

Таблица 2 - Результаты вегетационных испытаний модельных смесей

Соотношение торф:зола, %	Количество всходов, шт	Масса вегетативной части, г
100:0	127	0,931
70:30	123	0,6711
50:50	151	0,9699
30:70	163	1,1363
0:100	72	0,3508

Исходя из данных табл. 2 видно, что оптимальный интервал соотношений торф:зола при разработке мелиоративных материалов от 50:50 до 30:70. При разработке состава мелиоранта следует принимать во внимание особенности используемых травосмесей при последующем озеленении. В некоторых случаях введения торфа в качестве раскислителя недостаточно, и требует дополнительного введения материала-раскислителя.

Полученные данные положены в основу разработки нормативно-технической документации на мелиорант почв торфо-зольный технический. Проведены токсиколого-гигиенические испытания разработанного материала показавшие, что он относится к IV классу опасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лиштван, И.И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван, Н.Т. Король. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
2. Использование торфяной золы при получении мелиоративных препаратов Янута Ю.Г., Абрамец А.М., Першай Н.С. / Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч-техн. конф. в 2 томах, Том 2, Минск, 26 - 28 ноября 2014 г. / Мин-во образования Республики Беларусь, УО «Белорус. гос. технол. ун-т»; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск: БГТУ, 2014.– С. 369-372.

УДК 628.316.12:661.183.6

Е.Г. Сапон, асп., sapon@belstu.by
В.Н. Марцуль, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

МЕХАНИЗМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОСФАТОВ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫМ ШЛАКОМ

Одним из вариантов ограничения поступления фосфатов в водные объекты является очистка сточных вод с применением сорбционных материалов с высоким потенциалом удаления фосфора (ПУФ). По

классификации предложенной Кукареллой и Ренманом за высокое и очень высокое значение ПУФ принята сорбционная емкость более 1 мгР/г и 10 мгР/г соответственно [1]. Материалы должны обладать следующими свойствами: быть доступными и недорогими, и обеспечивать фиксацию фосфора в биологически доступной форме. Исследования по использованию сорбционных материалов для очистки сточных вод от фосфатов проводятся начиная с 70-х годов прошлого столетия, к настоящему времени исследовано более тридцати видов материалов [1].

Невысокие капитальные и эксплуатационные затраты делают использование фильтрования сточных вод через слой сорбента весьма привлекательным для малых и локальных очистных сооружений, обслуживающих частные дома, гостиницы, базы отдыха, малые населенные пункты, производительность которых в пересчете на эквивалентное население не превышает 2000.

Среди испытанных в лабораторных и производственных условиях материалов с высоким ПУФ наиболее количество кальцийсодержащих, обеспечивающих эффективное удаление фосфатов при значении $pH > 7$ [2]. К ним относится электросталеплавильный шлак (ЭШ) – крупнотоннажный отход металлургического производства, образующимся при выплавке стали в электродуговых сталеплавильных печах. По химическому составу ЭШ представляет собой многофазный минерально-сырьевой материал, состоящий из оксидов кальция, магния, железа, алюминия, марганца и кремния [3]. Особенностью ЭШ является то, что его физико-химические и минералогические свойства сильно зависят от условий производства. Традиционно он применяется в дорожном строительстве и производстве строительных материалов [3].

Обоснование и выбор оптимальных технологических параметров применения ЭШ для очистки сточных вод должны основываться на глубоком понимании особенностей механизма, лежащего в основе удаления фосфатов. ЭШ нельзя в полной мере характеризовать как сорбент, обеспечивающий с определенным набором характерных для этих материалов свойств (пористость, сорбционная емкость), информация о которых позволяет выбирать оборудование и условия проведения процесса очистки. Механизм извлечения фосфатов ЭШ достаточно сложен и не укладывается в рамки обычной сорбции. Предполагается, что удаление фосфатов шлаком может протекать несколькими путями. Фосфаты могут адсорбироваться гидроксидами металлов на поверхности шлака в результате хемосорбции. Помимо этого, кальций, содержащийся в составе шлака, способен переходить в раствор и

образовывать с фосфатами труднорастворимые соединения, которые задерживаются в слое загрузки. В результате химических реакций могут образовываться гидроксилapatит ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), трикальций-фосфат ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), октакальцийфосфат ($\text{Ca}_8(\text{PO}_4)_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$), и брушит $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [2].

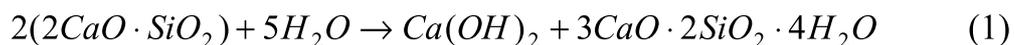
Цель данной работы – определить основной механизм удаления фосфатов ЭШ.

В качестве объекта исследования использовали ЭШ фракцией 5-10 мм, которая, по мнению авторов [1, 4], наиболее пригодна для загрузки фильтров. Шлак для исследований был любезно предоставлен производственным унитарным предприятием «БМЗ-Экосервис».

Количественная характеристика состава водной фазы, контактировавшей со шлаком, позволяет судить о процессах, протекающих в результате данного контакта. Определив изменения концентраций фосфатов и кальция, можно оценить в какой степени преобладает тот или иной механизм удаления фосфатов. В таблице 1 представлены характеристики растворов фосфатов, исходной дистиллированной воды и воды, взаимодействовавшей со шлаком. Концентрацию кальция определяли титрованием ЭДТА, фосфаты – фотометрией с молибдатом аммония, рН – потенциометрией, проводимость – кондуктометром Thermo Scientific Orion Star A112.

Снижение концентрации фосфатов в растворе непосредственно контактирующим с ЭШ составило 42,7%, соответствующий этому ПУФ – 0,36 мг/г. В тоже время, вымачивание ЭШ в дистиллированной воде привело к увеличению степени очистки до 60,9%, и росту ПУФ до 0,5 мг Р/г. Отметим также, что в этом случае наблюдается снижение в концентрации растворенного кальция. Это может свидетельствовать о том, что именно кальций, перешедший в раствор, играет ключевую роль в удалении фосфатов.

Как видно из данных таблицы 1, при контакте шлака с дистиллированной водой, солесодержание, характеризуемое проводимостью, возрастает более чем в 10 раз. Растет концентрация кальция и одновременно рН – это объясняется гидратацией и растворением компонентов ЭШ с поверхности. Химические реакции при гидратации шлака аналогичны тем, что лежат в основе гидратации силикатов кальция портландцемента, и описываются схемой (1):



Гидратация силикатов кальция приводит к образованию гидроксида кальция и соответственно повышению щелочности раствора. Растворенный в воде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вступает в химическую реакцию с фос-

фатами образуя малорастворимые соединения. Для того чтобы оценить, какая доля фосфатов может быть удалена в данном случае, в воду, контактировавшую с ЭШ, дозировали фосфаты. В результате образовывался осадок, который отфильтровывали на мембранном фильтре с размерами пор 0,2 мкм. В составе фильтрата зафиксирован рост содержания, связанный с добавлением раствора фосфатов. Вместе с тем в воде, наблюдалось снижение pH и количества растворенных фосфатов и кальция, что обусловлено образованием труднорастворимых соединений по уравнениям:

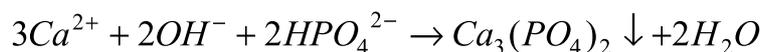
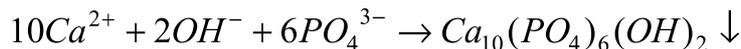


Таблица 1 – Характеристики состава жидкой фазы растворов контактирующих с ЭШ

Наименование	Проводимость, ppm NaCl	pH	Ca, ммоль-экв/дм ³	Фосфаты, мгР/л	Степень очистки от фосфатов, %
Раствор фосфатов	20 ± 4	5,3 ± 0,1	–	8,0 ± 0,2	–
Раствор фосфатов после контакта с ЭШ	80,6 ± 4,8	10,3 ± 0,06	14,3 ± 0,7	0,53 ± 0,11	93,2 ± 1,4
Дистиллированная вода	5 ± 2	5,1 ± 0,2	–	–	–
Дистиллированная вода после контакта с ЭШ	94,6 ± 4,6	10,62 ± 0,03	21 ± 1,92	–	–
Фильтрат после контакта с фосфатами	63,4 ± 3,3	9,6 ± 0,08	10,8 ± 0,7	2,47 ± 0,24	68,3 ± 3,1

Как указано выше, соотнеся степени очистки раствора фосфатов и фильтрата, после контакта с фосфатами, мы определим долю вносимую данным механизмом в общий ПУФ. Таким образом, доля химического осаждения в механизме составляет $(68,3/93,62) \cdot 100\% = 73,3\%$. Это позволяет сделать вывод о том, что в условиях эксперимента преобладающим механизмом удаления фосфатов является химическое осаждение. Полученные данные полностью подтверждают предположение о том, что ЭШ является источником гидроксида кальция, который в растворе способен образовывать труднорастворимые соединения с фосфатами [4].

Механизм включает последовательное протекание следующих стадии: переход в водную фазу ионов кальция в результате растворения (гидратации) компонентов ЭШ, химическое взаимодействие фос-

фатов с катионами кальция с образованием труднорастворимых соединений, образование зародышей твердой фазы, их агрегацию и осаждение.

Таким образом, установлено, что основным механизмом удаления фосфатов ЭШ является образование малорастворимых фосфатов кальция в жидкой фазе и их последующее осаждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cucarella, V., Renman, G., Phosphorus sorption capacity of filter materials used for on-site wastewater treatment determined in batch experiments. A comparative study. *Journal of Environmental Quality* 38 (2) (2009), P. 381-392.

2. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands - A review. C. Vohla, M. Kõiv, H. J. Bavor, F. Chazarenc, Ü. Mander *Ecological Engineering* 37 (2011) P. 70–89 doi:10.1016/j.ecoleng.2009.08.003

3. Панковец А. И., Мироевский С. В. Утилизация электросталеплавильных шлаков // *Литьё и металлургия*. – 2013. – №. 1 (69). – С. 26–27.

4. Phosphorus Saturation Potential: A Parameter for Estimating the Longevity of Constructed Wetland Systems. Drizo, A., Y. Comeau, C. Forget and R. Chapuis *Environmental Science and Technology* 36(21) (2002): P. 4642-4648.

УДК 628.161

Л.А. Шибека, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск);
С.А. Антухевич, инж.

(ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои»
филиал «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда», г. Добруш)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ ЖЕЛЕЗА

Качество природных вод оказывает влияние практически на все сферы жизнедеятельности человека: производственную, сельскохозяйственную, бытовую. Особенностью состава подземных вод Республики Беларусь является повышенное содержание железа и марганца, что обусловлено природными факторами. Наиболее актуальной является проблема загрязнения подземных вод соединениями железа для Брестской области [1].

Железо в природных водах может находиться в ионной, коллоидной и грубодисперсной формах. В воде природных водоемов железо находится обычно в форме органоминеральных коллоидных ком-