

ЭВТРОФИКАЦИЯ

● Стратегия

● Окружающая
среда

● Технологии



ЧТО ТАКОЕ ЭВТРОФИКАЦИЯ?

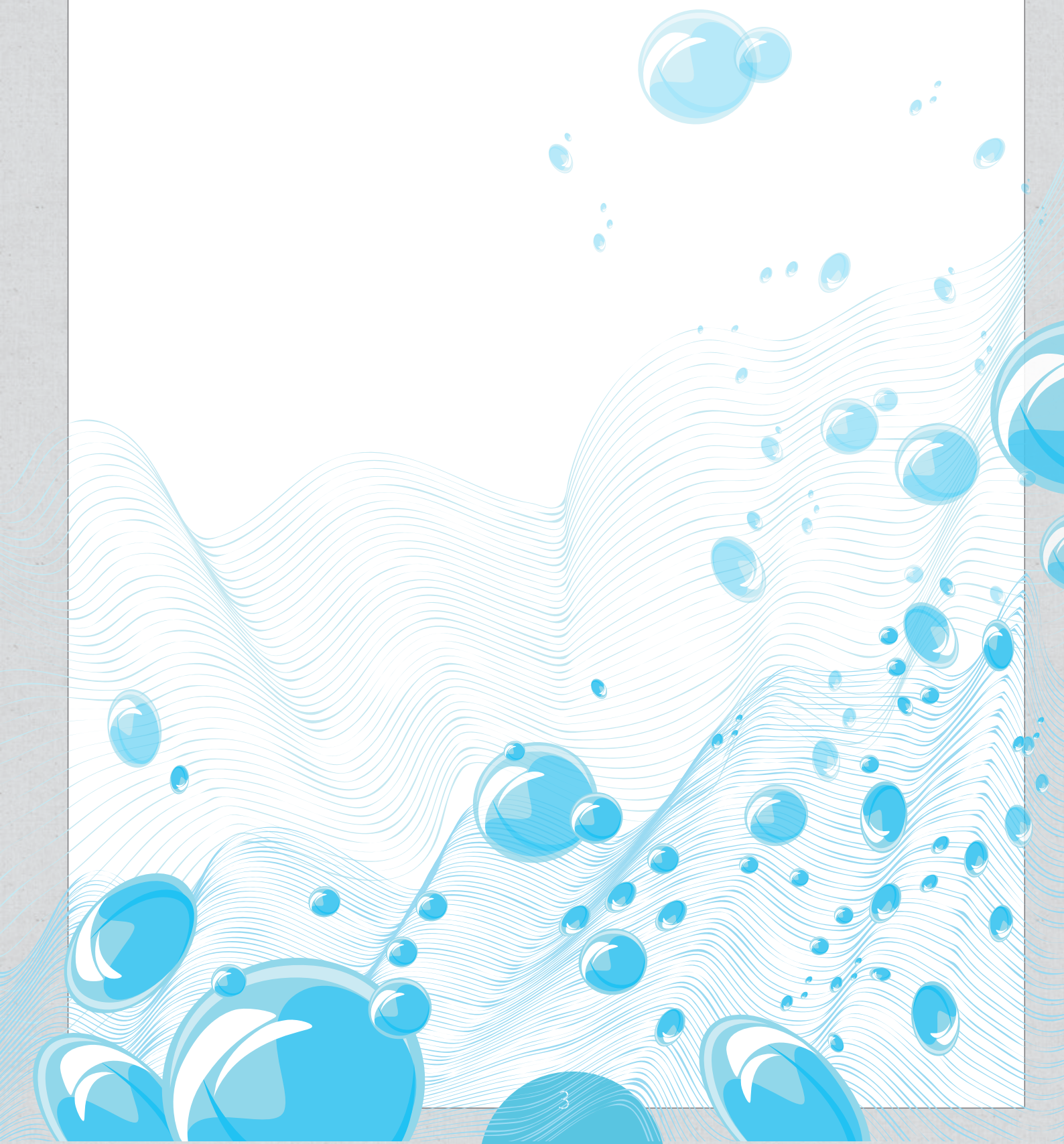
Эвтрофикация – вредное, губительное для обитателей водохранилищ озера и моря явление. Некоторые из участков морского дна Балтийского моря являются крупнейшими «мертвыми» зонами в Европе.

ЭВТРОФИКАЦИЯ

Эвтрофикация вызывается избытком биогенных элементов, в основном, азота и фосфора, что ведет к увеличению образования биомассы в водных экосистемах. Это порождает ряд серьезных негативных последствий, например, снижение прозрачности воды, интенсивное развитие нитчатых водорослей и зарастание камышом, массовое «цветение» водорослей и дефицит кислорода в придонных слоях. Многие виды микроскопических сине-зеленых водорослей токсичны для людей и животных.

СОДЕРЖАНИЕ

Рамочная концепция	4
Поступление биогенных элементов и окружающая среда	8
Технологии улучшенного удаления биогенных элементов.....	10



ПРИНЦИПЫ И ТЕХНОЛОГИИ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Пекка Салминен и Ханнамария Юлирууси, Союз Балтийских городов

Охрана общих водных ресурсов должна быть приоритетом для всех наций с целью обеспечения наличия достаточного количества высококачественной воды для удовлетворения потребностей людей, экономики и окружающей среды.

У берегов Балтийского моря живут 90 миллионов человек, многие из них в той или иной степени зависят от моря, получая от него средства к существованию. Вместе с тем отходы и выбросы промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также отходы потребления, в конце концов, попадают в море. Балтийское море – одно из самых загрязненных морей в мире. Одной из наиболее серьезных опасностей является эвтрофикация, которая приводит к чрезмерному росту водорослей. При разложении этого излишка органического вещества происходит поглощение содержащегося в воде кислорода, что приводит к угнетению других видов живых организмов. Это также характерно и для многих материковых водоемов, которые страдают от плохого управления водными ресурсами и, в частности, от их перегрузки биогенными элементами.

Для успешного управления природными ресурсами требуется точная информация об имеющихся ресурсах, способах их использования и конкурентного спроса на них. Более того, необходимы оценка

и назначение приоритетов важности и ценности конкурентного спроса, а также механизмы преобразования стратегических решений в эффективные действия.

Для воды как ресурса это особенно сложно, так как водотоки могут пересекать несколько национальных границ, а в число способов использования воды может входить много таких, которым сложно дать финансовую оценку и какими также может оказаться сложно управлять в обычных условиях.

В то же время необходимо создать новые возможности для инновационных решений в стратегических и практических аспектах управления водными ресурсами, чтобы обеспечить хорошее качество воды и рациональный баланс в использовании водных ресурсов. Поэтому реализация принципа «виновник платит за загрязнение» должна быть усовершенствована посредством мониторинга, разработки ценовой политики на воду и повышения эффективности экономического анализа.

Развитие международного сотрудничества и более надежных методов защиты общих водных ресурсов обеспечат более высокую эффективность сектора управления водными ресурсами.



Фото: Для очистки воды в регионе Балтийского моря необходимы совместные действия.

Задачи стратегии управления водными ресурсами должны все более и более интегрироваться в другие сопутствующие стратегические сферы, такие как сельское хозяйство, возобновляемые источники энергии и рыбопромысловые хозяйства. Для рационального управления трансграничными реками необходимы договоры между государствами об управлении речным бассейном.

Общая концепция ЕС для управления водными ресурсами

В 2000 году, чтобы объединить на общей основе разнообразие различных директив относительно водных вопросов, Европейским Союзом была создана Водная Рамочная Директива (ВРД). Документ включает в себя все аспекты водопользования: бытовые, промышленные, сельскохозяйственные, отдых и охрану окружающей среды. Директива устанавливает основы законодательства Сообщества, в соответствии с которыми государства-члены должны обеспечить защиту внутренних поверхностных вод, переходных, прибрежных и подземных вод в пределах ЕС.

Целью Директивы является достижение «хорошего статуса» всех подземных и поверхностных вод (рек, озер, переходных и прибрежных вод) в пределах ЕС. Экологическое и химическое состояние поверхностных вод оценивается по следующим критериям:

- гидробиологические параметры (рыба, бентосные беспозвоночные, водная флора);
- гидроморфологические параметры, такие как структура берега, продольная непрерывность, отложения русла реки и т.д.;
- физико-химические параметры – температура, насыщение кислородом и биогенные условия;
- химические параметры, относящиеся к нормам качества окружающей среды для специфических веществ, загрязняющих бассейны рек. Эти нормы определяют максимальные концентрации конкретных загрязнителей воды. Если хотя бы одна из таких концентраций превышена, водоем не может классифицироваться как имеющий «хороший экологический статус».

Новый подход ВРД к управлению водными ресурсами требует от государств-членов управления на уровне речных бассейнов, в том числе, трансграничных. Директива также поощряет широкое участие внешних заинтересованных сторон в этом процессе, поскольку очевидно, что роль граждан и групп граждан имеет решающее значение для достижения хорошего экологического статуса водотоков. Кроме того, адекватные цены на воду в Директиве рассматриваются в качестве стимула для устойчивого использования водных ресурсов. Действия по внедрению Директивы предполагают поле для совместного обучения в рамках ЕС и обмена опытом партнеров из других частей земного шара.

В Европейской Комиссии макрорегиональное сотрудничество воспринимается как возможное решение крупномасштабных проблем. В стратегии ЕС для региона Балтийского моря Европейская Комиссия определяет несколько задач и приоритетных сфер, связанных с улучшением управления водными ресурсами. Сюда входит, например, уменьшение поступления биогенных и опасных веществ в водоемы, а также сохранение рыбных хозяйств и выявление полного потенциала региона путем проведения исследований и внедрения инноваций. Наличие нескольких инструментов финансирования ЕС дает возможность создания проектов международного сотрудничества как одного из средств достижения данных целей.

ХЕЛКОМ – международный директивный орган для более здорового Балтийского моря

В регионе Балтийского моря прибрежные страны объединили свои усилия в создании Хельсинкской комиссии по охране морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ), которая, являясь директивным органом в сфере окружающей среды региона Балтийского моря, разрабатывает общие экологические задачи и мероприятия. Общим видением на будущее является здоровая окружающая среда Балтийского моря с разнообразными биологическими компонентами, функционирующими в балансе, что выразится в хорошем экологическом состоянии и поддержит широкий спектр рациональных экономических и социальных мероприятий.

Основная цель ХЕЛКОМ – защита морской среды Балтийского моря от всех источников загрязнения, а также восстановление и поддержка его экологического баланса. Конвенция, подписанная представителями государств-членов в 1992 году, охватывает целиком регион Балтийского моря, включая внутренние воды, а также собственно морскую среду и дно моря. Разработка мер предусматривается для всего водосборного бассейна Балтийского моря с целью уменьшения загрязнений, поступающих от наземных источников.

ФАКТЫ ДЛЯ СПРАВКИ

В соответствии с Планом действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю, к 2021 году необходимо сократить ежегодный сброс фосфора в Балтийское море более чем на 15 000 тонн. План действий включает в себя рекомендации по требованиям к очистке сточных вод на городских сооружениях ОСК относительно сброса биогенных элементов. До некоторой степени, эти рекомендации более строгие, чем требования Директивы ЕС (см. таблица 1).

Таблица 1. Требования к очистке сточных вод от общего фосфора и общего азота для очистных сооружений в водосборном бассейне Балтийского моря.

	Требования к сокращению общего фосфора (P)		Требования к сокращению общего азота (N)	
	Мин. % сокращения	Макс. концентрация на выходе	Мин. % сокращения	Макс. концентрация на выходе
Для сооружений ОСК > 100 000 экв. населения				
План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю	90	0,5 мг/л	70–80	10 мг/л
Директива ЕС об очистке городских сточных вод	80	1 мг/л	70–80	10 мг/л

Необходимость соблюдения рекомендаций ХЕЛКОМ в регионе Балтийского моря была признана на высшем политическом уровне. Однако различные страны рассматривают обоснованность этих рекомендаций по-разному. Некоторые из стран региона, например Эстония, внедряют более строгие требования ХЕЛКОМ к очистке сточных вод в законодательную базу. В Финляндии, с другой стороны, несмотря на менее строгие требования государственных законов, экологические разрешения для очистных сооружений обычно предусматривают требования к очистке в соответствии с уровнем, требуемым ХЕЛКОМ. Некоторые страны полагаются на добровольные действия коммунальных предприятий и муниципалитетов. Например, в г. Ростоке, Германия, коммунальное предприятие добровольно придерживается более высокого уровня требований к очистке сточных вод, тем самым соблюдая рекомендации ХЕЛКОМ.

Политика Беларуси в области водных ресурсов

Одной из целей Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 года является сближение законодательства Республики Беларусь с нормами ЕС. Задачи Водной Рамочной Директивы ЕС и белорусской стратегии подобны, и оба документа стремятся к достижению хорошего экологического статуса поверхностных вод.

Беларусь присоединилась к Хельсинской Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Водная Конвенция ЕЭК ООН), включая Протокол по проблемам воды и здоровья, который является приложением к Конвенции. Главная цель Протокола заключается в охране здоровья человека и в обеспечении его благополучия путем более рационального использования воды, в том числе посредством охраны водных экосистем. Основное внимание Конвенции уделяется трансграничному водному сотрудничеству. Беларусь подписала и в настоящее время осуществляет четыре межправительственных и девять межведомственных двусторонних природоохранных соглашений. Соглашения содержат общие принципы экологического сотрудничества, в том числе по защите трансграничных водотоков и озер, а также закладывают основу для совместных действий по достижению поставленных целей.

Плохое состояние Балтийского моря признано также в Беларуси, и эвтрофикация рассматривается как важная экологическая проблема. Однако в настоящее время передовые методы биологического и химического удаления биогенных элементов из сточных вод не имеют широкого распространения в Беларуси. Ситуация должна улучшиться, поскольку разрабатываются новые нормативы и требования к проектированию очистных сооружений. В Беларуси в настоящее время 92% городского и 32% сельского населения подключены к централизованной канализации и местной канализации (септики). Несмотря на достаточный уровень развития централизованной канализации, Беларусь сталкивается с проблемами, которые знакомы всему региону Балтийского моря: очистные сооружения были построены несколько десятилетий тому назад, и нуждаются в комплексной реконструкции и модернизации. В Беларуси в стадии реализации находятся этап III Государственной программы по водоснабжению

и водоотведению «Чистая вода» на 2011–2015 годы, а также различные международные инвестиционные проекты для решения проблем сохранения здоровой окружающей среды. Проекты по реконструкции осуществляются при помощи кредитов от Международного банка реконструкции и развития (МБРР), Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) и Северного инвестиционного банка (СИБ). В дополнение к кредитам, для проектов предоставлены субсидии Природоохранного партнерства Северного измерения (ППСИ), Шведского агентства международного сотрудничества в области развития (СИДА), Государственного фонда охраны окружающей среды и управления водными ресурсами Польши и Министерства иностранных дел Финляндии. Чтобы получить возможность накопления больших количеств инвестиций, а также для улучшения инвестиционной привлекательности сектора ВКХ, как экологически, так и экономически, в ближайшем будущем планируется сделать юридически возможным создание государственно-частных партнерств в водном секторе Беларуси.

Адекватное ценообразование

Необходимость обеспечения соответствующего снабжения ресурсом, спрос на который постоянно растет, также является одним из стимулов того, что является, пожалуй, самым важным аспектом Водной Рамочной Директивы ЕС – ценообразование. Адекватные цены на воду стимулируют устойчивое использование водных ресурсов и, таким образом, способствуют достижению экологических целей, установленных Директивой.

Государства-члены ЕС будут обязаны убедиться, что цена, взимаемая с потребителей воды, – например, за забор и распределение пресной воды, а также сбор и очистку сточных вод – отражает истинные затраты. Если некоторые страны имеют давнюю традицию применения этого принципа, в других странах в настоящее время это не так. Тем не менее, предусмотрены также исключения, например, для менее благополучных районов или для предоставления основных услуг по доступной цене.

Чтобы повысить экономическую устойчивость предприятий ВКХ в Беларуси, государственная программа «Чистая вода» на 2011–2015 годы предусматривает поэтапное увеличение возмещения затрат на коммунальные услуги населению с учетом роста доходов. Цель состоит в том, чтобы в 2016 году достигнуть 100%-го возмещения затрат на водоснабжение и водоотведение.

Многие задачи остаются нерешенными

По мере определения общих угроз и становления перспектив участники международного сотрудничества должны уделить особое внимание действиям и стратегиями, которые обеспечивают долгосрочное рациональное управление водными ресурсами. В качестве поддерживающей инициативы Организация Объединенных Наций объявила 2005–2015 годы Десятилетием «Вода для жизни». Основной целью Десятилетия является стимулирование усилий для выполнения международных обязательств, принятых по вопросам управления водными ресурсами и связанным с ними вопросам.

К сожалению, на пути к выполнению обязательств и переходе от перспектив к действиям по-прежнему существует несколько сложных задач. Эти задачи различны: от недостатка готовности реализовать общие решения и различных взглядов на требования к уменьшению количества биогенных элементов в пределах страны до противоречащих интересов различных секторов (например, сектора охраны окружающей среды и сельского хозяйства) и слабого понимания расходов и преимуществ достижения общих целей, которые установлены, например, в Плане действий по Балтийскому морю ХЕЛКОМ.

Для преодоления этой проблемы от всех заинтересованных сторон требуется последовательность, сотрудничество и особое внимание к вопросам охраны вод и инвестирования. Участие всех заинтересованных сторон играет крайне важную роль для поиска и реализации новых возможностей и интегрированных решений для более рациональных принципов и технологий управления водными ресурсами в будущем.

Ссылки:

План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю 2007–2021 гг.: http://www.helcom.fi/BSAP/en_GB/intro/

Водная Рамочная Директива ЕС: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/>

Стратегия ЕС для региона Балтийского моря: <http://www.balticsea-region-strategy.eu/>

Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года: http://www.minpriroda.gov.by/ru/legislation/new_url_1649710582

Государственная программа Республики Беларусь по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода» на 2011–2015 годы: <http://pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=C21101234&p2={NRPA}>

ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Туули Ойяла, Фонд Джона Нурминена

Более высокое качество очистки городских сточных вод улучшает состояние природных водоемов

Эвтрофикация обозначает поступление биогенных элементов (азот и фосфор) в природные водные объекты и негативные последствия этого процесса. Эвтрофикация ведет к нарушению экологического равновесия водных объектов, вредит рыболовству и отрицательно влияет на использование вод в питьевых, хозяйственно-бытовых и рекреационных целях.

Загрязнение водоемов излишними биогенными элементами повышает уровень первичной продукции: в эвтрофных водоемах возникает массовое развитие микроскопических водорослей и наблюдается «цветение» воды. Увеличение количества микроскопических водорослей уменьшает прозрачность воды. Типичное явление в высокопродуктивных водоемах – цветение вод сине-зелеными водорослями, многие виды которых являются ядовитыми.

Симптомами эвтрофикации водных объектов являются зарастание прибрежной зоны водными растениями, а также увеличение количества эпифитов (растений, обитающих на других растениях) и «сорных» макроскопических водорослей. Эвтрофикация также существенно ухудшает состояние среды обитания многих ценных пород рыб.

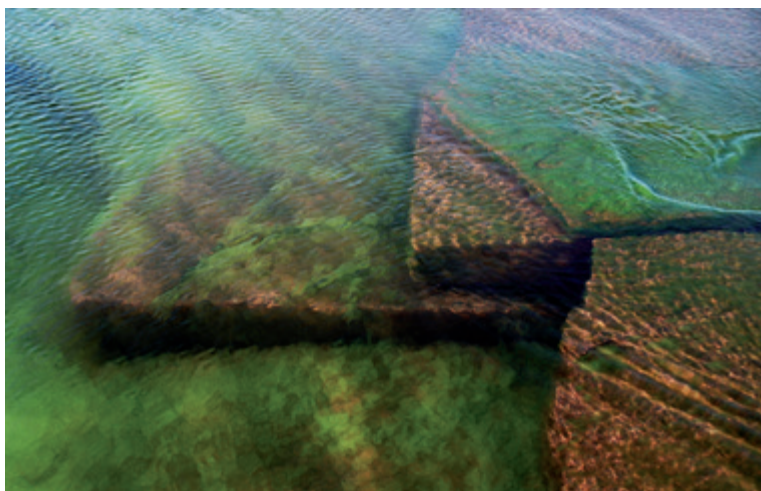


Фото: Янне Гренинг, Фонд Джона Нурминена

Повышение продуктивности водоемов увеличивает употребление кислорода для разложения органического вещества, что ведет к уменьшению содержания кислорода в воде, особенно в придонных слоях воды и/или в зимнее время. Отсутствие растворенного кислорода и образование сульфида водорода (H_2S) приводят к заморам водных организмов. Отсутствие кислорода в придонных слоях воды вызывает активное поступление фосфора из донных отложений в воду и усиливает процесс эвтрофикации.

Основными источниками поступления биогенных элементов в водоемы являются коммунальные и промышленные сточные воды, а также сельскохозяйственное производство. Для улучшения состояния водоемов крайне важно сократить нагрузку по биогенным веществам, в особенности по фосфору, поскольку чаще всего именно фосфор является биогенным элементом, регулирующим продукцию фитопланктона во внутренних водоемах.

Одним из наиболее экономически эффективных и быстрых способов решения проблемы эвтрофикации является усовершенствование удаления фосфора на городских очистных сооружениях. ХЕЛКОМ (Хельсинкская комиссия по защите морской среды Балтийского моря) рекомендует достижение среднегодового содержания фосфора в очищенных сточных водах на уровне 0,5 мг/л. Необходимо также обеспечить устойчивую обработку осадка, поскольку удаляемый из сточных вод фосфор остается в осадке.



Фото: Самули Корпинен, Лотта Руоканен, Реетта Льюнгберг, Эсси Кескинен, Сеппо Кнууттила, Metsähallitus

Уникальность Балтийского моря

Балтийское море является сравнительно небольшим и неглубоким морем, но в его исключительно обширной зоне водосбора проживает около 90 миллионов человек, используя его для различных целей. Лишь неглубокие узкие датские проливы Скагеррак и Каттегат связывают Балтийское море с океаном, а это значит, что вода в Балтике меняется медленно и вредные вещества остаются в ней на протяжении десятилетий. В вопросе оздоровления Балтийского моря эвтрофикация является ключевой проблемой. Уникальной особенностью Балтийского моря является солоноватая вода – смесь пресной и соленой морской воды. Солоноватая вода и холодные зимы создают сложные условия для обитания организмов в Балтийском море. Многие обитающие в Балтийском море виды живут на пределе адаптации, поэтому флора и фауна Балтики чрезвычайно чувствительна к изменениям в окружающей среде. Международная морская организация (International Maritime Organisation, IMO) в 2004 году объявила Балтийское море особо уязвимой морской зоной.

ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОГО УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

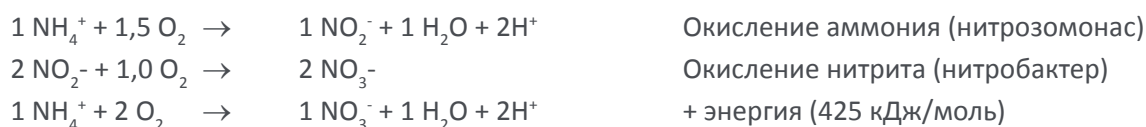
Маттиас Барьенбрух, Берлинский Технический Университет

Введение

Биогенные вещества, такие как азот и фосфор, являются причиной эвтрофикации озер, медленно текущих рек и особенно Балтийского моря. Выбросы биогенных веществ осуществляются, главным образом, вследствие аграрной деятельности, а также из точечных источников, таких как промышленность и сооружения очистки сточных вод. Азот может быть удален только с помощью биологических процессов нитрификации и денитрификации. Большинство азотных соединений переводится в состояние молекулярного азота и выводится в атмосферу. Фосфор, который зачастую имеет большое значение для качества водных объектов, может быть устранен с помощью химических или биологических мероприятий. Фосфор накапливается в активном иле и выводится из процесса путем удаления активного ила.

Удаление азота

Нитрификация осуществляется с помощью автотрофных, облигатных аэробных микроорганизмов (преимущественно нитрозомонас и нитробактер). CO_2 служит источником углерода, а аммоний и соответственно нитриты в качестве донора электронов. Для получения энергии необходим растворенный кислород (аэробные условия). Нитрификации происходит в два этапа:



Нитрифицирующие бактерии являются узкоспециализированными и чувствительны к воздействиям факторов окружающей среды (таких как ингибиторы и токсичные вещества, низкий или высокий показатель pH). Например, концентрации NH_3 от 0,1 до 1 мг / л уже могут сдерживать нитробактер. На нитрификацию в основном влияют следующие факторы:

- Соответствующий возраст активного ила 10 -15 суток
- Оптимальные значения pH 6,8 - 8,5
- Достаточная подача кислорода в аэротенк $\sim 1,5\text{-}2,0$ мг O_2 / л
- Продуцируется кислота
- Зависимость от температуры
- Пики нагрузок $\text{NH}_4\text{-N}$
- Возможный низкий уровень подачи взвешенных веществ

Нитрификация является наиболее чувствительным процессом в цепи удаления биогенных веществ. Для размножения нитрификаторов в системе необходимо обеспечить достаточный возраст ила (время удерживания ила в процессе), который зависит от температуры (по немецкому стандарту DWA 131)

$$t_{\text{TS,aerobic}} = \text{SF} \times 1,6 \cdot 1/\mu_{\text{max}} \times f_T [\text{d}]$$

- SF: фактор касательно изменения нагрузки $\text{NH}_4\text{-N}$ (от 1,8 до 1,45 в зависимости от размеров очистных сооружений)
- 1,6: Фактор безопасности касательно ингибиторов, небольших изменений pH и т. д.
- μ_{max} : максимальная скорость роста нитрифицирующих бактерий (0,47 г-1)
- f_T : фактор температуры (1,103(15-T))

Поскольку нитрификаторы не могут накапливать свой субстрат (аммоний), важно сбалансировать нагрузку путем обеспечения достаточного объема аэротенка, строительства усреднителей для исходных сточных вод или обработки возвратного аммония из станции по обработке осадка отдельно.

Денитрификация

Денитрификация означает микробную конверсию связанного азота в нитрате (NO_3) кислорода вместо растворенного кислорода гетеротрофными бактериями. Выделение кислорода из нитратов происходит в несколько этапов от нитритов ($\text{NO}_2\text{-N}$), через оксид азота (N_2O) и монооксид азота (NO) до свободного азота (N_2). Могут быть получены 2,9 г O_2 на г $\text{NO}_3\text{-N}$. Большая часть (около 75-80%) микроор-



Фото: Активный ил с предварительной денитрификацией

лородные условия (нет растворенного O_2). Таким образом, в строительном проекте тенков и лотков водосливы и высокую турбулентность следует избегать.

Поскольку органический углерод (измеряется в ХПК, БПК₅) постепенно меняется в процессе денитрификации, должен быть достаточный уровень БПК₅. Необходимое стехиометрическое соотношение БПК₅ / N - 2,86, что является предельным значением. Для оптимального процесса денитрификации требуется соотношение от 4 до 6. Кроме того, имеет влияние биоразлагаемость источника углерода в сточных водах, поэтому большая часть легко разлагающихся веществ (например, органические кислоты от пищевой промышленности) будет способствовать процессу денитрификации. Денитрификация зависит от следующих факторов:

- анаэробные условия → нет растворенного O_2
- достаточное количество субстрата (БПК₅ / N > 4), может быть, внешний источник углерода
- переработка нитратов и время для денитрификации соответственно
- получение кислорода обратно
- кислота связывается
- перемешивание смеси ила с водой (плотность мощности 3-4 Вт/м³)
- нет ингибиторов

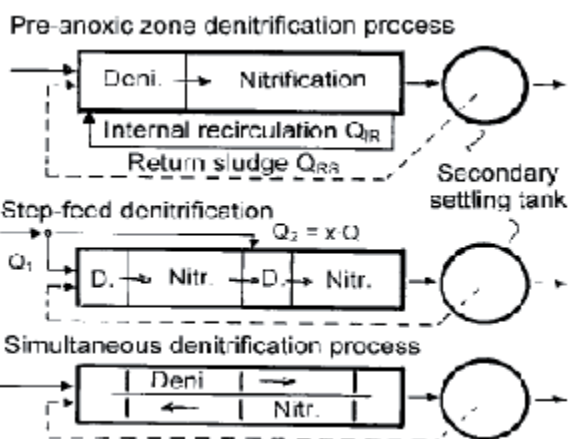
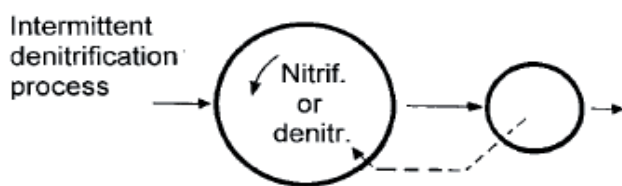
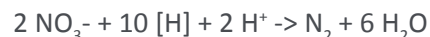


Рисунок 1: Распространенные процессы нитрификации / денитрификации в муниципальных очистных сооружениях

организмов в активном иле способны к денитрификации. Может быть предоставлено упрощенное уравнение реакции в соответствии с MUDRACK, KUNST (1991):



Во время нитратной дыхания энергии поступает для организмов на 10-20% меньше, что является причиной того, почему микроорганизмы дыхание респирацию растворенным кислородом, если таковой имеется. Поэтому для денитрификации должны быть обеспечены строгие бескис-

Процессы нитрификации / денитрификации

На рисунке 1 показаны наиболее проверенные технологии по удалению биогенных веществ в области очистки городских сточных вод (v. der EMDE (1987)).

Intermittent denitrification process = Периодическая денитрификация

Nitrif. or denitr. = нитриф. либо денитр.

Pre-anoxic zone denitrification process = Предварительная денитрификация

Deni. = дени.

Nitrification = нитрификация

Internal recirculation = внутренняя рециркуляция

Return sludge = возвратный ил

Secondary settling tank = вторичный отстойник

Step-feed denitrification = Каскадная денитрификация

Simultaneous denitrification process = Параллельная денитрификация

Самыми распространенными способами удаления азота являются процессы предварительной денитрификации, параллельной и периодической денитрификации. Если соотношение BOD_5/N высокое, а (/ или) требования к очистке сточных вод от NO^3-N не очень жесткие, следует отдавать предпочтение методу предварительной денитрификации. Для выполнения строгих предельных значений параллельная денитрификация демонстрирует преимущества, так как необходим высокий уровень рециркуляции. В процессе периодической денитрификации необходима система отбора и анализа проб, а также система управления. Иногда в случаях низкой щелочности и низком показателе BOD_5/N предпочтительнее установить каскадную денитрификацию. Должен быть добавлен внешний источник углерода в случае неблагоприятных условий (очень низкие предельные значения, трудноокисляемые органические вещества или сезонные причины).

Удаление фосфора

Фосфор может быть удален химическими, биологическими или комбинированными методами.

Химическая очистка фосфора (P-удаление) включает в себя несколько фаз, где химические и физические механизмы играют важную роль:

- Дозировка и полное перемешивание коагулянта в потоке сточных вод (малый поток в большой поток!)
- Дестабилизация жидкости, главным образом, происходит в то же время и в том же месте с дозировкой
- Образование определенных веществ из катионов коагулянтов (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+}) и анионов фосфата (PO_4^{3-}), а также других анионов (осаждение)

$$Me^{3+} + PO_4^- \rightarrow MePO_4$$
- Агрегирование в микрофлокулы
- Создание больших флокулятов, которые могут быть разделены. Требуется смешивание при низком уровне потребляемой энергии. Возможна и параллельная флокуляция: осаждаются взвешенные вещества и органически связанный фосфор.
- Разделение флокулятов с использованием седиментации, флотации, фильтрации или комбинации

В зависимости от места дозирования коагулянта могут быть выделены различные методы осаждения (предварительное осаждение, совместное осаждение, последующее осаждение):

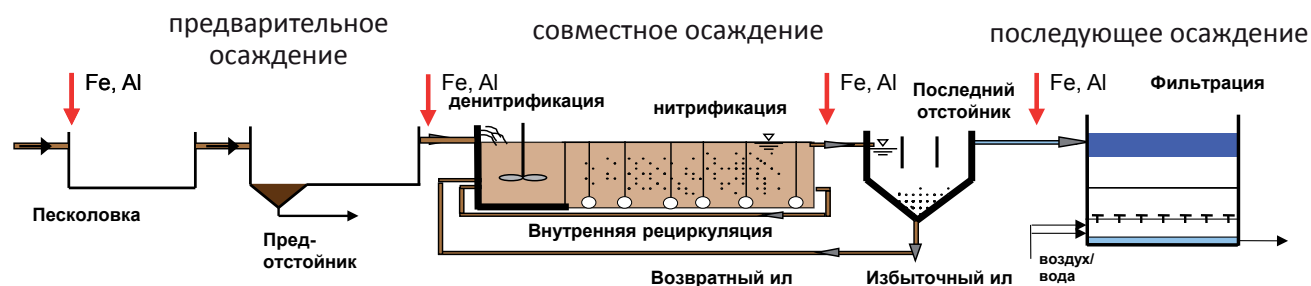


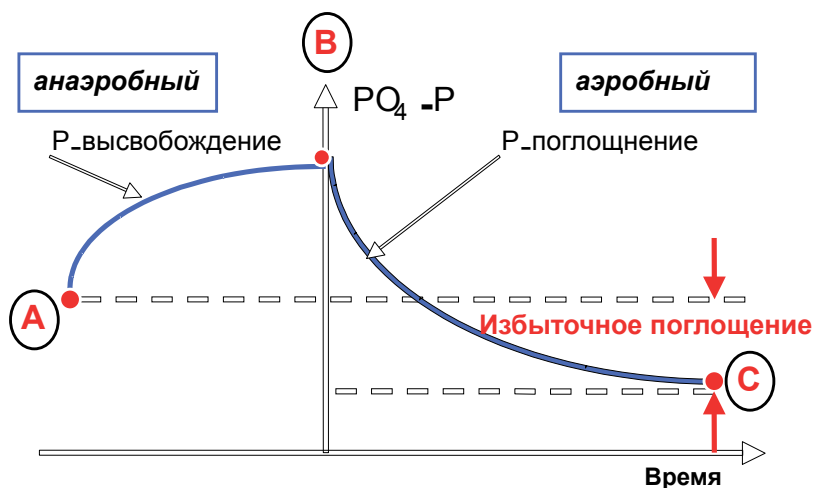
Рисунок 2: Различные методы осаждения фосфора

В процессе **биологического удаления фосфора** при определенных условиях образуются специализированные бактерии, которые могут поглотить больше фосфатов, чем требуется для их роста, и сохранить эти фосфаты в виде полифосфатов. Такое может происходить, когда условия постоянно меняются между анаэробными и аэробными (**рис. 3**).

1) В анаэробных условиях легко разлагающийся субстрат (например, ацетат) вдыхается бактериями, накапливающими фосфор (PAO). Сохраненные полифосфаты используются в качестве источника энергии. Это обеспечивает рост фосфоронакапливающих бактерий (например, ацинетобактерии) PO_4 высвобождается в анаэробный реактор.

2) В аэробной зоне бактерии снова накапливают фосфаты в виде полифосфатов, но на более высоком уровне, чем раньше (избыточное поглощение).

Рисунок 3: Основная кривая P-концентрации в очистных сооружениях с биологическим удалением фосфора. [Schönberger, 1990]



Несколько процессов для реализации биологического удаления фосфора были разработаны в основном в 90-х. Наиболее простым и широко распространенным методом является УСТ-процесс, который применяется во всем мире. Другим вариантом является модифицированный УСТ, который имеет недостаток в более низкой дозе ила в анаэробной емкости.

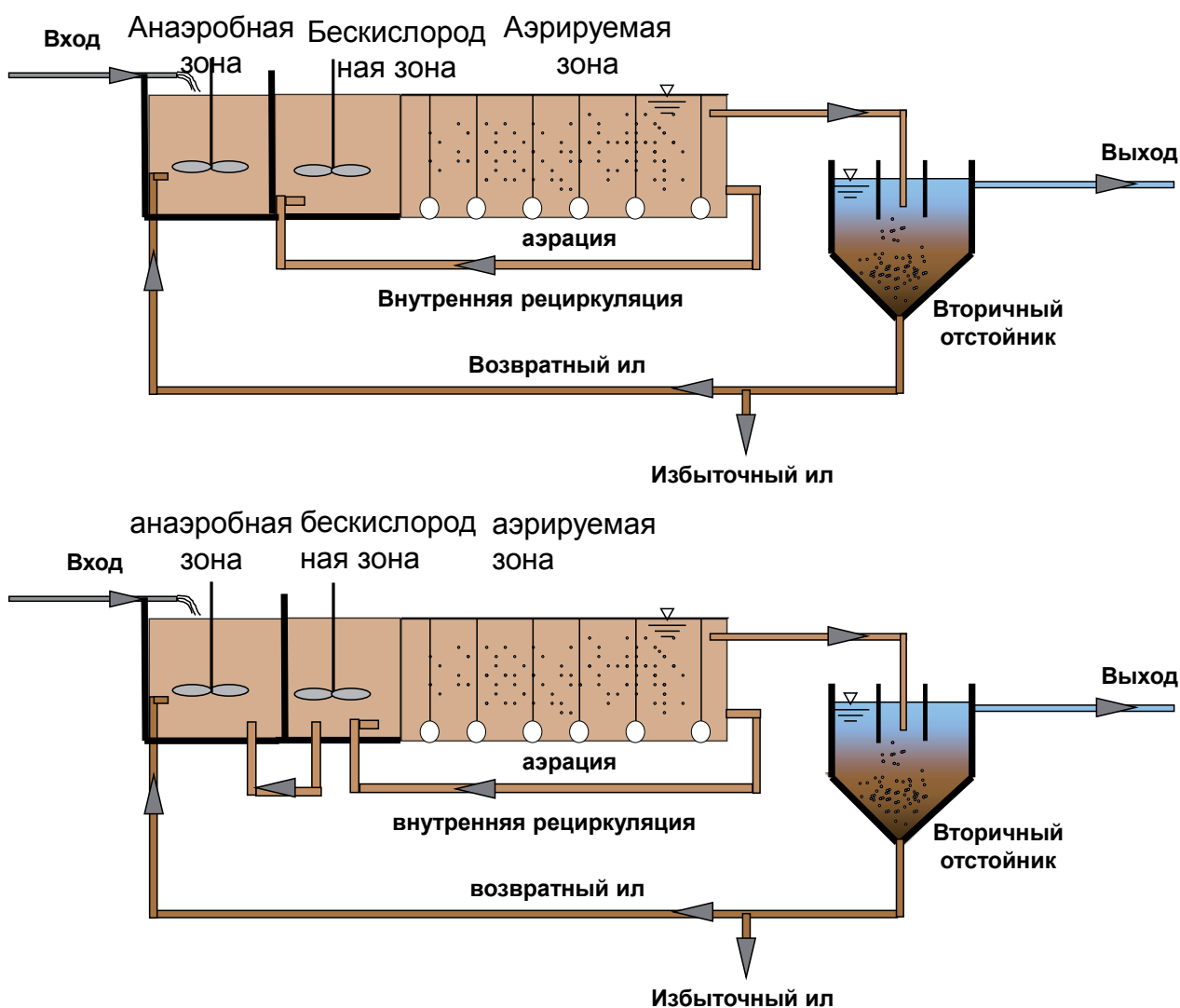


Рисунок 4: Общие процессы удаления фосфора (вверху: УСТ; внизу: модифицированный УСТ)

Биологическое удаление фосфора обладает следующими преимуществами:

- Никаких дополнительных реагентов, таких как коагулянты, не требуются
- Уменьшение выбросов солей в водные объекты
- Меньший объем образующегося осадка по сравнению с химическим удалением фосфора



Фото: Хорошая практика дозировки химических веществ

- Нет дополнительных тяжелых металлов в осадке
- Не влияет на процесс нитрификации

В качестве недостатков можно упомянуть:

- Должны быть установлены дополнительные реакторы
- Тенденция к пенообразованию
- Увеличение обезвоживания
- Образование оболочки MAP/CaPO_4 в трубах и насосах

Расчет параметров анаэробного танка основан на контактном времени $t_c = V/(Q_{rs} + Q_{in})$ (рекомендуемое, по крайней мере, до 0.75 ч.). Биологическое удаление фосфора может быть рекомендовано при следующих условиях:

- Отсутствие или очень низкая подача O_2 , либо ввод $\text{NO}_3\text{-N}$ в анаэробную емкость предпочтительнее
- Благоприятное соотношение БПК / Р (30: 1)
- Высокое содержание летучих жирных кислот (> 100 мг / л)
- Достаточная подача O_2 в активированный аэротенк для высокого Р-поглощения.

тенок для высокого Р-поглощения.

Кроме того, могут применяться меры по поддержке усиленного биологического механизма; так, например, окисление первичного ила может улучшить процесс, а также проход в первичный отстойник.

Библиографический список

DWA	Arbeitsblatt 131, „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5.000 Einwohnerwerten“ Vertrieb: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. (GfA), St. Augustin, 2000
DWA-A 202	„Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser“. DWA Regelwerk, Arbeitsblatt, Weißdruck, 2011
v.der Emde, W.	Modifikation des Belebungsverfahrens zur Stickstoffelimination, Veröffentlichungen des Institutes für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Band 42, S. 54-66, 1987
Mudrack, K.; Kunst, S.:	Biologie der Abwasserreinigung, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart New York 1991
Schönberger, R.	„Optimierung der biologischen Phosphorelimination bei der kommunalen Abwasserreinigung“. Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU München, Nr. 93, 1990

Партнеры проекта

Консорциум проекта состоит из 12 партнеров из 5 стран региона Балтийского моря:

- Управление проектом: Союз Балтийских городов, Комиссия по окружающей среде (Финляндия)
- Подготовка и координация инвестиций в Беларуси: Фонд Джона Нурминена (Финляндия)
- Повышение квалификации: Берлинский технический университет (Германия)
- Белорусские водоканалы городов Гродно, Молодечно, Барановичи и Витебск
- Белорусские университеты: Белорусский национальный технический университет, Брестский государственный технический университет и Полоцкий государственный университет
- Предприятия водоснабжения городов Даугавпилс (Латвия) и Каунас (Литва)



ПРЕСТО (Проект по сокращению эвтрофикации Балтийского моря сегодня)

направлен на улучшение качества локальных вод и воды Балтийского моря путем снижения биогенной нагрузки через инвестиции, наращивание потенциала и повышение уровня информированности.

Ключевые цели ПРЕСТО:

1. Сокращение транснациональной биогенной нагрузки от городских сточных вод на Балтийское море
2. Улучшение качества воды двух приграничных рек: Неман и Западная Двина
3. Повышение уровня знаний о современных водоочистительных технологиях и продвинутых способах удаления биогенных элементов
4. Повышение уровня осведомленности о вредных последствиях повышения уровня содержания биогенных элементов в водотоках и путях решения проблемы

Контактная информация

Секретариат по защите окружающей среды и устойчивому развитию Союза Балтийских городов (УБС)
Vanha Suurtori 7
FIN-20500 Турку
Финляндия

Пекка Салминен
Менеджер проекта
Эл.почта: pekka.salminen(at)ubc.net
Скайп: ubc.pekka
Телефон: +358 44 9075999



ФОНД ИМ. ДЖОНА НУРМИНЕНА
JOHN NURMINEN FOUNDATION



Baltic Sea Region
Programme 2007-2013

Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund
and European Neighbourhood and
Partnership Instrument)

