

#### **Список цитированных источников**

1. Житенёв, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Б. Н. Житенёв, Д. Д. Сенчук // Вестник Брестского государственного технического университета. – БрГТУ. – 2019, № 2 (104): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 61–65.
2. Житенев, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди / Б. Н. Житенев, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – Вып. 11. – С. 1534–1545.
3. Строкач, П. П. Практикум по технологии очистки природных вод / П. П. Строкач, Л. А. Кульский – М. : Высш. шк., 1980. – С.98–99.

УДК 628.356

*Ковалевич К. А., Багновец В. Ю.*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Житенёв Б. Н. ,  
к. т. н., доцент Рыбак Е. С.*

### **УДАЛЕНИЕ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ОСАДКАМИ ПРОМЫВНЫХ ВОД СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ**

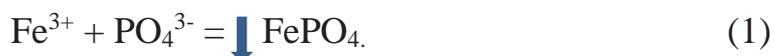
Сброс недостаточно очищенных сточных вод от биогенных элементов в основном фосфора и азота в водоемы сопровождается усилением роста водорослей (цветением), гибелью их в результате естественных процессов старения, разложением с потреблением кислорода и минерализацией с высвобождением биогенных элементов. В совокупности этот процесс получил название эвтрофикация. В последние годы изучением этого негативного явления занимаются ученые разных стран. Так в работе [1] приводятся результаты исследований, связанных с проблемой эвтрофикации озера, в которое фосфаты поступают преимущественно в результате смывов с сельхозполей и накапливаются в донных отложениях (ДО), при этом процессы сорбции/десорбции протекают одновременно. Установлено, что значительная часть соединений фосфора представлена частицами различной крупности, при этом с увеличением размеров частиц снижаются сорбционная емкость ДО, скорость сорбции, а также значения равновесных концентраций, при этом скорость десорбции возрастает. Приводятся константы скоростей процессов. В [2] сообщается о расширении территорий сельхозугодий, на которых применяются в том числе фосфорные удобрения, в связи с этим проводился мониторинг речной воды, в которую со смывами поступали фосфаты. Установлено, что последние присутствуют как в растворенной форме, так и в виде частиц, причем в первом варианте фосфаты в большей степени стимулируют процессы эвтрофикации. На базе анализа полученных данных определен предел поступления в речную воду фосфатов, при его превышении риск эвтрофикации становится весьма значительным. Наряду с эвтрофикацией недостаточно очищенные сточные воды могут загрязнять и подземные воды, так в исследованиях [3] отмечается: очистные сооружения находились в зоне карстовых структур и СВ фильтровались в грунтовые воды (ГВ). Эти ГВ отбирались из артезианских скважин (обследованы 23 частные скважины), кроме того обследовались родники, образованные этими ГВ, и карстовые полости. Установлено, что ГВ содержали энтеробактерии, а также другие виды организмов, в их состав входили ионы натрия, хлориды, биогенные элементы, фосфаты, нитраты и др. Происхождение большинства компонентов имело ан-

тропогенную природу. Сделан вывод, что эти ГВ могут негативно влиять на здоровье человека, сообщается о возможности их обработки.

На внеочередном министерском заседании Хельсинкской комиссии в Кракове 15 ноября 2007 г. в принятом «Плане действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю» (ПДБМ) [4] отмечается, что основные источники загрязнения существуют. Продолжается эвтрофикация водных объектов, обусловленная загрязнением биогенными элементами – азотом и фосфором. В связи с этим принята Рекомендация ХЕЛКОМ 28Е/5 «Очистка городских сточных вод», которая предусматривает ограничение содержания в очищенной сточной воде общего фосфора до 0,5 мг/л, общего азота – до 10 мг/л.

В этой связи ведутся исследования по разработке эффективных технологий очистки сточных вод от биогенных элементов. В работе [5] приводятся результаты исследований, связанных с восстановлением эвтрофицированного водоема, в которой в течение длительного времени сбрасывались СВ, содержащие значительные количества фосфатов. В лабораторных экспериментах их удаление производилось с применением коагулянтов трех видов: сульфата железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , сульфата оксида алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и хлорид полиалюминия. Установлено, что при их использовании фосфаты удалялись на 87,3, 95,6 и 94 % соответственно, при остаточных концентрациях 0,35, 0,12 и 0,16 мг/л. В [6] сообщается, что на станцию водоподготовки поступала речная вода, содержащая фосфаты до 0,93 мг/л. В лабораторных условиях исследовалась возможность их удаления с использованием кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ), при этом также варьировалось содержание в воде  $\text{HCO}_3^-$  от 0 до 5 ммоль/л, величина рН изменялась от 5 до 9. Установлено, что с увеличением содержания  $\text{HCO}_3^-$  эффективность осаждения фосфатов снижается, в оптимальном варианте этот показатель составляет 97,8 %. В [7] заявляется, что известно о применении методов очистки бытовых СВ от небольших населенных пунктов, расположенных в прибрежных зонах морских акваторий. В соответствии с этими методами для очистки СВ используется биомасса заболоченных поверхностей, которые во многих случаях располагаются у береговой линии, вода в данных водных системах имеет низкое солесодержание. Проводились эксперименты, в ходе которых СВ, содержащие в том числе фосфаты, инжестировались в болотную среду на глубину 4,3 м, скорость подачи СВ от 0,9 до 1,9 л/мин, продолжительность экспериментов 23 месяца. Установлено, что во всех вариантах эффективность удаления фосфатов превышала 99 % при остаточном содержании фосфора ниже 0,1 мг/л.

Процесс удаления фосфора биологическим способом является неустойчивым, зависит от многих факторов и не позволяет обеспечить его стабильное содержание в очищенной сточной воде менее 1 мг/л. Необходима химико-биологическая очистка с применением химических реагентов, например, коагулянтов на основе железа, алюминия, кальция. При использовании коагулянтов на основе железа, удаление неорганических фосфатов происходит по реакции:



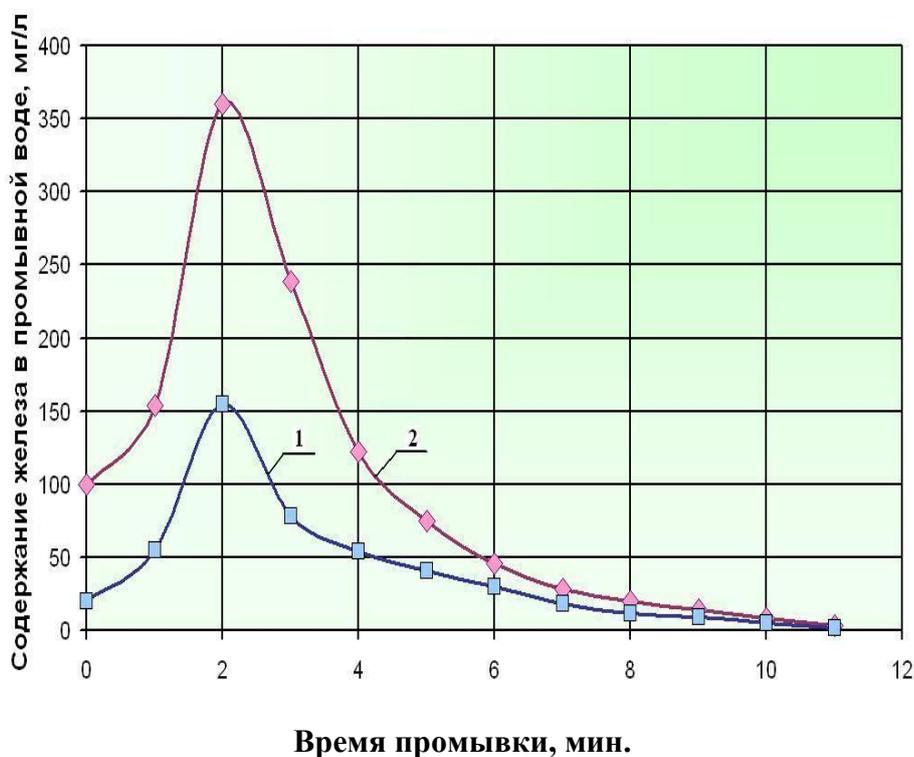
Из уравнения следует, что для осаждения 1 моля фосфора фосфатов железистыми коагулянтами необходимо 1–1,5 моля  $\text{Fe}^{3+}$ . Подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Бреста, имеют повышенное

содержание железа, поэтому перед подачей потребителям они подвергаются обработке на водозаборах г. Бреста (табл.1).

Таблица 1 – Основные параметры работы водозаборов г. Бреста (по данным технологических карт водозаборов г. Бреста)

Параметры	Водозабор № 2 “Граевский”	Водозабор № 3 “Мухавецкий”	Водозабор № 4 “Западный”	Водозабор № 5 “Аэропорт”	Водозабор № 6 “Северный”
Исходная концентрация железа (общ.), мг/л	1,53...1,78	1,19...1,49	1,21...2,39	1,00..1,10	1,15...1,58
Количество скважин, шт.	19	30	23	–	5
Производительность, м <sup>3</sup> /сут	14700	25900	15200	700	7900

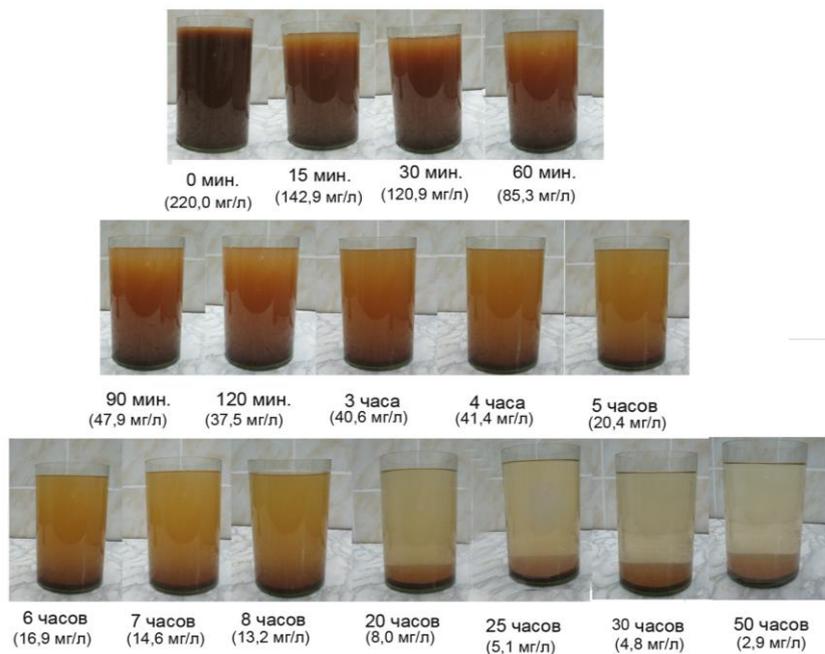
Зависимость концентрации железа в промывной воде от времени промывки представлена на рисунке 1.



1 – водяная промывка; 2 – водовоздушная промывка [8,9]  
**Рисунок 1 – Изменение содержания железа в промывной воде в процессе промывки фильтра**

Из представленных графиков (рис. 1) видно, что увеличение содержания железа в промывной воде происходит не сразу, а на второй минуте промывки, но по достижении пика загрязнений концентрация железа снижается и после 10 мин. промывки остается практически неизменной. Это говорит о том, что увеличение продолжительности промывки сверх рекомендуемой нецелесообразно, так как это не обеспечит улучшения качества регенерации фильтра, приведет к перерасходу воды и может вызвать смыв каталитической пленки.

Проведенные исследования [8, 9], показали, что концентрация железа в промывных водах имеет большой диапазон колебаний от 80 мг/л до 350 мг/л, и может достигать 600 мг/л при использовании щебеночной загрузки (рис. 2).



**Рисунок 2 – Кинетика осветления промывных вод станции обезжелезивания [8, 9]**

Таблица 2 – Баланс водозаборов г. Бреста по образованию железосодержащих осадков (по данным технологических карт водозаборов г. Бреста).

Водозабор	Производительность, тыс. м3/сут	Среднее исходное содержание железа, мг/л	Содержание железа на выходе, мг/л	Задержано железа, мг/л	Задержано железа кг/сутки
Северный	7,9	1,32	0,11	1,21	9,559
Западный	15,2	1,72	0,22	1,5	22,8
Мухавецкий	25,9	1,5	0,24	1,26	32,634
Граевский	14,7	1,59	0,21	1,38	20,286
Аэропорт	0,7	1,01	0,1	0,91	0,637
	64,4			Всего	85,916

В соответствии с уравнением 1 на 95 кг фосфатов требуется 56–84 кг железа, в среднем 70 кг. Теоретически (таблица 2) 85,9 кг железа смогут связать  $(95 * 85,9) / 70 = 116,6$  кг неорганических фосфатов. При содержании неорганических фосфатов 7 мг/л или 7 кг/на 1000 м куб. Осадками станций обезжелезивания г. Бреста можно осадить фосфаты в  $116,6 / 7 = 16\ 600$  м куб. Т. е. их достаточно на 33 % сточных вод г. Бреста. При этом:

1. Экономятся средства на приобретение коагулянтов.
2. Не происходит дополнительное загрязнение сточных вод анионами коагулянта (например, сульфатами).
3. Предотвращается загрязнение окружающей среды осадками станций обезжелезивания.

### Список цитированных источников

1. Wang Shengrui, Jin Xiangcan, Bu Qingyun, Zhou Xiaoning, Wu Fengchang. Содержание фосфатов в донных отложениях озера. Effects of particle size, organic matter and ionic strength on the phosphate sorption in different trophic lake sediments. *J. Hazardous Mater.* 2006. – 128. – N 2–3, С. 95–105. Англ.
2. Jarvie Helen P., Neal Colin, Withers Paul J. A.. Риск эвтрофикации реки вследствие поступления фосфора. Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus?. *Sci. Total Environ.* – 2006. – 360. – N 1–3. – С. 246–253. Англ.
3. Panno Samuel V., Kelly W. R., Hackley K. C., Weibel C. P.. Выходящие сточные воды очистных сооружений как источник химической и бактериальной загрязненности природных вод. Chemical and bacterial quality of aeration-type waste water treatment system discharge. *Ground Water Monit. and Rem.* – 2007. – 27. – N 2. – С. 71–76. Англ.
4. План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю / Министерское заседание ХЕЛКОМ. – Краков, 2007.
5. Wang Yuqiu, Han Tianwei, Xu Ze, Bao Guangqing, Zhu Tan. Оптимизация процесса удаления фосфора из водной среды. Optimization of phosphorus removal from secondary effluent using simplex method in Tianjin, China. *J. Hazardous Mater.* – 2005. – 121. – N 1–3. – С. 183–186. Англ.
6. Evans Dere A., Rusch Kelly A.. Удаление фосфора в условиях заболоченной местности с низким солесодержанием. Phosphorus treatment capability of the marshland upwelling system under low background salinity conditions. *Ecol. Eng.* – 2007. – 30. – N 3. – С. 250–263. Англ.
7. Lin Jian-wei, Zhu Zhi-liang, Zhao Jian-fu, Ma Hong-mei. Удаление из воды фосфатов с использованием кальцита. *Zhongguo jishui paishui=China Water and Wastewater.* – 2006. – 22, – N 15, С. 67–70. Библ. 7. Кит.; рез. англ.
8. Житенев, Б. Н. Интенсификация очистки промывных вод станций обезжелезивания реагентным осаждением / Б. Н. Житенев, Л. Е. Шеина // Вестник Брестского Государственного технического университета / – 2003. – № 2 (20). Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и экология. – С. 65–69.
9. Житенев, Б. Н. Очистка промывных вод станций обезжелезивания подземных вод коагулированием в присутствии фосфатов / Б. Н. Житенев, Л. Е. Йорданова // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 4. – С. 553–568. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.553-568

УДК 697.34

**Крук А. В., Петручик М. М.**

**Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.**

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время существуют два основных вида теплоснабжения жилых зданий: теплоснабжение от индивидуального теплового пункта и теплоснабжение при помощи децентрализованных источников тепла.

При централизованном теплоснабжении источники тепла (котельные) значительно удалены от конечного его потребителя. Эта система в свое время представлялась наилучшей технологией теплоснабжения, однако сейчас она обнаруживает значительные недостатки. К ним следует отнести, прежде всего, большую протяженность теплотрасс. Их прокладка и ремонт требуют значительных затрат как трудовых, так и материальных. Проблему теплопотерь в сетях при централизованном теплоснабжении в полной мере не решают даже новые теплоизоляционные материалы, а аварийные ситуации приводят к серьезным проблемам.

Децентрализованное теплоснабжение потребителей осуществляется от источников теплоты, не имеющих общей тепловой сети. В децентрализованных