

Март, № 2

Технические науки

2015

УДК 628.3

ЕЛЕНА ОЛЕГОВНА ГРАФОВА

кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительного производства Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
jethel@rambler.ru

ПОЛИНА ГЕННАДЬЕВНА ГОЛЬДЕНБЕРГ

государственный инспектор РФ по надзору в области использования и охраны водных объектов по РК, Управление Росприроднадзора по Республике Карелия (Петрозаводск, Российская Федерация)
goldenberg2008@inbox.ru

ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ ЕВТИФЕЕВ

кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительного производства Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
yup@psu.ka.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ ФЕНОЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ*

Деревообрабатывающая промышленность является лидирующей в Карелии, обладающей огромными запасами древесных ресурсов. Производство древесных материалов связано с применением фенольных смол. Несовершенство технологии производства и транспортировки сырья приводит к сбросу в водные объекты повышенных количеств вредных химикатов. Анализ производственных процессов и совершенствование схемы водоотведения позволяют снизить негативную нагрузку на водоем. Усовершенствование системы доочистки заключается в ведении комбинированного коагулирования и устройстве медленного фильтра доочистки. Приведен пример расчета размера вреда, причиненного Онежскому озеру. Стоимость строительства системы доочистки составляет 25 % от размера штрафных санкций природоохраных служб за сброс недостаточно очищенных стоков.

Ключевые слова: нормативно-правовое регулирование, расчет размера вреда, электрокоагуляция, медленное фильтрование, фенолы, оборотная система, охрана озер, комбинированное коагулирование

ВВЕДЕНИЕ

В Карелии насчитывается около 400 предприятий, использующих поверхностные водные объекты. Их хозяйственная деятельность довольно водоемка [4]. Значительное число предприятий специализируются на деревообработке. В 2003 году запущен завод по производству древесно-стружечных плит мощностью до 100 м³/сут с цехом собственного производства синтетических смол. Промплощадка завода расположена на северо-восточном берегу Онежского озера. На территории предприятия предусмотрена система сбора дренажно-ливневых сточных вод. С момента ввода завода в эксплуатацию поверхностные сточные воды без очистки сбрасывались в Онежское озеро.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно технологии производства, в качестве связующего материала применяются фенольные смолы [3]. Через некоторое время эксплуатации предприятия стали очевидны случаи несовершенства вентиляционной системы и технологических недостатков транспортировки при-

готовленных химических реагентов в производственные цеха.

В результате возникали утечки вредных газов и веществ, в том числе фенола и формальдегида. Распространяясь в атмосферу и оседая на поверхностях покрытий, смываемые поверхностными стоками химикаты попадали в ливневую канализацию и далее в Онего.

По результатам лабораторных измерений природоохранными службами Карелии в 2005 году зафиксировано содержание загрязняющих веществ в поверхностных сточных водах, превышающее предельно-допустимые концентрации (ПДК) в водоеме: по азоту аммонийному в 17 раз, нитритам в 4 раза, нефтепродуктам в 3 раза, железу в 30 раз, фенолам в 20 раз, формальдегиду в 50 раз.

После соответствующего предписания надзорного органа в конце 2006 года на предприятии построены и введены в эксплуатацию очистные сооружения ливневых стоков. По результатам работы сооружений отмечены снижения нагрузки на озеро, но незначительные.

Коммунальное хозяйство городов применяет схему очистки поверхностного стока, включаю-

щую: аккумулирующую емкость, пенополиуретановые или полистирольные фильтры и сорбционные фильтры, например медленные песчаные фильтры, то есть очистка осуществляется в три ступени [7].

Согласно проекту, поверхностный сток поступает в резервуары-усреднители и далее на очистные комплексы «УКОС-Д-20» производительностью 40 м³/ч. Принцип очистки основан на процессе электрокоагуляции, электрофлотации и механического фильтрования через полимерную загрузку и адсорбции на активированном угле.

Несмотря на затраты предприятия на строительство очистных сооружений, качество очищаемой воды все еще не соответствовало качеству сброса в рыбохозяйственный водоем по тем же показателям.

За период с 2006 по 2014 год предприятие неоднократно подвергалось административным наказаниям, а также возмещению вреда, причиненного Онежскому озеру [1].

Согласно лабораторным результатам химического анализа воды, средние концентрации вредных загрязняющих веществ в сточных водах на выпуске за 2007 год представлены в табл. 1.

Онежское озеро внесено в Государственный реестр водных объектов Российской Федерации, относится к бассейну Балтийского моря и является водным объектом рыбохозяйственного значения высшей категории водопользования.

Расчет суммы вреда, причиненного окружающей среде сбросом загрязняющих веществ, произведен на основании «Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства»

тва» от 30.03.2007 № 71, «Собрания законодательства РФ» от 04.11.2006 № 46, ст. 4791:

$$Y = K_{вг} K_{дл} K_b K_{ин} \sum_{i=1}^n H_i M_i K_{из},$$

где Y – размер вреда, тыс. руб.;

K_{вг} – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года;

K_{дл} – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации;

K_в – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов);

K_{ин} – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

M_i – масса сброшенного i-го вредного (загрязняющего) вещества, определяется по каждому ингредиенту загрязнения, раздел IV;

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i-го вредного вещества в водные объекты;

K_{из} – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия из вредных веществ на водный объект.

Расчет размера вреда очищенных сточных вод:

K_{вг} = 1,15; K_{дл} = 5,0 (более 500 часов); K_в = 2,10 (для рек бассейна Онежского озера); K_{ин} = 1,0 (на 2007 год).

Масса сброшенного загрязняющего вещества в составе сточных вод определяется по каждому ингредиенту загрязнения, а именно по формуле:

$$M_i = Q (C_{phi} - C_{di}) T \times 10^{-6}, t,$$

Таблица 1
Концентрации вредных загрязняющих веществ в сточных водах на выпуске

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	ПДК	Август	Ноябрь	Концентрация, Сф средняя	Превышение ПДК (раз)
				Выпуск № 1	Выпуск № 1		
1.	Взвешенные вещества	мг/дм ³	Фон 3,0 ± 0,25	13,2	3	8,1	2,5
2.	БПК ₅	мгO ₂ /дм ³	2,0	3,2	1,76	2,48	1,2
3.	БПК _{полн}	мгO ₂ /дм ³	3,0	4,8	2,64	3,72	1,2
4.	Хлориды	мг/дм ³	300,0	11,2	3,63	7,42	0
5.	Сульфаты	мг/дм ³	100,0	9,78	5,62	7,7	0
6.	Фосфаты	мг/дм ³	0,05	0,01	0,01	0,01	0
7.	Азот аммонийный	мг/дм ³	0,39	6,78	0,516	3,65	9,35
8.	Азот нитритный	мг/дм ³	0,02	0,15	0,006	0,078	3,9
9.	Азот нитратный	мг/дм ³	9,1	0,36	0,169	0,265	0
10.	АПАВ	мг/дм ³	0,1	–	0,046	0,046	0
11.	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	0,066	0,018	0,042	0
12.	Железо	мг/дм ³	0,1	0,208	0,2	0,204	2,0
13.	Фенолы	мг/дм ³	0,001	0,0038	0,0012	0,0025	2,5
14.	Метанол	мг/дм ³	0,1	0,19	0,1	0,145	1,45
15.	Формальдегид	мг/дм ³	0,1	1,83	0,144	0,987	9,9

где Q – расход сточных вод с превышением содержания i -го вредного вещества, определяется по приборам учета, а при их отсутствии – расчетным путем:

$$Q = 9678 \text{ м}^3 : 2989 \text{ час.} = 3,2 \text{ м}^3/\text{час.}$$

$T = 2989$ часов (с 11 часов 29.08.2007 по 31.12.2007)
(4 месяца);

C_{di} – концентрация i-го вредного (загрязняющего) вещества в водоприемнике – Онежском озере – равна 0, так как сброс ливневых сточных вод является несанкционированным.

Нормативы ПДК вредных веществ для Онежского озера приведены из [8]. Расчет общей суммы размера вреда представлен в табл. 2.

Таким образом, сумма вреда, причиненного загрязнением водного объекта – Онежского озера, составляет 277,92 тысячи рублей за 4 месяца сброса недостаточно очищенных сточных вод.

Учитывая то, что сброс недостаточно очищенных сточных вод осуществлялся с января 2007 по ноябрь 2014 года (95 месяцев), общий размер вреда за весь период составил 6600,60 тысячи рублей.

С учетом крупных штрафов и негативной нагрузки на водоем возникла необходимость сконцентрированного проведения усовершенствования существующей системы очистки поверхностных стоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработка технологических решений предшествовала работа по обследованию промплощадки, поиску вариантов снижения грязевой нагрузки и выполнению природоохранных мероприятий, нацеленных на снижение загрязнения территории предприятия.

Таким образом, проведены следующие природоохранные мероприятия:

1. Анализ процесса формирования загрязнений: места транспортировки химикатов, складирования сырья для приготовления смол, состояние сетей и сооружений дождевой канализации;
 2. Анализ эффективности очистки поверхностных стоков на очистных сооружениях.

По результатам обследования выявлено, что необходимо провести организационные мероприятия по снижению распространения загрязнений на предприятии, в том числе:

 - Очистить от загрязнений колодцы и резервуары дождевой канализации;
 - Провести благоустройство территории промплощадки для исключения попадания в ливневую канализацию смол и нефтепродуктов;
 - Анализ работы очистных сооружений показал, что низкая температура, низкая минерализация и недостаток щелочного резерва дождевой воды не приводят к образованию хлопьев с зарядом, достаточным для укрупнения и адсорбции загрязнений в процессе электрокоагуляции. Поэтому с водой из резервуаров-усреднителей проведена пробная коагуляция для определения характеристик, необходимых для оптимального процесса коагуляции.

Проведенные природоохранные мероприятия позволили выявить зоны и источники поступления загрязнения в дождевую сеть и снизить грязевую нагрузку на сети и сооружения, определить данные по дозам реагентов и определиться с технологией доочистки.

Совершенствование схемы очистки состоит из следующих этапов:

1. Перераспределение балансов водных потоков с устройством обратных систем.
 2. Наладка электрокоагуляционной системы очистки.
 3. Устройство медленного фильтра доочистки.

Расчет суммы размера вреда Онежскому озеру за 2007 год

Рассмотрим перечисленные этапы более подробно.

1. Перераспределение балансной схемы водопользования.

На сегодняшний день предприятие сбрасывает в водоем 44000 м³ сточной воды в год.

Согласно балансной схеме водопотребления и водоотведения предприятия, из Онежского озера для хозяйствственно-бытовых и производственных целей забирается 180 000 м³ воды в год. Из них на производство направляется 126 000 м³ воды в год, в частности на приготовление смол для производства ДСП необходимо 114 000 м³ воды в год.

Требования к качеству производственной воды невысокие: отсутствие крупных загрязнений, цветности, низкое содержание взвешенных веществ, железа.

Для снижения объемов забираемой воды из озера и снижения на него негативной нагрузки, оказываемой в результате сброса не полностью очищенных поверхностных вод, целесообразно направлять очищенные поверхностные воды на производство смол. С учетом годовых объемов поверхностных вод коэффициент разбавления воды (при смешении водопроводной и оборотной воды) составит 2,5, то есть очищенная поверхностная разбавляется водой из озера. Качество полученной водной смеси приемлемо для производства смол.

Реализация подачи очищенных поверхностных стоков осуществляется путем подключения к существующим трубопроводам системы водоснабжения цеха смол.

2. Наладка электроагрегационной системы очистки УКОС-Д 20.

Для оптимизации процесса коагуляции необходимо введение реагентов: сульфата алюминия и кальцинированной соды [5].

Коагулянт сульфат алюминия с содержанием активной части в товарном продукте $p_k = 53,6\%$. По данным пробного коагулирования, доза коагулянта сульфата алюминия без электроагрегулирования составляет 100 мг/л. При совместной работе электрофлотатора и коагулянта его доза D_{k1} составляет 30 мг/л.

Суточный расход сточных вод – 360 м³ [6]:

$$G_k = \frac{Q \cdot D_k}{C_p} = \frac{360 \cdot 100}{1000 \cdot 0,536} = 67,2 \text{ кг},$$

$$G_k = \frac{Q \cdot D_{k1}}{C_p} = \frac{360 \cdot 30}{1000 \cdot 0,536} = 20,1 \text{ кг},$$

где $Q = 360 \text{ м}^3/\text{сут}$ – производительность сооружений очистки,

$D_k = 100 \text{ мг/л}$ – доза коагулянта без электроагрегуляции,

$D_{k1} = 30 \text{ мг/л}$ – доза коагулянта с электроагрегуляцией.

Итого необходимое количество реагентов в месяц составит:

- без электроагрегуляции $67,2 \times 30 = 2016,0 \text{ кг}$,
- с электроагрегуляцией $20,1 \times 30 = 603,0 \text{ кг}$.

Доза добавляемых реагентов при совместной работе дозирующей и электроагрегационной установок может быть снижена.

Кальцинированная сода с содержанием активной части в товарном продукте $p_k = 99,5\%$. Доза кальцинированной соды составляет 40 мг/л.

Суточный расход сточных вод – 360 м³:

$$G_k = \frac{Q \cdot D_k}{C_p} = \frac{360 \cdot 40}{1000} = 14,4 \text{ кг},$$

где $Q = 360 \text{ м}^3/\text{сут}$ – производительность сооружений очистки,

$D_k = 40 \text{ мг/л}$ – доза кальцинированной соды.

Итого необходимое количество реагентов в месяц составит:

$$14,4 \times 30 = 432 \text{ кг}.$$

Для эффективного удаления полученной гидроокиси производится удаление и уплотнение осадка.

Промывная вода с осадком отводится в емкость для смешивания с реагентом, где осадок уплотняется. Осадок утилизируется в специально отведенные места, осветленная надосадочная вода сливается в приемные резервуары.

3. Устройство медленного фильтра доочистки.

Для организации доочистки поверхностных вод принимается переоборудование одной из существующих емкостей, предусмотренной для накопления чистой воды под медленный фильтр. Строительство медленных фильтров достаточно просто и может быть выполнено невысококвалифицированным персоналом [11].

Медленные фильтры осветляют воду при помощи пленки, образующейся из отложившихся взвешенных частиц на мелкопористой фильтрующей поверхности [9]. В медленных фильтрах перегородкой является слой мелкозернистой загрузки. Пленочное фильтрование обеспечивает задержание до 98 % загрязнений. Высота надзагрузочного слоя 1,2–1,5 м [2], [10].

Принимается скорость фильтрования 0,2 м/час, двухслойная загрузка: шунгит и шунгизит. Применение двухслойной загрузки позволит увеличить скорость фильтрования без изменения качества очистки воды и поднять производительность в 2 раза.

Так как для медленного фильтрования используются существующий резервуар-накопитель, то площадь фильтрования известна:

$$F_\phi = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2,$$

где D – внутренний диаметр резервуара, м;

для резервуара емкостью 250 м³ и диаметром 9 м:

$$F_\phi = \pi \cdot \left(\frac{9}{2} \right)^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{9}{2} \right)^2 = 63,59 \text{ м}^2.$$

При заданной скорости и известной площади фильтрования требуемая скорость фильтрования обеспечивается путем откачивания воды из фильтра с определенным расходом:

$$Q_{\text{час}} = F_\phi \cdot v_\phi = 63,59 \cdot 0,2 = 12,72 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

После очистки вода собирается дренажной системой, установленной в фильтре, и перекачивается по напорной линии на производство смол.

В качестве регулирующей емкости используется надводное пространство медленного фильтра [11].

Обычно в качестве загрузки медленного фильтра используется отмытый песок фракцией не менее 0,063–0,2 мм и гравийного постилающего слоя 4,75–12,0 мм [12].

Загрузочный материал медленного фильтра укладывается слоями в определенной последовательности снизу вверх (табл. 3).

Таблица 3
Высота и последовательность
фильтрующих слоев

№ слоя	Наименование	Слой загрузки, мм	Объем загрузки, м ³
1	Поддерживающий – гравий	200	13
2	Шунгит дробленый	300	19
3	Шунгизит дробленый	500	31

Шунгит – фильтрующий материал природного происхождения с плотностью 2,25–2,84 г/см³. Порода обладает сорбционными и каталитическими свойствами. Объем загрузки, необходимый для фильтрования, составляет 19 м³.

Шунгизит – искусственный пористый материал, получаемый при обжиге шунгитодержащих пород с плотностью 1,84–1,98 г/см³. Объем загрузки верхнего слоя, необходимый для фильтрования, – 31 м³.

Уровень воды над загрузкой принимается 1,5 м. Как известно, биологические процессы луч-

ше проходят в теплой воде. Для повышения температуры воды в надпленочном объеме предусмотрен сброс теплой воды из системы охлаждения в медленный фильтр.

Ориентировочная стоимость реализации проекта для предприятия составила 1,5 млн рублей, что примерно в 4 раза меньше предписанных штрафов. Срок реализации проекта – 6 месяцев.

ВЫВОДЫ

1. Анализ производственных процессов и снижения грязевой нагрузки на водосборные поверхности показал, что возможно кратно снизить концентрации загрязнений в стоках, поступающих на очистку.

2. Собственникам производства необходимо уменьшить выбросы вредных веществ на уровне производства в соответствии с действующими регламентами.

3. Необходимо адекватно сбалансировать схему водоснабжения и водоотведения, чтобы обеспечить эффективность ресурсосбережения предприятия. По возможности применить обратную схему водоснабжения с доочисткой.

4. Вследствие низкой минерализации и щелочного резерва дождевой воды при коагуляции необходимо применение реагентов. Комбинирование реагентной и электроагуляции позволяет снизить затраты на реагенты при высоком качестве очистки.

5. Оптимальной для доочистки поверхностных стоков от загрязнений является технология медленного фильтрования с применением двухслойной загрузки (шунгит, шунгизит).

6. На сегодняшний день непроведение мероприятий по очистке (доочистке) сточных вод, в том числе поверхностных, приводит к штрафам, многократно превышающим затраты на реализацию этих мероприятий.

* Статья подготовлена в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аюкаев Р. И., Гольденберг П. Г., Графова Е. О. Совершенствование методов контроля эффективности работы канализационных очистных сооружений службами Росприроднадзора // Международная конференция «Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения. Гидравлика и охрана водных ресурсов» (ПГУПС, 31.03.2011 года). СПб.: ОМ-Пресс, 2011. С. 46–50.
- Аюкаев Р. Р., Графова Е. О., Аюкаев Р. И., Веницианов Е. В. Математическое моделирование в исследовании процессов водоочистки. Сообщение 1. Медленное фильтрование // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: «Естественные и технические науки». 2009. № 5 (99). С. 14–20.
- Вигдорович В. И., Пудовкина А. Ю. Экологическая характеристика фенола, его миграция и очистка сточных вод, содержащих оксибензол // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. 2011. № 2. С. 33.
- Гольденберг П. Г. Проблемы повышения эффективности государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов на территории Республики Карелия // Современные технологии и оборудование систем водоснабжения и водоотведения (26 марта 2013 года). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. С. 13–17.
- Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: ППП «Типография «Наука», 2005. 576 с.
- Евтифеев Ю. П. Примеры расчета очистных сооружений питьевой воды: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 76 с.
- Коринько И. В., Вороненко В. А., Лукашenko В. М. Энергосберегающая технология очистки городского поверхностного стока // Коммунальное хозяйство городов. Харьков: Харьк. нац. ун-т гор. хозяйства им. А. Н. Бекетова, 2009. № 86. С. 185–188.
- Шленко Н. А. Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентированно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.

9. Иоровский А. В., Лукашева Г. Н. Формирование хемосорбционного слоя фильтрующей загрузки медленного самоочищающегося фильтра обезжелезивания // Сервис в России и за рубежом. М.: Российский государственный университет туризма и сервиса, 2011. С. 274–278.
10. Cavallo-Baldo L. A. et al. Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water // Applied and environmental microbiology. 2003. Vol. 69. № 4. P. 2116–2125.
11. Logsdon G., Kohne R., Solomon A. Slow sand filtration for small water systems // J. Environ. Eng. Sci. 2002. 1. P. 339–348.
12. El-Tawee G. E., Alai G. H. Evaluation of roughing and slow sand filters for water treatment // Water, Air and Soil Pollution. 2000. 120 (1–2). P. 21–28.

Grafova E. O., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Gol'denberg P. G., Department of the Russian Natural Resources Management in Karelian Republic
(Petrozavodsk, Russian Federation)
Evtifeev Yu. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL PHENOL POLLUTED SURFACE RUNOFF TREATMENT SYSTEM

Timber manufacturing industry is one of the leading industries in Karelia possessing huge reserves of wood resources. Industrial manufacture of wood materials involves the use of phenolic resins. Imperfection of technological production and transportation of raw materials lead to water pollution by increased amounts of harmful chemicals. Analysis of the existing manufacturing technologies and drainage scheme improvement can reduce negative effects on water reserves. Improvement of the secondary treatment system involves introduction of the combined coagulation system and employment of the slow filtering device. An example of calculating the amount of harm caused to the Lake Onega is provided. The cost of construction for additional cleaning makes up 25 % of the total amount of charged penalties presented by environmental services for the discharge of inadequately treated sewage.

Key words: legal regulation, calculation of the amount of caused damage, electrocoagulation, slow filtration, phenols, recirculating water system, protection of lakes, combined coagulation

REFERENCES

1. Ayukayev R. I., Gol'denberg P. G., Grafova E. O. Improvement of monitoring methods' effectiveness of sewage treatment facilities by environment supervision conservation service (Rosprirodnadzor) [Sovershenstvovanie metodov kontrolya effektivnosti raboty kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheniy sluzhbami Rosprirodnadzora]. Mezhdunarodnaya konferentsiya "Novye issledovaniya v oblastyakh vodosnabzheniya, vodoootvedeniya. Gidravlika i okhrana vodnykh resursov" [PGUPS, International Conference "New research in the areas of water supply and sewerage. Hydraulics and protection of water resources"]. St. Petersburg, 2011. P. 46–50.
2. Ayukayev R. R., Grafova E. O., Ayukayev R. I., Venitsianov E. V. Mathematical modeling in research of treatment processes. 1. Slow message filtering [Matematicheskoe modelirovaniye v issledovanii protsessov vodoochistki. Soobshchenie 1. Medlennoe fil'trovaniye]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki" [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2009. № 5 (99). P. 14–20.
3. Vygdorovich V. I., Pudovkina A. Yu. Ecological characteristics of phenol and its migration and wastewater containing oksibenzol [Ekologicheskaya kharakteristika fenola, ego migratsiya i ochistka stochnykh vod, soderzhashchikh oksibenzola]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Un-t im. V. I. Vernadskogo [Problems. lies. science and practice]. 2011. № 2. P. 33.
4. Gol'denberg P. G. Problems of the state control efficiency and supervision effectiveness over the use and protection of water bodies in the territory of the Republic of Karelia [Problemy povysheniya effektivnosti gosudarstvennogo kontrolya i nadzora za ispol'zovaniem i okhranoy vodnykh ob'ektor na territorii Respubliki Kareliya]. Sovremennye tekhnologii i oborudovanie sistem vodosnabzheniya i vodoootvedeniya [Modern technologies and equipment water and wastewater systems]. Petrozavodsk, 2014. P. 13–17.
5. Draginsky V. L., Alekseeva L. P., Getmantsev S. V. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnnykh vod [Coagulation in water purification technology]. Moscow, 2005. 576 p.
6. Evtifeev Yu. P. Primery rascheta ochistnykh sooruzheniy pit'evoy vody: Ucheb. posobie [Examples of calculation of drinking water treatment plants: Textbooks]. Petrozavodsk, PSU Publ., 2011. 76 p.
7. Korin'ko I. V., Voronenko V. A., Lukashenko V. M. Saving treatment technology of urban surface runoff [Energosberegayushchaya tekhnologiya ochistki gorodskogo poverkhnostnogo stoka]. Kommunal'noe khozyaystvo gorodov [Utilities cities]. Kharkiv, 2009. № 86. P. 185–188.
8. Shilenko N. A. Perechen' rybokhozyaystvennykh normativov predel'no-dopusennykh kontsentratsiy (PDK) i orientirovchno bezopasnykh urovney vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vodnykh ob'ektor, imeyushchikh rybokhozyaystvennoe znachenie [List of fishery standards of maximum permissible concentration (MPC) and occupational exposure limits (OEL) for hazardous substances in water bodies having fishery significance]. Moscow, VNIRO Publ., 1999. 304 p.
9. Yurovskiy A. V., Lukashova G. N. Formation of chemisorption filter layer of slow deferrization self-cleaning filter [Formirovaniye khemosorbsionnogo sloya fil'truyushchey zagruzki medlennogo samoochishchayushchegosya fil'tra obezzelezivaniya]. Servis v Rossii i za rubezhom [Service in Russia and abroad]. Moscow, 2011. P. 274–278.
10. Cavallo-Baldo L. A. et al. Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water // Applied and environmental microbiology. 2003. Vol. 69. № 4. P. 2116–2125.
11. Logsdon G., Kohne R., Solomon A. Slow sand filtration for small water systems // J. Environ. Eng. Sci. 2002. 1. P. 339–348.
12. El-Tawee G. E., Alai G. H. Evaluation of roughing and slow sand filters for water treatment // Water, Air and Soil Pollution. 2000. 120 (1–2). P. 21–28.