющих компонентов вопрос охраны водных объектов от загрязнений по-прежнему остается актуальным. Должны исследоваться вопросы, направленные на удешевление сорбционных процессов, поиску новых методов применения дешевых сорбентов с использованием местного сырья.

С нашей точки зрения одним из перспективных может быть способ очистки вод от фосфатов с использованием отходов местной промышленности. К таким отходам относятся и шлаки ОАО «ОЭМК». Одним из видов образующегося на комбинате отходов является шлак после обработки металла на агрегате комплексной обработки стали (АКОС), образование которого достигает 4 т/сутки. Шлак обладает относительно высокой степенью дисперсности и, как следствие, большой площадью удельной поверхности, а также относительно высоким содержанием в шлаке оксидов кальция и магния - до 56 и 10% соответственно. Из этого следует, что при очистке воды от фосфатов с помощью шлака последний может выступать в двойственной роли: как сорбент и как реагент.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Исследование физико-химических свойств шлака

Водную вытяжку готовили путем 5-минутного кипячения 5 г тонкоразмолотого шлака в 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды с обратным холодильником с последующим охлаждением и фильтрованием суспензии через бумажный фильтр (тип «белая лента»).

Физико-химические характеристики шлака, такие как: влажность, рН водной вытяжки, насыпная плотность, определяли по методикам, изложенным в п. 2.2. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические характеристики шлака ОЭМК

Характеристика	Размерность	Значения
Влажность	%	0,05
рН водной вытяжки	-	11,85
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1205

Гранулометрический состав шлака (табл. 2) определяли при помощи ситового анализа (п. 2.2.).

Таблица 2

Результаты ситового анализа шлака

Размер ячейки, мм	1,4	1,0	0,63	0,31 5	0,25	0,1	0,08	0,063	< 0,063
Остаток на сите, %	16,2	9,0	8,0	13,6	3,0	10,5	1,9	1,8	36,0

По данным лаборатории ОЭМК, в состав шлака входят следующие оксиды: CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

По результатам рентгенофазового анализа (рис. 2) в состав шлака входят:  $\gamma$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  – двухкальциевый силикат,  $d(\text{Å}) = 5,61; 4,17; 4,06; 3,818; 3,76; 3,379; 3,289; 3,012; 2,895; 2,805; 2,75; 2,729; 2,590; 2,540; 2,477; 2,326; 2,248; 2,189; 2,025; 1,9636; 1,9085; 1,8825; 1,8135; 1,8032; 1,8020; 1,7540; 1,6893; 1,6356; 1,616; 1,574; 1,527; 1,501; 1,471$ ;  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – портландит,  $d(\text{Å}) = 4,938; 3,12; 2,63; 1,93; 1,79; 1,69; 1,55; 1,48; 1,45$ ;  $\text{MgO}$  – периклаз,  $d(\text{Å}) = 2,43; 2,108; 1,485$ ;  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  – трехкальциевый алюминат,  $d(\text{Å}) = 6,83; 5,09; 4,604; 4,080; 3,816; 3,705; 3,332; 2,83; 2,78; 2,431; 2,277; 2,040; 1,955; 1,910; 1,566$ ;  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  – однокальциевый алюминат,  $d(\text{Å}) = 5,54; 4,66; 3,71; 3,29; 2,98; 2,85; 2,53; 2,43; 2,33; 2,20; 2,10; 2,01; 1,921; 1,585$ ;  $\text{CaCO}_3$  – кальцит,  $d(\text{Å}) = 3,849; 3,038; 2,49; 2,285; 2,095; 1,91; 1,875$ ;  $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  – мервинит,  $d(\text{Å}) = 2,84; 2,74; 2,68; 2,41; 2,30; 2,20; 2,16; 2,03; 1,90; 1,87; 1,57; 1,53$ ;  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$  – ранкинит,  $d(\text{Å}) = 4,39; 4,04; 3,76; 3,15; 2,97; 2,675; 2,47; 1,90; 1,80; 1,62$ ;  $\text{FeO}$  – вюстит,  $d(\text{Å}) = 2,47; 2,140; 1,51$ .

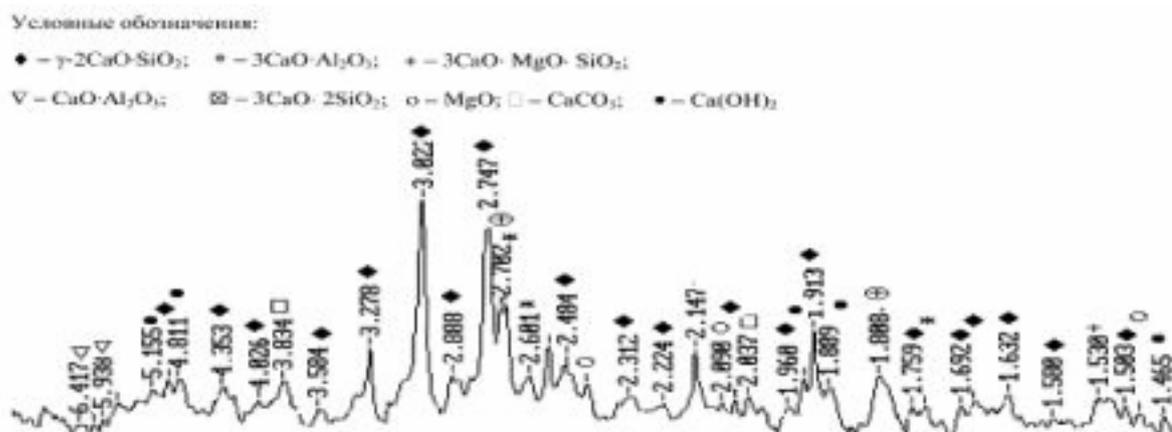


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ шлака электросталеплавильного производства

## 2.2. Исследование параметров процесса очистки

### 2.2.1. Построение калибровочного графика

Для построение калибровочного графика (рис. 3) были приготовлены растворы с концентрациями: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 мг/л. Далее измерялась оптическая плотность растворов по методике, указанной в п. 2.2. Для измерений

использовали фотометр фотоэлектрический КФК-3-«30МЗ»;  $\lambda=720$  нм, кювета 30 мм, колба  $V=50$  мл.

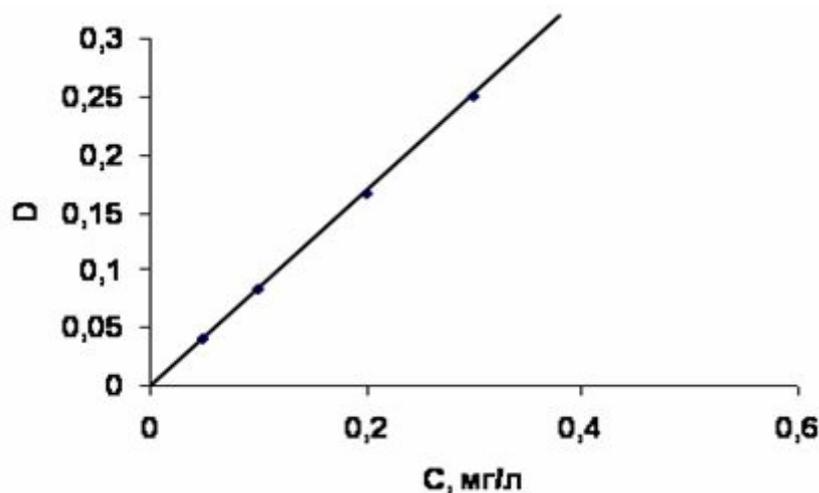


Рис. 3. Калибровочный график для определения концентрации фосфатов в модельных растворах

Нами были проведены исследования с целью определения параметров, влияющих на степень очистки фосфатсодержащих растворов шлаком.

### 2.2.2. Исследование влияние массы добавляемого шлака на эффективность очистки

При проведении исследования влияния эффективности очистки от количества добавки шлака исходная концентрация раствора составляла 46,8 мг/л, время перемешивания 10 мин,  $V_{\text{раствора}} = 100$  мл,  $t^{\circ}$  окружающей среды - 20 °С. После перемешивания суспензию фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента». В фильтрате определяли остаточную концентрацию фосфат-ионов.

Полученные данные показали (рис. 4), что оптимальным количеством добавляемого шлака будет 2 г на 100 мл раствора. Эффективность очистки при этом достигает 74 %. В дальнейшем улучшение качества очистки незначительно, а, значит, увеличение добавки шлака не целесообразно.

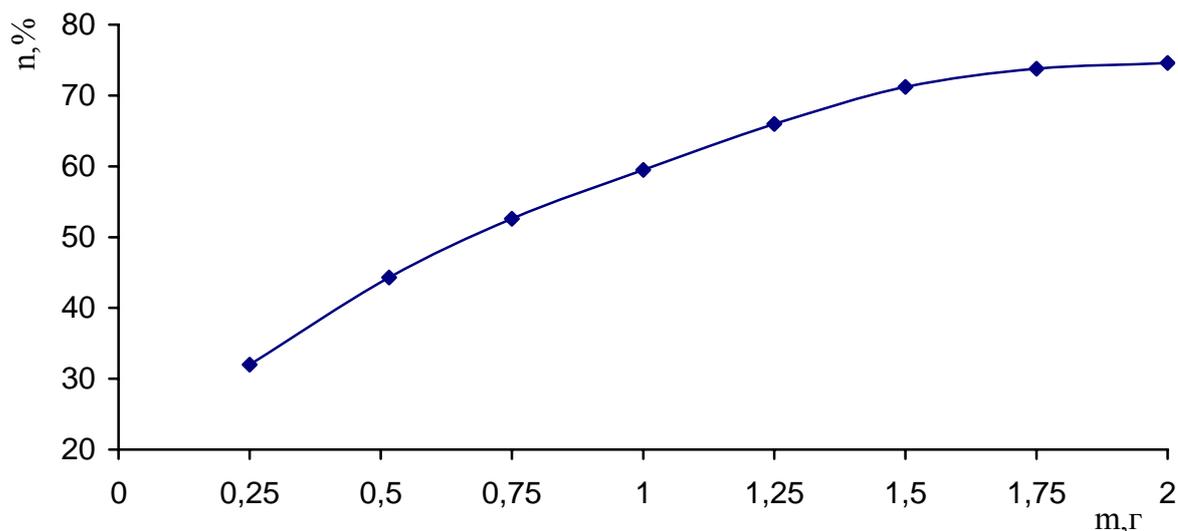


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки от массы добавляемого шлака

### 2.2.3. Исследование влияния длительности перемешивания на эффективность очистки

Были изучены зависимости степени очистки модельных растворов от времени перемешивания модельных растворов (рис. 4). Исходная концентрация составляла 46,8 мг/л, температура среды 20 °С, масса добавки 1 г, объем раствора 100 мл.

Как видно из рис. 5, эффективность достигает 82% (масса шлака 2 г/100 мл), т.о., из результатов исследования следует, что при достаточной массе добавляемого шлака процесс очистки заканчивается примерно за 15-20 минут.

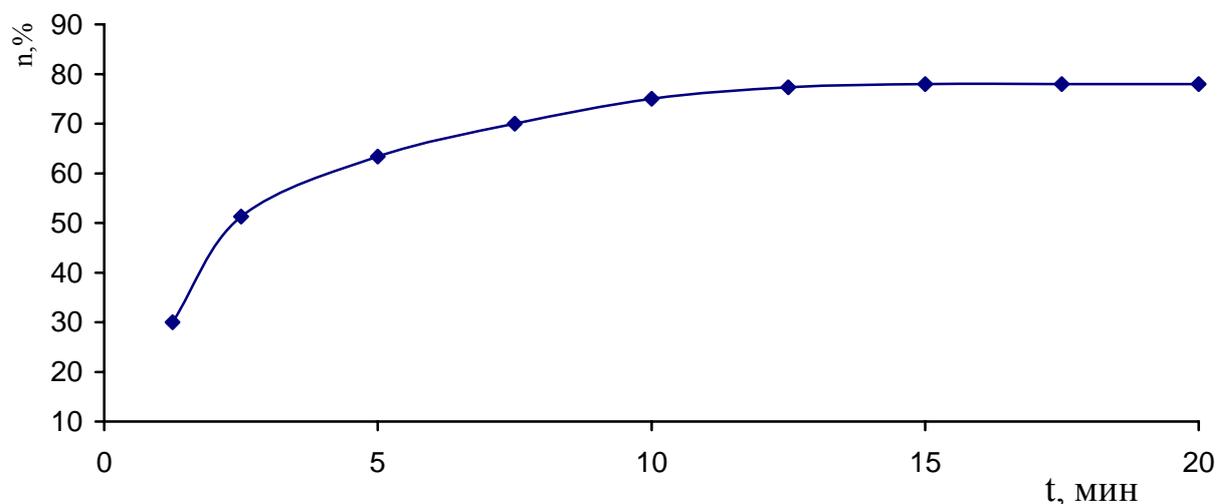


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки  $n$  (%) модельного раствора (Снач = 46,8 мг/л) шлаком от времени очистки

#### 2.2.4. Исследование зависимости эффективности очистки от температуры раствора

При исследовании зависимости эффективности очистки от температуры раствора исходные данные составляли: масса навески - 1 г, время перемешивания – 15 мин, объем раствора 100 мл, исходная концентрация раствора 35 мг/л. (рис. 6)

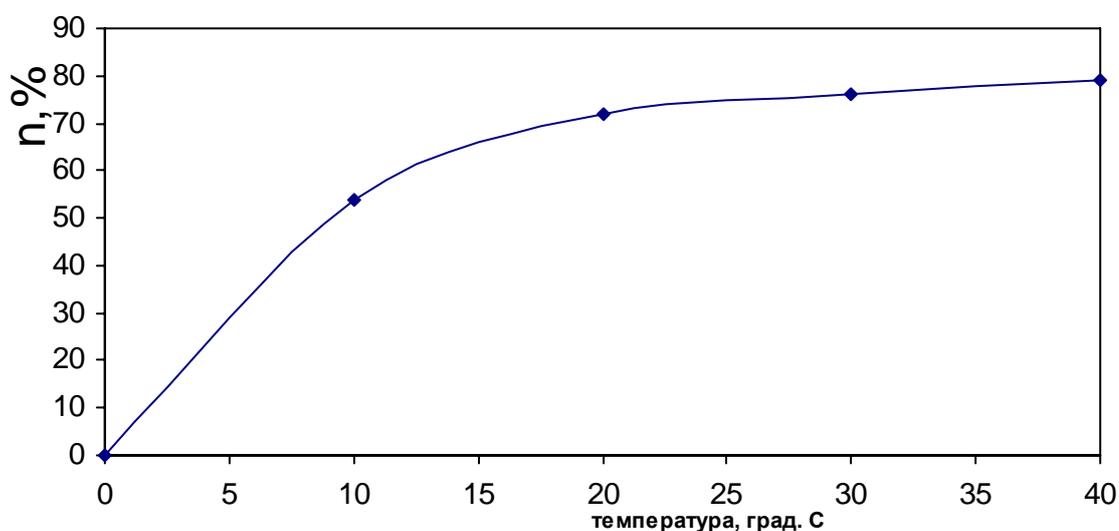
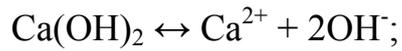
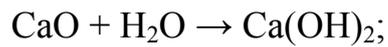


Рис. 6. Зависимость эффективности очистки модельных фосфатсодержащих растворов от температуры среды

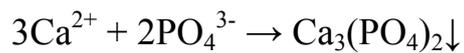
Результаты показали, что при температуре 20 °С эффективность очистки составляет 71%, и в дальнейшем возрастает незначительно, следовательно оптимальным температурным очисткой модельных растворов будет диапазон 20-30 °С.

#### 2.3. Предполагаемый механизм очистки

В связи с тем, что в состав шлака входит оксид кальция (CaO) и силикаты различных металлов (например,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), то при добавлении шлака в водную среду возможно протекание процессов растворения и диссоциации этих веществ:



Ионы кальция в растворе взаимодействуют с ионами  $\text{PO}_4^{3-}$ , образуя малорастворимый осадок  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , который легко удалить из раствора отстаиванием или фильтрованием:



### **Заключение**

Исследованы физико-химические свойства шлака ОЭМК, такие как влажность, рН водной вытяжки, насыпная плотность, химический состав.

Изучены зависимости эффективности водоочистки от массы навески шлака, времени перемешивания, температуры окружающей среды.

Установлено, что наилучшими условиями очистки модельных растворов от фосфатов являются: температура раствора – 20-30 °С, время перемешивания - 15-20 минут, масса навески 2 г.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### I. Источники поступления и влияние фосфатов на водные объекты

В последнее время широкое применение получили различные фосфорсодержащие сельскохозяйственные удобрения, моющие средства и строительные материалы.

Помимо основного ингредиента (ПАВ), с моющими средствами в источники водоснабжения поступают конденсированные фосфаты: пир о- и трифосфаты. Например, в природные воды Калифорнии 20—40% общего фосфора попадает с синтетическими детергентами [2].

Возрастает опасность попадания их в почву и водоемы, что представляет определенную угрозу для биологических объектов. Избыточное поступление в водоем соединений, содержащих фосфор, нарушает их естественный круговорот и становится причиной его ускоренного эвтрофирования. Фосфор входит не только в состав синтетических моющих средств, но и инсектицидов, например, хлорофоса, фосфолана, дихлофоса и др. Кроме того, для нужд сельского хозяйства производятся кормовые фосфатсодержащие добавки. Сточные воды таких предприятий содержат большое количество анионов:  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7^-$ ,  $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$  и др., обладающих повышенной биологической активностью и способствующих зарастанию водоемов растительностью. Кроме того, просачивание в почву и скопление вод, содержащих фосфаты, может привести к активации токсичных продуктов в грунтовых водах. Уже 10 мг фосфатов в 1 м<sup>3</sup> приводят к заметному росту растительности, вызывая зарастание планктоном [3, 4]. Установлены следующие ПДК фосфат - ионов в воде: ПДКв - 3,5 мг/л, ПДКвр - 0,2 мг/л.

Присутствующие в воде избыточные количества фосфатов и других активных веществ способны активизировать токсичные вещества, адсорбированные на донных осадках. При высоких значениях pH фосфаты выпадают в виде

солей кальция и железа, что снижает эффект зарастания водоемов. Однако при создании в воде анаэробной среды и росте содержания восстановителей в результате процессов брожения выпавший в осадок  $\text{FePO}_4$  восстанавливается до  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ , после чего зарастание водоемов вновь усиливается [3]. На рис. 1 представлены источники поступления фосфатов в водные объекты.



Рис. 1. Источники поступления фосфатов в водные объекты.

В последние годы учеными установлено, что бурное развитие фитопланктона в результате эвтрофикации водоемов под воздействием повышенного содержания в воде фосфатов способствует развитию и накоплению в фитопланктоне особо опасных токсикантов - микотоксинов (в результате массового развития водорослей, выделяющих токсины). Токсины фитопланктона попадают в организм человека по трофическим цепям питания. Массовый рост водорослей происходит не только в пресных водоемах, но и в морях и океанах. Образование

фитопланктона как в пресной, так и соленой воде идет за счет различных видов водорослей (табл. 1) [4].

Таблица 1

## Некоторые виды фитопланктона, образующие токсины

№ п/п	Планктон и область распространения	Токсин	Действие
1	Суанорфусеае, <i>Microcystis aeruginosa</i> (водоемы)	Микроцестин	Нейротоксическое
2	<i>Anabena flos-aquae</i> (водоемы)	Анатоксин А	Нейротоксическое
3	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (водоемы)	Сакситоксин	Нейротоксическое
4	<i>Lyngbya gracilis</i> (море)	Дибромоеплизи- токсин	Дерматит
5	Дунофусеа, <i>Gonyaulax catenella</i> (море)	Сакситоксин	Нейротоксическое
6	<i>Gonyaulax tamarensis</i> (море)	Сакситоксин, гониаутоксин	Нейротоксическое
7	<i>Gambuerdiscus toxicus</i> (море)	Сигуатера	Нейротоксическое
8	Наптоофусеа, <i>Prymnesium parvum</i> (засоленная вода)	Примнезин	Нейротоксическое

Токсины фитопланктона вызывают у человека и животных нервно - мышечные нарушения, затруднение дыхания и повреждение печени. С биохимической точки зрения эти вещества блокируют передачу нервных сигналов.

## II. Объекты и методы исследований

### Объекты исследований.

Объектами исследований являлись шлак ОЭМК и модельные фосфатсодержащие растворы.

### Методы исследований

**Гранулометрический состав** исследовался методом ситового анализа. Для этого используют набор сит с различными размерами ячеек. Под размерами сита (ячеек) понимают расстояние между проволоками сетки сита.

**Влажность материала (%)** определяли по разнице масс исходного образца (его масса  $\approx 1$  г) и высушенного при  $100^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч до постоянного веса.

**pH водной вытяжки** определяли после 3-минутного кипячения 5 г тонкоразмолотой пыли дефеката в  $50\text{ см}^3$  дистиллированной воды с обратным холодильником с последующим охлаждением и фильтрованием суспензии через бумажный фильтр (тип «синяя лента») на pH-метре типа pH-150M

### Определение насыпной плотности

Пробу, высушенную до постоянного веса при  $110^{\circ}\text{C}$ , всыпали порциями по  $20\text{ см}^3$  в цилиндр на  $100\text{ см}^3$  ( $H = 240\text{ мм}$ ). Цилиндр постукивали дном о деревянный диск в течение 0,5 мин в наклонном положении, затем взвешивали с точностью до 50 мг.

Насыпную плотность,  $\text{г}/\text{см}^3$ , по результатам трех измерений рассчитывали по формуле

$$\rho = m/v,$$

где  $m$  – масса пыли, г, занявшая объем  $v$ ,  $\text{см}^3$

В работе исследовали влияние на эффективность очистки таких факторов как: масса добавленного шлака, длительность перемешивания и температура водной среды.

**Модельные растворы** готовились путем растворения соли  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  в дистиллированной воде.

**Эффективность очистки** рассчитывали по формуле

$$Y = \frac{C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{нач}}} \cdot 100\%$$

где  $Y$  – степень очистки раствора, %;  $C$  – концентрации загрязняющих веществ в растворе, мг/л.

**Методика проведения эксперимента:** в колбу вместимостью 250 мл вносили 100 мл модельного раствора, затем добавляли навеску шлака. Содержимое колбы встряхивали в течение заданного времени, после чего фильтровали, после чего в фильтрате определяли содержание фосфатов.

Концентрацию фосфатов в воде определяли фотоколориметрическим способом. Калибровочный график строили по следующей методике: В пробирки с завинчивающимися пробками последовательно приливают 0,4, 1,0, 2,5, 5,0 см<sup>3</sup> рабочего раствора с концентрацией фосфатов 1 мг/дм<sup>3</sup> и 1,0, 1,5, 2,0 см<sup>3</sup> рабочего раствора (I) с концентрацией фосфатов 10 мг/дм<sup>3</sup>. В каждую пробирку прибавляют дистиллированную воду до объёма 9,00 см<sup>3</sup> - т.е. 8,6, 8,0, 6,5, 4,0 и 8,0, 7,5, 7,0 см<sup>3</sup> соответственно. Далее в пробирки прибавляют по 0,5 см<sup>3</sup> смешанного молибденово-кислого реактива. Не ранее чем через 2 минуты прибавляют 0,5 см<sup>3</sup> раствора аскорбиновой кислоты, закрывают пробирку завинчивающейся пробкой и перемешивают.

Через 15 - 20 минут измеряют оптическую плотность градуировочных растворов относительно холостой пробы при длине волны 880 - 890 нм:

В качестве холостой пробы используют дистиллированную воду с добавлением всех реактивов.

Концентрации ортофосфатов в растворах при установлении градуировочной характеристики равны соответственно: 0,04 - 0,10 - 0,25 - 0,50 - 1,00 - 1,50 - 2,00 мг/дм<sup>3</sup>.

По результатам измерений строят градуировочный график зависимости значения оптической плотности (ед. абс.) от концентрации ортофосфат ионов (мг/дм<sup>3</sup>)

Определение содержания фосфатов в модельных растворах:

9,0 см<sup>3</sup> отфильтрованной пробы (или, при содержании ортофосфатов свыше 2,0 мг/дм<sup>3</sup> PO<sub>4</sub>, меньший её объём разбавленный до 9,0 см<sup>3</sup>) наливают в пробирку с завинчивающейся пробкой, прибавляют 0,5 см<sup>3</sup> смешанного молибденово-кислого реактива и оставляют не менее чем на 2 минуты. Далее прибавляют 0,5 см<sup>3</sup> раствора аскорбиновой кислоты, закрывают пробирку завинчивающейся пробкой и перемешивают.

Через 15 - 20 минут проводят измерение оптической плотности (концентрации, мг/дм<sup>3</sup>) анализируемой пробы относительно холостой пробы при длине волны 880 - 890 нм.

В качестве холостой пробы используют дистиллированную воду, проведенную через весь ход анализа [13].

### Список литературы

1. Диссертации о Земле [Электронный ресурс]: <http://earthpapers.net/doochistka-gorodskih-stochnyh-vod-ot-fosfatov-metodom-galvanokoagulyatsii#ixzz2oEdThtKv>.
2. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М.: "Наука". 1977. 356 с.
3. Бреховский В.Ф. Гашкина Н.А. Фосфор в донных отложениях Иваньковского водохранилища // "Вода: экология и технология" ЭКВАТЭК – 2000: тезисы докл. четв. Междунар. конгресса. – М.: ЗАО "Фирма СИБИКО Интернэшнл". 2000. С. 35.
4. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. М.: Мир. 1987. 232 с.
5. Методы очистки городских сточных вод от биогенных элементов [Электронный ресурс] <http://www.c-o-k.ru/articles/metody-ochistki-gorodskih-stochnyh-vod-ot-biogennyh-elementov>.
6. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод: Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1977. 208 с.
7. Галанцева Л.Ф. Снижение содержания фосфатов в сточных водах городских очистных сооружений на примере работы очистных сооружений г. Чистополя: автореф. Дис. кан. хим. наук. Казань, 2012.
8. Дефосфотизация биологически очищенных сточных вод [Электронный ресурс] [http://www.mediana-eco.ru/information/stoki\\_biological/fosfor/](http://www.mediana-eco.ru/information/stoki_biological/fosfor/).
9. Соболев Л.Д. Шлаки – ценное сырье. Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1988. – 64 с.
10. Химия промышленных сточных вод. под ред. А. Рубина. Пер. с англ. М.: Химия, 1983. – 360 с.
11. Кировская И.А. Коллоидная химия. Омск: ОмГТУ, 2006. 200с.

12. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335с.

13. ПНД Ф 14.1;4.248-07 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора