

УДК 504.4.054

**Н.Е. Коробова, И.С. Глушанкова, Л.В. Рудакова**

Пермский государственный технический университет

**КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ  
НЕОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА Г. БЕРЕЗНИКИ  
ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Рассмотрены проблемы очистки минерализованных сточных вод промышленных предприятий г. Березники, обоснована возможность использования Промышленного канала в качестве очистного сооружения. Представлены результаты исследования процессов трансформации загрязняющих веществ сточных вод группы предприятий крупного промышленного комплекса в Промышленном канале. Установлено, что при совместной транспортировке сточных вод происходит их дополнительная очистка на 80–95 % от взвешенных веществ, фосфат-, сульфат-ионов, а также ионов кальция, магния, тяжелых металлов. Разработаны рекомендации по снижению содержания загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в водоем.

**Ключевые слова:** сточные воды, промышленный канал, минерализованные стоки, отстойник, трансформация веществ.

Пермский край располагает разнообразными природными ресурсами и мощным промышленным потенциалом. В 2010 году специалистами ведущего национального агентства «Эксперт-РА» природно-ресурсной составляющей инвестиционного потенциала Пермского края присвоен третий ранг, а производственной составляющей – восьмой [1]. Природно-ресурсная составляющая инвестиционного потенциала характеризует обеспеченность региона балансовыми запасами основных видов природных ресурсов (минерально-сырьевых, земельных, водных, лесосырьевых, рекреационных). Производственная составляющая характеризует совокупный результат хозяйственной деятельности населения в регионе. При проведении ранжирования 1-й ранг получает регион, имеющий наибольший инвестиционный потенциал.

Сочетание энергетических ресурсов р. Камы и ее крупных притоков, запасов нефти, газа, каменного угля, драгоценных и поделочных камней, золота и платины, металлургического и цементного сырья, хромовых руд и крупнейшего в мире месторождения калийных и магниевых солей, а также обеспеченность квалифицированными кадрами, явилось базой для интенсивного развития промышленности и развития городов Пермского края.

В то же время наличие многоотраслевой экономики приводит к возникновению проблем, связанных с интенсивным ис-

пользованием природных ресурсов и негативным воздействием на окружающую среду и здоровье населения.

Экологическая составляющая инвестиционного риска края стабильно оценивается как высокая – 52-й ранг в 2010 году среди всех субъектов РФ (при позиции 1 – наименьший экологический риск). Экологическая составляющая инвестиционного риска характеризует уровень загрязнения окружающей среды в регионе [1].

Согласно данным Управления Росприроднадзора по Пермскому краю состояние окружающей среды Пермского края характеризуется высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод. Высокая техногенная нагрузка на природную среду обусловлена:

1) наличием многоотраслевой экономики и концентрацией промышленных производств;

2) длительным негативным воздействием на природные комплексы и пролонгированным воздействием последствий загрязнения;

3) использованием устаревших технологий и оборудования, высокой ресурсо- и энергоемкостью производства;

4) сосредоточением крупнотоннажных промышленных производств, вносящих значительный вклад в формирование воздействия на окружающую среду в отдельных, промышленных узлах, таких как Березниковско-Соликамский [2].

Установлено, что в Пермском крае наибольший уровень антропогенной нагрузки, включающей в себя образование и размещение отходов, количество загрязняющих веществ, сбрасываемых в водные объекты, выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух, характерен для г. Березники.

Исторически сложилось, что площадки промышленных предприятий г. Березники находятся в непосредственной близости от жилой зоны и вне зависимости от направления ветра находится под постоянным воздействием выбросов загрязняющих веществ промышленных предприятий.

В настоящее время в г. Березники действует ряд добывающих и перерабатывающих предприятий, объединенных в крупный промышленный комплекс, включающий в себя предприятия, ведущие разработку запасов солей Верхнекамского месторождения (ОАО «Уралкалий»), а также предприятия химической (ОАО «Азот», ОАО «БСЗ», ООО «Сода-Хлорат») и металлургической (ОАО «ВСМПО-Ависма») промышленности, перерабатывающие калийно-магниевые и натриевые соли в товарную продукцию.

ОАО «Уралкалий» осуществляет добычу калийной руды и производство калийных удобрений. ОАО «Азот» производит аммиак и азотные удобрения, высшие алифатические амины, калиевую и натриевую селитру, кристаллический нитрит натрия. ОАО «БСЗ» специализируется на производстве соды аммиачным способом. ОАО «ВСМПО-Ависма» – мировой лидер по производству титана, ферротитана, магния и его сплавов.

Добыча и переработка калийных солей в товарную продукцию в ОАО «Уралкалий» сопровождается образованием большого количества твердых галитовых отходов, основным способом утилизации которых является складирование в солеотвалы или в выработанные пространства шахт. Технологические процессы металлургических предприятий и предприятий неорганического синтеза характеризуются высоким водопотреблением и образованием большого объема сточных вод с высоким содержанием взвешенных веществ и минеральных примесей.

В промышленной практике очистки сточных вод наиболее сложной задачей является снижение соледержания воды. Обессоливание воды осуществляется следующими основными методами: дистилляцией, нагревом воды до сверхкритической температуры, вымораживанием, ионным обменом, электродиализом, ультрафильтрацией и обратным осмосом, выбор которых зависит от объема сточных вод, их состава, экономической целесообразности и технологической применимости метода. Общим недостатком перечисленных методов обессоливания воды является высокая энерго- и материалоемкость установок, низкая производительность, что ограничивает использование этих методов при очистке минерализованных сточных крупнотоннажных производств [3, 4].

Промышленные сточные воды предприятий г. Березники в настоящее время подвергаются, главным образом, очистке от взвешенных веществ в шламонакопителях и прудах-отстойниках. Сточные воды ОАО «Ависма» очищаются от ионов тяжелых металлов методами нейтрализации и осветления. Осветленные стоки сбрасываются в Промышленный канал (далее ПК).

ПК – это гидротехническое сооружение с искусственным руслом, строительство которого велось с 1950 до 1975 года. Создание ПК связано со строительством КамГЭС и Камского водохранилища, в результате строительства которых потребовалось создание защитных сооружений, препятствующих затоплению промышленных и жилых зон г. Березники. В число таких сооружений вошла береговая защитная дамба, которая отрезала естественные стоки рек Толыч и Зырянка в р. Каму, в связи с чем возникла необходимость создания канала для сбора и транспортиров-

ки стока двух рек в Камское водохранилище. Естественный сток рек был невозможен, так как защитная дамба находилась выше водосборной территории рек. Функцию переброски вод в Камское водохранилище через земляную дамбу выполняли станции перекачки, последняя из которых – станция перекачки №2 с прилегающим к ней ковшом и частью канала – впоследствии была преобразована в ООО «Промканал».

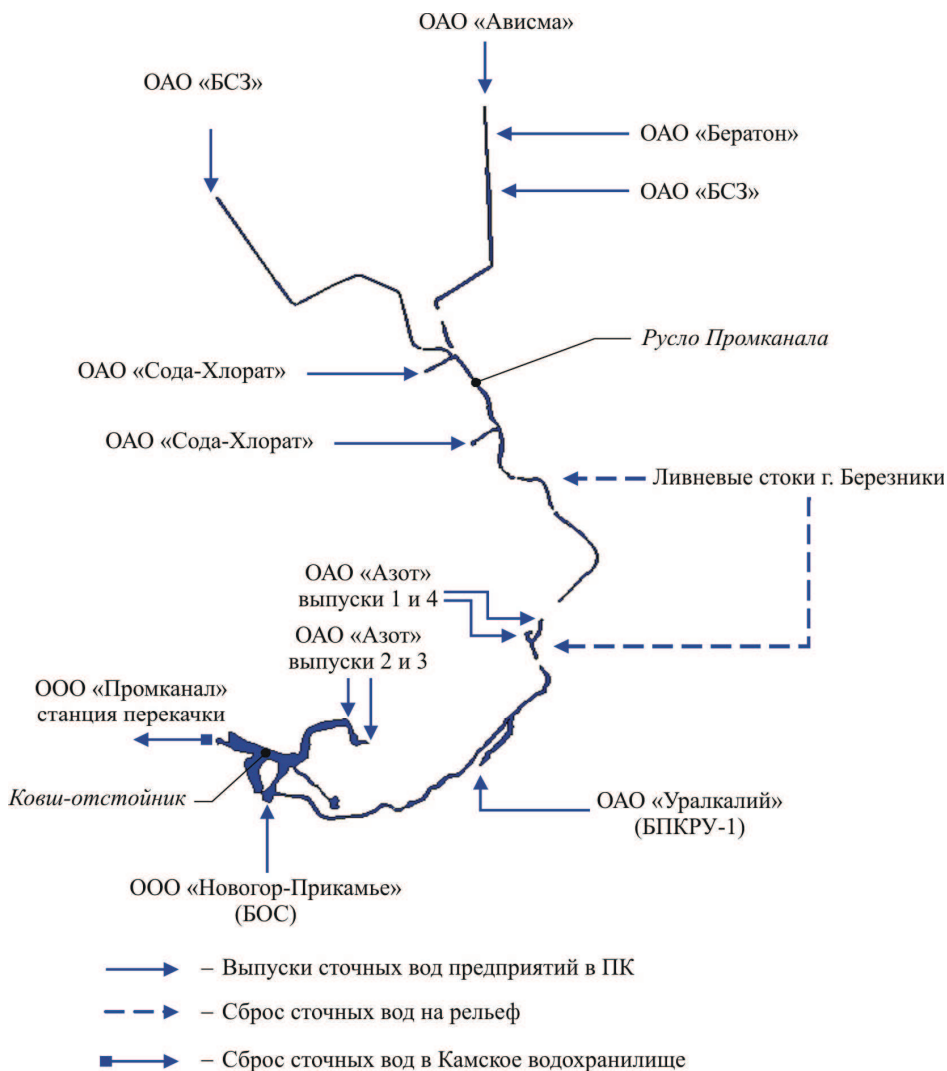


Рис. 1. Схема ПК г. Березники

В настоящее время ПК осуществляет функции сбора ливневых и дренажных подземных вод с водосборной площади, фильтрационных вод Камского водохранилища, поступающих

через защитную дамбу, а также приема, транспортировки и сброса промышленных и бытовых сточных вод ряда предприятий г. Березники (рис. 1).

Вклад сточных вод промышленных предприятий в общий сток ПК составляет 88 % (56325,3 тыс. м<sup>3</sup>/год). Доля крупных предприятий в формировании стока ПК представлена на рис. 2.

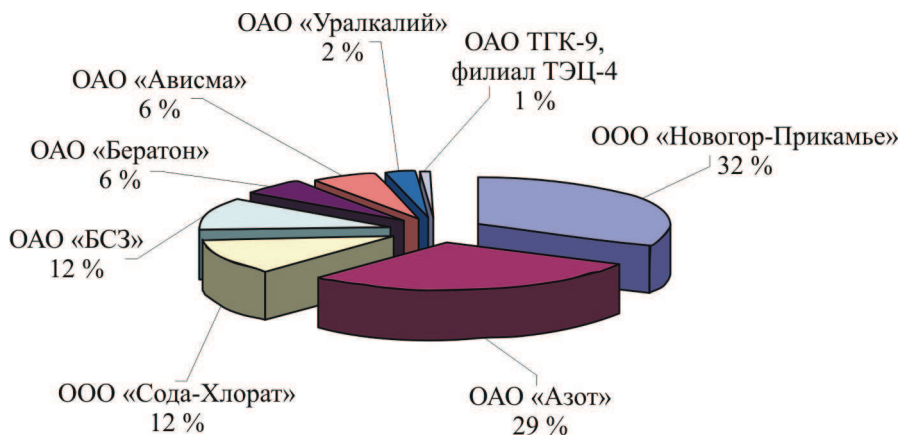


Рис. 2. Вклад промышленных предприятий в формирование стока ПК

По содержанию минеральных примесей состав сточных вод предприятий изменяется в широких пределах, поэтому в ПК происходит значительное снижение концентрации неорганических примесей в результате разбавления высокоминерализованных сточных вод стоками других предприятий.

Поскольку перечень загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами предприятий, обширен, в русле канала могут происходить процессы химической трансформации соединений. В результате смешения сточных вод абонентов рН стоков изменяется, что приводит к протеканию сложных химических процессов, сопровождающихся образованием труднорастворимых соединений и их осаждением в русле канала и дне ковша-отстойника.

Целью настоящей работы явилось исследование процессов трансформации загрязняющих веществ сточных вод в русле ПК и обоснование возможности использования ПК в качестве очистного сооружения, предназначенного для доочистки сточных вод предприятий.

Анализ процессов сброса и транспортировки сточных вод по руслу ПК, изменения скорости потока показал, что на сооружении можно выделить участок, показанный на рис. 3, на

котором происходит осаждение основной массы взвешенных веществ. На этом участке происходит замедление скорости потока стоков в результате расширения русла канала, не осуществляется сброс сточных вод, что позволяет рассматривать выделенный участок ПК в качестве очистного сооружения – пруда-отстойника. Площадь отстойника составляет  $29800 \text{ м}^2$ , ширина 50 м, протяженность 633 м. Амплитуда колебания уровня в отстойнике составляет 3 м.

Для обоснования возможности использования отстойника как очистного сооружения и анализа процессов трансформации веществ при транспортировке сточных вод рассчитан водный и материальный баланс ПК.

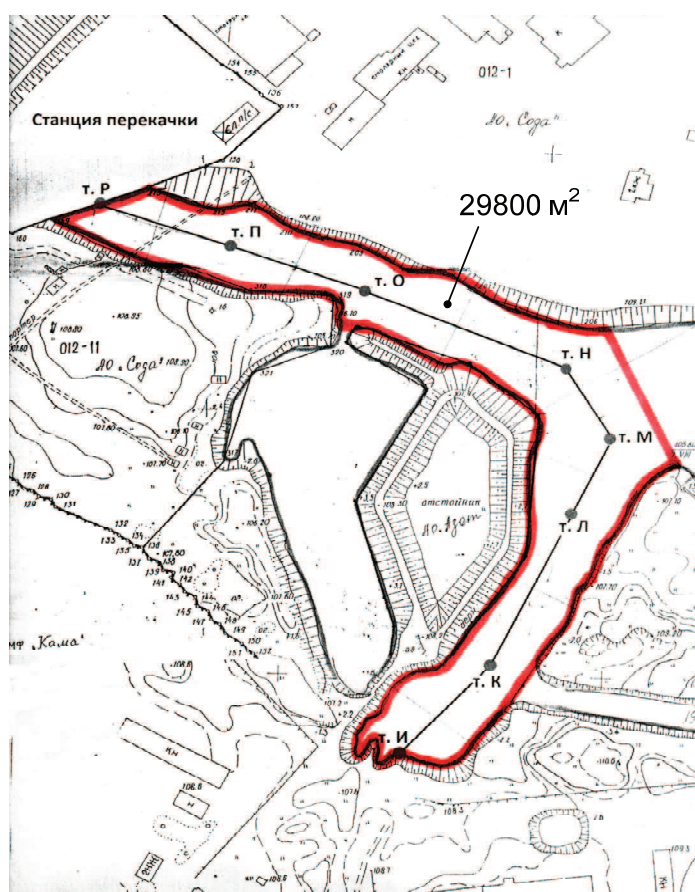


Рис. 3. Схема ковша-отстойника ПК

Анализ водного и материального балансов ПК, данных о составе сточных вод абонентов, а также ливневых вод, поступающих в ПК с водосборных территорий, позволил рассчитать



состав сточных вод ПК и провести оценку их изменения на входе и выходе из сооружения (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительная характеристика основных показателей сточных вод, поступающих в ПК и сбрасываемых в р. Каму (расчетные данные)**

Наименование загрязняющего вещества	Сточные воды, поступающие в ПК		Сточные воды, сбрасываемые в р. Каму	
	масса ЗВ, т	концентрация ЗВ, мг/дм <sup>3</sup>	масса ЗВ, т	концентрация ЗВ, мг/дм <sup>3</sup>
БПК полное	139,531	2,3950	329,3620	5,6533
Взвеш. вещества	11538,73	158,4485	1768,5940	30,17
Железо (общ.)	15,2991	0,2626	0	0,0000
Калий (I)	42011,281	721,0999	15194,1880	259,19
Кальций (II)	106666,33	1830,8673	31925,7530	547,9875
Марганец (общ.)	4,7666	0,0818	0,2350	0,004
Натрий (I)	134793,74	2313,65685	49610,5370	846,30
Натрий сернистый	0,0069	0,0001	0	0
Нефтепродукты	9,5541	0,1640	7,2240	0,123
Никель (II)	1,0786	0,0185	0,2610	0,0045
Нитрат-ион	3434,0096	58,9428	3775,4350	64,4052
Сухой остаток	752481,47	12915,9194	313609,2900	5349,8635
Фенол	0,0252	0,0004	0,0150	0,0003
Фосфат-ион	60,6717	1,0414	16,5760	0,2828
Хлорид-ион	426967,6	7328,6577	145178,6700	2476,606
ХПК	2359,6387	40,5019	4412,5990	75,2746
Хром (III)	0,2852	0,0049	0,2790	0,00475

Проведенный сравнительный анализ массы загрязняющих веществ, поступающих в ПК и сбрасываемых в р. Каму, показал, что в процессе транспортировки сточных вод по каналу происходит не только осаждение взвешенных веществ, но и снижение содержания в воде ионов кальция, никеля, фосфат-ионов, сульфит-ионов, железа (общ.), что можно объяснить химической трансформацией веществ в русле канала. Например, содержание таких элементов, как кальций, магний, железо, никель, марганец и др., на выпуске из канала в водоем снижается по сравнению с исходным их содержанием в стоках абонентов за счет гидролиза солей этих металлов, окисления, образования труднорастворимых гидроксидов, фосфатов или сульфатов металлов и их дальнейшего перехода в донные отложения.

В табл. 2 представлены данные по эффективности очистки сточных вод от этих соединений в ПК.

Таблица 2

**Сравнительная оценка эффективности очистки  
сточных вод в ковше-отстойнике (2008 г.)**

Компонент	Масса загрязняющих веществ, т/год		Эффективность очистки, %
	поступаю- щих в ПК	сбрасываемых в р. Каму	
Взвешенные вещества	11538,03	1997,40002	82,70
Ионы кальция	106666,33	31925,7530	70,0
Железо (общ.)	15,2991	0	100
Ионы никеля	1,0786	0,2610	75,8
Фосфат-ион	60,6717	16,576	72,68
Сухой остаток	752874	313609,290	58,34

Анализ полученных данных свидетельствует о достаточно высокой степени очистки воды от взвешенных веществ, фосфат-ионов, ионов кальция, ионов тяжелых металлов – никеля, железа.

Для подтверждения эксплуатации отстойника как очистного сооружения были отобраны пробы воды в т. Н (см. рис. 3) и на выпуске воды в р. Каму. Анализ проводили по элементам и ионам, способным участвовать в трансформации веществ: взвешенные вещества, титан, магний, железо (общ.), кальций, марганец. Результаты проведенного анализа проб представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Содержание загрязняющих веществ (мг/дм<sup>3</sup>)  
в пробах сточных вод, отобранных перед очистным  
сооружением и при сбросе в р. Каму**

Показатель	Результаты определения веществ	
	поступающих в ПК	сбрасываемых в р. Каму
Взвешенные вещества	92,5±7	25,4±2
Кальций (II)	5276±274	194±10
Магний (II)	21,2±2,1	9,0±0,9
Железо (общ.)	0,44±0,04	0,25±0,03
Марганец (общ.)	0,058±0,009	0,0088±0,009
Титан (общ.)	0,0042	0,0022

Проведенные аналитические исследования подтверждают эффективность очистки сточных вод от взвешенных веществ и ионных примесей, способных при взаимодействии образовывать труднорастворимые соединения.



Полученная информация позволила определить условия формирования объема и состава осадка сточных вод, накапливаемого в отстойнике. В 2008 году в русле канала произошло осаждение 9540,6 т взвешенных веществ. В результате протекания химических реакций было дополнительно образовано 438 872 т осадка сточных вод (расчеты проведены по сухому остатку), в 2009 году – 13999,4 т взвешенных веществ и 246818,1 т/год осадка, образованного при химическом взаимодействии компонентов сточных вод.

В результате анализа изменения массы взвешенных веществ и минеральных примесей в процессе транспортировки сточных вод к сбросу в р. Каму за 2006–2009 годы установлено, что основная масса донных отложений в ПК и отстойнике формируется из-за химических превращений компонентов сточных вод (рис. 4), что позволяет рассматривать ПК и отстойник как сооружение очистки сточных вод от неорганических примесей и взвешенных веществ.

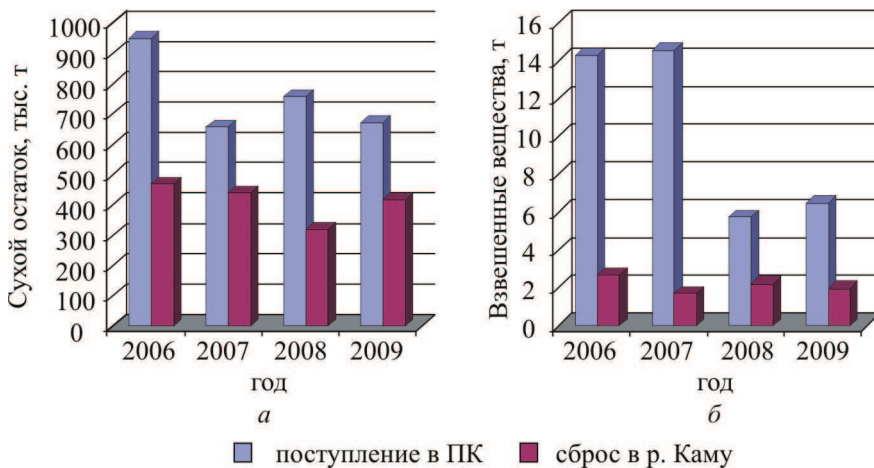


Рис. 4. Изменение качественных характеристик сточных вод, поступающих в ПК (а) и сбрасываемых в р. Каму (б)

Эффективность работы сооружения, предназначенного для очистки сточных вод от взвешенных примесей, будет определяться физико-химическими свойствами примесей, гидравлической крупностью частиц, скоростью и временем прохождения воды через сооружение. При первоначальной глубине отстойника 3 м и площади 29 800 м<sup>2</sup> объем сооружений составит 752 152 м<sup>3</sup>. В сооружение поступают стоки с объемной скоростью 7 150 м<sup>3</sup>/ч, при этом время пребывания воды в отстойнике составляет

10,52 ч, что соответствует времени отстаивания примесей в специально создаваемых для очистки сточных вод прудах-отстойниках. Горизонтальная скорость движения воды в отстойнике не должна превышать 0,01 м/с. В отстойнике площадь сечения составляет 150 м<sup>2</sup> и, соответственно, скорость движения воды – 0,0132 м/с. Таким образом, по основным техническим характеристикам (эффективности очистки воды от взвешенных веществ, времени пребывания воды в сооружении, скорости движения воды) отстойник отвечает требованиям, предъявляемым к сооружениям очистки сточных вод – пруду-отстойнику. Следует отметить, что для эффективной работы отстойника его глубина должна быть не менее 2,5 м, что приводит к необходимости периодической очистки сооружения от донных отложений.

Анализ качества сбрасываемых в водоем стоков показал, что такие показатели, как содержание в воде ионов калия, натрия, хлорид-ионов, в 1,5–3 раза превышают ПДК. Разработанные в последние годы законодательные акты, устанавливающие основные правила и принципы использования и охраны водных объектов, запрещают сброс в водоемы неочищенных стоков, ужесточают требования к качеству очистки и условиям сброса очищенных вод. Для повышения эффективности работы ПК как очистного сооружения необходима разработка организационных и технических мероприятий, направленных на снижение содержания загрязняющих веществ в стоках, поступающих в ПК и сбрасываемых в водоем.

Анализ условий формирования сточных вод ПК показал, что основным источником поступления в ПК минеральных примесей являются сточные воды предприятий Березниковского содового завода и ОАО «Уралкалий». Для выполнения нормативных требований к качеству очищенной воды, сбрасываемой в р. Каму, в ходе проведения исследований разработаны рекомендации и мероприятия с целью ограничения сброса стоков этих абонентов в ПК.

**Выводы:**

1. Анализ условий формирования сточных вод в ПК и процессов, происходящих при их транспортировке, показал, что в русле канала протекают сложные химические взаимодействия компонентов с трансформацией веществ и значительным снижением минерализации стоков как в результате разбавления низкоконцентрированными водами, так и вследствие образова-

ния труднорастворимых сульфатов, карбонатов, фосфатов и гидроксидов металлов. Установлено, что при транспортировке по каналу сточных вод основная масса донных отложений образуется именно в результате протекания химических процессов (более 200 000 т/год, рассчитанных по показателю «сухой остаток»). Таким образом, ПК выполняет ряд функций, таких как сбор и транспортировка стоков, защита от затопления паводками и подтопления грунтовыми водами промышленной зоны, разбавление высококонцентрированных сточных вод и их доочистки.

2. Проведенный анализ процессов, протекающих в ПК, показал, что гидротехническое сооружение можно рассматривать как эффективное очистное сооружение, предназначенное для комплексной совместной очистки потоков сточных вод предприятий г. Березники и обеспечивающее снижение содержания взвешенных веществ и минеральных примесей на 50–80 %.

3. Для повышения эффективности работы ПК как очистного сооружения и повышения качества сбрасываемой в Камское водохранилище очищенной воды необходимо разработать рекомендации по ограничению сброса высокоминерализованных сточных вод в ПК и снижения минерализации стоков.

Основным источником поступления в ПК минеральных примесей являются сточные воды предприятий БСЗ и ОАО «Уралкалий». Для снижения минерализации стоков ОАО «Уралкалий» и выполнения нормативных требований к качеству очищенной воды, сбрасываемой в р. Каму, необходимо реализовывать технические решения по увеличению объема гидрозакладки или твердой закладки глинисто-солевых шламов в выработанные пространства рудников, что приведет к снижению поступления стоков в шламонакопители и, соответственно, уменьшению доли сточных вод, сбрасываемых в ПК. Для снижения объема стоков, поступающих со шламонакопителя БСЗ, рекомендуется организовать частичный рецикл сточных вод, возврат осветленных стоков после дополнительной очистки в производственный цикл.

4. Дальнейшую эксплуатацию ПК необходимо вести с учетом требований промышленной и экологической безопасности.

### **Библиографический список**

1. Сайт национального рейтингового агентства «Эксперт РА». – URL: [www.raexpert.ru/](http://www.raexpert.ru/) (дата обращения: 17.05.2011).

2. Экологические проблемы Березниковско-Соликамского промышленного узла // Промышленность и безопасность. – 2010. – № 4(20) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pbperm.ru/promyshlennost-i-bezopasnost/477-1-2-1718-2010>

3. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – Т. 2. – 884 с.

4. Ecology, economy, social responsibility: Materials Project presentation of K+S Kali GmbH, 2007.

Получено 20.05.2011