

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА К СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД НА ОСНОВЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2014 г. Е.В. Веницианов, Г.А. Звезденкова

*Институт водных проблем Российской академии наук, Москва*

**Ключевые слова:** наилучшие доступные технологии, очистка городских сточных вод, нормативы водоотведения, самоочищение.



Е.В. Веницианов



Г.А. Звезденкова

Представлен анализ возможностей существующих технологий очистки коммунальных сточных вод от бытовых и промышленных загрязняющих веществ. Отмечено, что проблема выбора лучших технологий неразрывно связана с коррекцией действующей системы нормирования по составу не только очищенных сточных вод, но и требований, которые предъявляются к абонентам, отводящим сточные воды в канализационную сеть.

Для улучшения экологической ситуации в Российской Федерации необходимо реформировать действующее экологическое законодательство. Современное российское законодательство ориентировано на «нулевое воздействие», поскольку критерием допустимости сбросов сточных вод в водные объекты являются предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ, установленные для водных объектов рыбохозяйственного использования. В то же время подавляющее большинство водных объектов характеризуется качеством воды, когда ряд компонентов имеет превышающие ПДК концентрации. Невыполнимость требований российского законодательства в области водоохраны привела к практически повсеместному применению системы лимитов на сбросы, которые устанавливаются «волевым решением», без учета реального состояния водных объектов и экономической устойчивости предприятия.

Альтернативой этому подходу должен стать переход от нормирования качества воды «на конце трубы» к регулированию технологий производственной деятельности, которые и являются источниками загрязнений. В качестве норматива предприятие может выбрать одну из нескольких наилучших доступных технологий (НДТ). Этот термин в соответствии с Директивой № 2008/1/ЕС «означает наиболее эффективную и передовую стадию в развитии производственной деятельности и методов эксплуатации объектов, которые указывают на практическую пригодность определенных технологий в целях создания основы для определения предельных величин выбросов, предназначенных для предотвращения или, если оно практически невозможно, сокращения выбросов и воздействия на окружающую среду в целом». Термин НДТ означает технологии, уровень развития которых делает возможным их внедрение в соответствующей отрасли промышленности с учетом экологической, экономической и технической целесообразности, а также затрат и выгод. В ЕС существуют официальные перечни НДТ, представленные в соответствующих периодически обновляемых справочниках «Best Available Techniques Reference Notes» (BREF). На принципе НДТ основано и нормирование сбросов: фактически допустимы сбросы, если технология предприятия находится в перечне НДТ.

Предприятие самостоятельно с учетом условий рыночной конкуренции выбирает, приобретает, устанавливает и эксплуатирует необходимое технологическое оборудование и технические средства, а также обеспечивает должный порядок их эксплуатации и технического обслуживания.

Проектировщики должны сопоставить конкретное решение (технологии производства, технические решения, очистное оборудование) с технологиями, представленными в BREF. При этом удельные объемы воздействия на окружающую среду должны быть близки к соответствующим ориентировочным показателям, указанным в документах BREF.

В РФ предполагается переход к нормированию сбросов на основе НДТ (проект № 584587-5 [1]), уже начата разработка справочников НДТ.

Новый подход к принципу нормирования рассмотрим на примере технологии очистки городских сточных вод, которые составляют до 20 % общего водосброса и являются одним из основных источников загрязнения водных объектов. Отметим, что водопроводно-коммунальное хозяйство (ВКХ) характеризуется следующими отличительными особенностями:

– коммунальные очистные сооружения (КОС) ВКХ сами не образуют загрязняющих веществ, соответственно, не могут снизить количество и массу загрязнений, поступающих в канализацию. Однако НДТ могут быть применены как на предприятиях-абонентах систем централизованной канализации, так и КОС водоканалов [2];

– НДТ КОС должны быть также экономически обоснованы [3], поскольку повышение требований к чрезмерной глубине очистки напрямую трансформируется в рост тарифа за услуги канализации.

Цель нормирования сбросов (как способа регулирования антропогенных воздействий на водные объекты) – эколого-экономическая оптимизация, т. е. минимизация вредных воздействий на водные объекты при определенных затратах или минимизация затрат при определенном уровне воздействия.

Рассмотрим реализацию этого общего подхода для очистки поступающих на КОС сточных вод. Современные технологии очистки сточных вод во всем мире способны целенаправленно удалять в основном загрязняющие вещества (ЗВ), которые условно назовем бытовыми (БЗВ), содержащими взвешенные вещества, некоторые соединения азота и фосфора и характеризующимися БПК, ХПК. Проблеме повышения эколого-экономической эффективности очистки БЗВ посвящено большое число исследований [4] и именно очистка БЗВ является приоритетной целью совершенствования технологий очистки.

В настоящее время пристальное внимание привлечено к группе ЗВ, которую также условно называют техногенными загрязняющими веществами (ТЗВ). Это металлы (в разных формах), нефтепродукты, СПАВ и некоторые другие.

В последние 20 лет все возрастающее внимание в развитых странах привлекает группа ЗВ, которые присутствуют в сточных водах преимущественно в микроконцентрациях (десятки микрограмм и меньше). Их часто называют ксенобиотиками, т.е. веществами, естественно не входящими в биотический круговорот и чужеродными биоте. Присутствие ксенобиотиков в окружающей среде прямо или косвенно связано с хозяйственной деятельностью человека, значительная их часть формируется в быту.

Использование принципа НДТ для коммунального водоотведения не должно сводиться только к технологиям очистки. Требуется расширенная трактовка понятия «основное производство». Для городской системы водоотведения под «основным производством» следует понимать процессы, приводящие к поступлению загрязненных сточных вод в систему канализации. Регулирование «основного производства» как раз и должно основываться на принципе НДТ с целью ограничения поступления в сточные воды техногенных ЗВ, учитывая, что большинство КОС ориентированы на удаление БЗВ.

От требований по содержанию ТМ, нефтепродуктов, СПАВ и др. зависит уровень затрат предприятий на внедрение НДТ и очистку СВ. Заметим, что Федеральным законом РФ № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» от 7 декабря 2011 г. право установления допустимых концентраций загрязняющих веществ на сброс в системы канализации населенных пунктов, а также платы за сброс ЗВ делегировано органам исполнительной власти субъектов РФ.

Техническая политика развитых стран в отношении нормирования содержания ТЗВ в сточных водах абонентов характеризуется весьма умеренными требованиями (табл. 1), достижимыми с помощью обычных методов локальной очистки.

Очевидно колоссальное различие требований к содержанию металлов в сточных водах, отводимых абонентами в канализацию, в развитых странах и малых городах России. Большая часть допустимых концентраций для техногенных загрязнений, используемых в российских населенных пунктах, технически недостижима.

В табл. 2 приведены данные о возможностях реагентной очистки сточных вод гальванопроизводств [5].

**Таблица 1.** Сравнение ПДК для приема сточных вод в ряде российских и зарубежных систем канализации (с использованием данных [4]), мг/л

Страна, город	ПДК				
	Cu	Zn	Ni	Cr	Fe
США	2,07	1,48	2,38	–	–
Германия	0,5	2	0,5	–	3
Австрия	0,5	2	0,5	0,5	–
Европейский Союз	0,5	0,5	0,5	0,5	–
Литва	1	1	0,5	1	–
Беларусь, Минск	1	5	0,44	2,5	3,3
РФ, Москва	0,5	2	0,5	1	3
РФ, Киржач	0,0001	0,001	0,001	0,014	0,006
РФ, Обнинск	0,007	0,008	0,01	0,3	0,6
РФ, Калуга	0,0026	0,0036	0,012	0,029	1,98
РФ, Мценск	0,0009	0,04	0,028	0,01	0,1
РФ, Тула	0,0125	0,06	0,04	0,1	3,0
РФ, Казань	0,08	0,066	0,01	0,4	0,6
ПДК питьевой воды <sup>1</sup>					
РФ	1	5	0,1	0,05	0,3
ПДК питьевой (бутилированной) воды <sup>2</sup>					
РФ	1	3–5	0,02	0,03–0,05	0,3
ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования <sup>3</sup>					
РФ	1	1	0,02	0,05	0,3
ПДК для рыбохозяйственных водоемов <sup>4</sup>					
РФ	0,001	0,01	0,01	0,07	0,1

*Примечание:* <sup>1</sup> – СанПиН 2.1.4.1074.01, СанПиН 2.4.1075.02; <sup>2</sup> – СанПиН 2.1.4.1116-02; <sup>3</sup> – СанПиН 2.1.5.980-00, ГН 2.1.5.1315-03; <sup>4</sup> – Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

**Таблица 2.** Данные о возможностях реагентной очистки сточных вод гальванопроизводств

Компонент	Остаточная концентрация после локальной очистки, мг/л	ПДК <sub>рх</sub> , мг/л
Fe <sup>2+</sup>	0,3–1	0,1*
Fe <sup>3+</sup>	0,3–0,5	0,1*
Cr <sup>3+</sup>	0,05–0,1	0,07
Cu <sup>2+</sup>	0,1–0,15	0,001*
Ni <sup>2+</sup>	0,25–0,75	0,01*
Zn <sup>2+</sup>	0,05–0,1	0,01*
Cd <sup>2+</sup>	2,5	0,005*
Al <sup>3+</sup>	0,1–0,5	0,04*

Примечание: \* – все растворимые в воде формы.

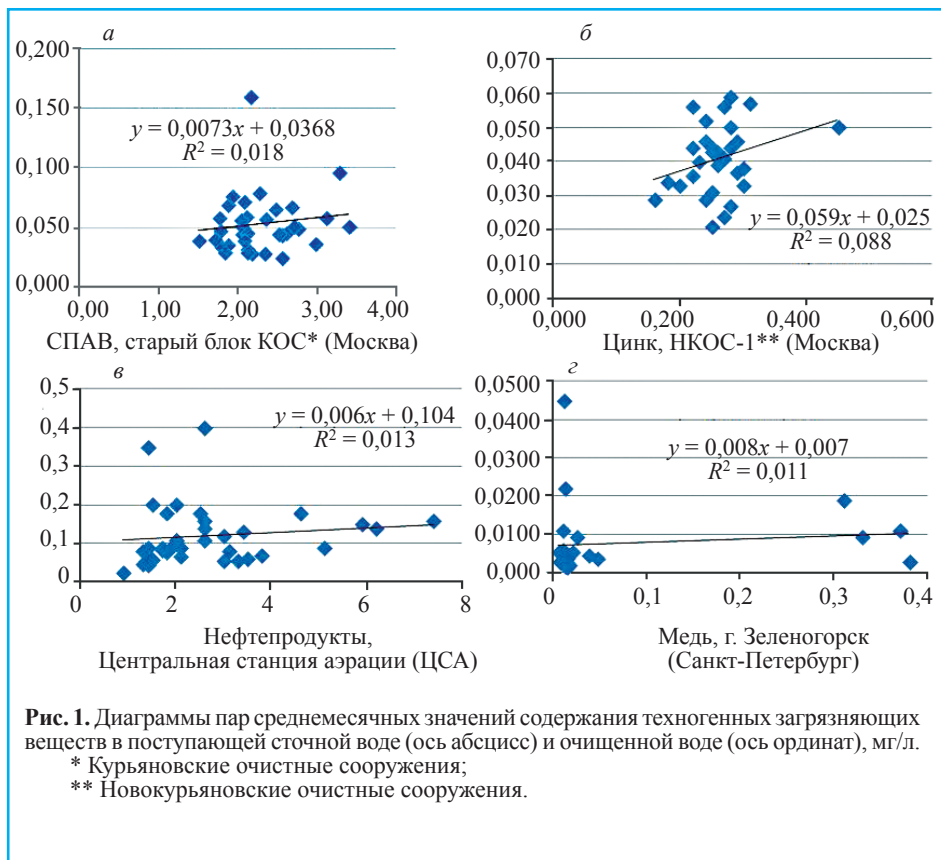
Вопросы эффективности очистки ТЗВ на КОС, ориентированных на очистку бытовых загрязнений, имеют ключевое значение в проблеме регулирования сбросов абонентов в сеть и сбросах КОС при водоотведении в водный объект.

Рассмотрим, какова эффективность очистки ряда ЗВ на сооружениях биологической очистки. Проведена статистическая обработка данных по блокам очистных сооружений Москвы и Санкт-Петербурга по контролируемым техногенным загрязнениям за 3 года эксплуатации для среднемесячных концентраций ТЗВ на входе в ОС и на выходе. На рис. 1 представлены диаграммы пар входящей и выходящей концентраций техногенных загрязнений и прямые линейной регрессии [5].

Из 107 определенных значений коэффициента детерминации  $R^2$  всего 24 характеризуют ненулевую связь между входной и выходной концентрациями (значение  $R^2 > 0,1$ ), из них 19 относятся к слабой связи (0,1–0,3) и всего 5 – к умеренной (0,3–0,5). Полученные данные означают, что удаление тяжелых металлов и других техногенных загрязнений на сооружениях биологической очистки является стохастическим процессом: функциональная связь «вход-выход» отсутствует.

В то же время средняя эффективность очистки ТЗВ достаточно высокая. В табл. 3 приведены средние и минимальные за 3 года величины эффективности удаления для КОС Москвы (8 очистных сооружений и их отдельных блоков).

Из представленных результатов следует, что хотя средняя концентрация некоторых компонентов после ОС меньше нормативной величины, однако в значительной части проб они превышаются вследствие высокой вариабельности. Этот вывод объясняют весьма высокие допустимые концентрации,



повсеместно используемые для сбросов ТЗВ в муниципальные системы канализации в развитых странах (см. табл. 1).

При очистке коммунальных стоков возникает активный ил (АИ), представляющий биоценоз колоний бактерий и простейших организмов. Поскольку масса АИ растет в ходе очистки, необходима его утилизация. Наиболее привлекательное направление переработки – высокотемпературная термическая сушка осадка, после которой осадок применяется в качестве удобрения, строительного материала или альтернативного топлива.

**Таблица 3.** Эффективность удаления некоторых техногенных загрязняющих веществ на Курьяновских очистных сооружениях Москвы, % (в числителе – средняя эффективность удаления, в знаменателе – минимальная)

Наименование загрязняющего вещества								
Нефтепродукты	Фенолы	СПАВ	Cu	Ni	Cr <sup>+3</sup>	Zn	Cd	Al
98/96	99/98	97/95	95/88	71/50	93/85	82/76	95/89	97/93



Для использования в целях удобрения осадок должен удовлетворять нормативам содержания ТЗВ (ПДК почв).

Для оценки влияния на экосистему реки поступающих со сбросами органических и биогенных веществ следует учесть, что любой водный объект в естественном состоянии обладает потенциалом самоочищения. Поэтому нормирование состава сбросов КОС должно учитывать этот фактор.

В качестве примера рассмотрим р. Москву, которая подвергается мощному антропогенному воздействию на всем своем протяжении, но больше всего в зоне крупнейшего мегаполиса – города Москвы. Выявлены основные закономерности гидрохимического и гидробиологического режима (данные [6]) на двух участках реки в Москве – до и после сброса сточных вод Курьяновскими очистными сооружениями (КОС). Состав воды на первом участке формируют ливневые и промышленные сточные воды, действующие на всем протяжении реки в черте города, на втором – хозяйственно-бытовые, действующие в зоне выпуска Курьяновских очистных сооружений.

*Участок 2а в черте города: КОС – «Беседы».* Общая длина участка 10 км. Поперечное сечение реки меняется от 350 до 2000 м<sup>2</sup>, глубина от 2 до 15 м по фарватеру, средняя глубина реки по поперечным профилям 4 м. Берега частично с гранитными набережными (около 50 % длины). На этом участке поступают сточные воды промышленных предприятий (в том числе нефтеперерабатывающего завода) и р. Городня. Расходы всех притоков в сумме составляют менее 5 % от расхода реки. Среднемесячная скорость течения от 0,05 до 0,15 м/с. На участке имеются три зоны седиментации, где скорости течения ниже значений размывающих скоростей для илисто-глинистых частиц: Сабуровская яма (с глубинами до 15 м); Братеевское и Бесединские расширения. Общая площадь дна зон седиментации примерно равна площади стремнинных участков.

*Участок 2б: от пункта «Беседы» до пункта «Заозерье» (до устья р. Пехорки, сброс от Люберецких очистных сооружений (ЛОС)).* Длина участка 24 км. Поперечное сечение реки меняется от 300 до 1100 м<sup>2</sup>. Скорости течения – от 0,1 до 0,3 м/с. Поступают сточные воды промышленных предприятий, сельскохозяйственные, из наиболее значимых притоков р. Пахра. Расходы всех притоков составляют менее 15 % от расхода реки. Зоны седиментации на данном участке выражены слабо, их площадь менее 10 % от общей площади дна. Гидрохимическая характеристика воды представлена в табл. 4.

Ниже КОС качество воды р. Москвы значительно ухудшается: по БПК – в 2 раза; по ХПК – в 1,5; по минеральным формам азота – от 12 до 22 раз; общий фосфор – в 7 раз; минеральный фосфор – в 22 раза. На втором участке происходит снижение содержания как суммарного, так и аммонийного азота, а также БПК.

**Таблица 4.** Средние значения гидрохимических показателей по изучаемым участкам р. Москвы, июнь 2006 и 2007 гг.

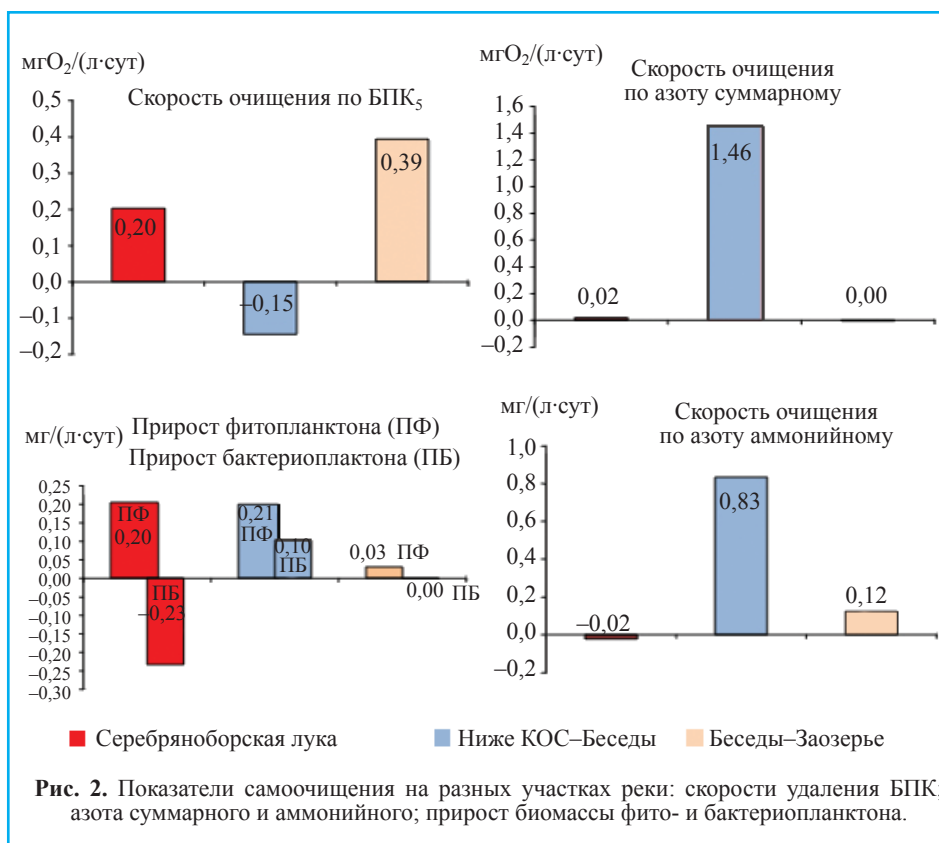
Показатель	Участок			
	Выход из луки Серебряный Бор	Ниже КОС	Беседы	Заозерье
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	1,70	3,71	3,85	2,82
ХПК, мгО/л	21	37	33	32
Доля БПК от ХПК, %	8,1	10,0	11,7	8,8
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	0,31	4,05	3,23	2,81
N-NO <sub>2</sub> , мг/л	0,02	0,24	0,30	0,26
N-NO <sub>3</sub> , мг/л	0,14	3,04	3,55	4,02
Азот суммарный, мг/л	0,47	8,51	7,08	6,12
P <sub>общ</sub> (по P), мг/л	0,11	0,77	0,79	0,76
Фосфаты (по P), мг/л	0,02	0,43	0,51	0,48
Доля фосфатов от P <sub>общ</sub> , %	22	55	64	63

Под влиянием городских сточных вод в реке формируются сообщества, которые обеспечивают определенную более высокую способность реки к самоочищению по указанным в табл. 4 компонентам, чем в естественном состоянии (рис. 2). Учитывая сложный характер самоочищения, зависящий и от состояния водного объекта, и от состава микробиологических сообществ активного ила, целесообразно проведение наблюдений в каждом конкретном водном объекте для оценки величины этого эффекта. Особый интерес эти оценки представляют в тех случаях, когда идет реконструкция очистных сооружений, внедряются новые технологии, предусматривающие повышение качества сбрасываемой в реку очищенной воды за счет снижения в ней биогенных элементов.

Структура бактериопланктона меняется: при возрастании общей численности бактерий доля гетеротрофов сначала увеличивается (на участке 2а), а потом довольно резко снижается. Увеличение общей численности бактерий на участке 2а сопровождается увеличением биоокисляемого органического вещества (табл. 4), часть трудноокисляемого органического вещества (ОВ) переходит на этом участке в биодоступную форму, отношение БПК/ХПК повышается (см. табл. 4).

На процессы самоочищения городской реки значительное влияние оказывают очищенные хозяйственно-бытовые сточные воды. Изменяя видовой состав бактериопланктона, динамику его биомассы, они влияют на содержание взвешенных веществ и седиментационные свойства, на содержание всех форм азота. В период летней межени участок реки протяженностью





около одних суток движения воды ниже выпуска характеризуется максимальной скоростью самоочищения от избыточного азота и трансформацией трудноокисляемого органического вещества в биодоступную форму.

Участок реки ниже КОС функционирует как биологический реактор, который за счет действия гетеротрофных бактерий производит постадийное окисление ОВ и далее нитри-денитрификацию. В толще воды проходит процесс нитрификации, а в постоянно взмучиваемом (из-за высоких скоростей течения) придонном слое – денитрификации. Наличие достаточного перемешивания между зонами позволяет реке удалять более 50 % поступающего от городских сточных вод различных форм азота. Эффективность функционирования такого биологического реактора зависит от поступления вместе с БОВ бактерий-нитрификаторов.

Процесс денитрификации сопровождается деградацией многих токсичных ОВ в донных отложениях. Следовательно, содержание нитратного азота (одного из субстратов денитрификации) и содержащих биомассу бактерий-денитрификаторов взвешенных веществ (ВВ) в сточных водах КОС

**Таблица 5.** Взаимосвязь процессов самоочищения реки и технологических приемов очистки на КОС

Изменяемый параметр в очищенной воде (увеличение/уменьшение: +/-)	Технологический прием, позволяющий изменить параметр	Время реализации, сут	Процессы самоочищения реки
Содержание взвешенных веществ (+)	Повышение уровня стояния ила во вторичных отстойниках	>1	Сорбция, седиментация
Содержание биомассы бактерий-нитрификаторов (+)	Увеличение аэробного возраста ила за счет снижения расхода избыточного активного ила. Увеличение % % регенерации ила с 25 до 50 %	>7	Нитри-денитрификация, удаление органических токсикантов
Отношение $N_{\Sigma}/P-PO_4$ (+)	Увеличение объема аэробных зон в сооружениях с нитри-денитрификацией (за счет уменьшения объема аноксидных зон). Применение химического реагентного осаждения фосфатов	>4-7	Изменение состава планктонного сообщества
Отношение $P-PO_4/P_{\text{общ}}$ (+)	За счет снижения содержания взвешенных веществ – понижением уровня стояния ила во вторичных отстойниках, применение химического реагентного осаждения фосфатов	>1	Осаждение-соосаждение тяжелых металлов

должно обеспечивать эффективное протекание данного процесса. Этот фактор рекомендуется учитывать при разработке нормативов по азоту нитратов и ВВ для очищенных сточных вод коммунальных очистных сооружений.

Повышение эффективности процессов самоочищения может быть обеспечено проведением ряда технологических мероприятий, представленных в табл. 5.

Установленные закономерности позволяют утверждать, что при обосновании выбора технологий очистки следует учитывать и процессы самоочищения в реке. Применение «тонкой настройки» экосистемы реки позволит снизить энергетические и финансовые затраты на очистку стоков.

### Выводы

Альтернативой действующей в России системы регулирования сбросов сточных вод является переход от нормирования качества воды «на конце трубы» к регулированию технологий производственной деятельности, которые и являются источниками загрязнений. В качестве норматива предприятие может выбрать одну из нескольких наилучших имеющихся технологий (НДТ).

Цель нормирования сбросов коммунальных сточных вод – эколого-экономическая оптимизация, что означает минимизацию вредных воздействий на водные объекты при определенных затратах или минимизация затрат при определенном уровне воздействия.

Регулирование антропогенных воздействий для коммунальных сточных вод должно учитывать следующие принципы:

- переход предприятий-абонентов системы водоотведения коммунальных сточных вод на принцип НДТ;
- нормирование техногенных загрязняющих веществ в сточных водах предприятий должно учитывать параметры их очистки на коммунальных биологических очистных сооружениях и не ориентироваться на ПДК<sub>рх</sub>;
- постоянное совершенствование технологий коммунальных очистных сооружений должно ориентироваться на снижение нагрузки по органическим и биогенным веществам;
- при нормировании сбросов коммунальных очистных сооружений следует учитывать потенциал самоочищения водных объектов – приемников сточных вод;
- потенциал самоочищения может быть повышен определенными технологическими мероприятиями – НДТ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект № 584587-5 во втором чтении «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (во втором чтении). Режим доступа: [http://mnr.gov.ru/upload/iblock/0dd/proekt\\_fz.doc](http://mnr.gov.ru/upload/iblock/0dd/proekt_fz.doc) (дата обращения 19.03.2014).
2. *Оболдина Г.А., Сечкова Н.А., Попов А.Н., Поздина Е.А.* Методы оценки комплексного воздействия технологий при водопользовании // Водное хозяйство России. 2014. № 2. С. 33–49.
3. *Касимова Е.М., Оболдина Г.А.* Эколого-экономическое обоснование выбора технологий при регулировании водопользования // Водное хозяйство России. 2014. № 2. С. 50–59.
4. *Данилович Д.А.* Наилучшие доступные технологии для коммунального водоотведения // ВСТ. 2012. № 3. С. 6–13.
5. *Когановский А.М., Клименко А.Н., Левченко Т.М., Рода И.Г.* Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. М.: Химия, 2005. 288 с.
6. *Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В.* Охрана загрязненной реки: интенсификация самоочищения и оптимизация водоотведения. М.: ИВП РАН, 2011. 388 с.

#### Сведения об авторах:

Веницианов Евгений Викторович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», 119333, Москва, ул. Губкина, 3; e-mail: [eugeny.venitsianov@gmail.com](mailto:eugeny.venitsianov@gmail.com)

Звезденкова Галина Александровна, старший инженер, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», 119333, Москва, ул. Губкина, 3; e-mail: [galyavdanina@mail.ru](mailto:galyavdanina@mail.ru)