

Разработка эффективной установки для снижения загрязнения воды в городских условиях (на примере реки Вологды)

Доклад по проекту

Синельщиков Юрий Николаевич

Руководитель: Мухин Иван Андреевич

Вологодский государственный университет

В настоящее время одной из основных экологических проблем является загрязнение водоёмов. В реках подверженных сельскохозяйственному и судоходному использованию, таких как Вологда, этот вопрос стоит наиболее остро. Многочисленные исследования сводятся в конечном итоге к обоснованию «экологического нормирования», регламентирующего хозяйственную деятельность или к оценке состояния водных экосистем. Однако восстановление водных экосистем, связанное с улучшением качества воды и замедления нежелательных процессов в сообществе гидробионтов, служит целям повышения уровня и качества жизни населения, экологической безопасности, восстановления и рационального использования ресурсов.

Предлагаемый проект направлен на решение вышеуказанных задач на основе теоретических положений о компенсационных механизмах, связанных с повышением качества среды при антропогенных сукцессиях водных экосистем, а также анализа реализованных подходов к их замедлению. Разработку компенсационных механизмов улучшения качества водной среды предполагается выполнить на основе системного подхода к обоснованию реализации технолого-биологических процессов. Это не сводится только к инженерным методам оздоровления и восстановления водоемов, имеет место технологическое моделирование природно-техногенного комплекса водоочистки. В качестве основы концепции проекта взята известная разработка очистки воды фильтраторами искусственных и естественных рифов в морских сообществах, однако в пресных водоёмах, учитывая совокупность различных факторов, образование естественных рифов невозможно.

Для решения вышеперечисленных проблем мы поставили перед собой задачу разработки концепции малых искусственных рифов в условиях пресных водоёмов и водотоков. Предполагается разработка конструкций, служащих субстратом для многих фильтрующих микроорганизмов, таких как инфузории и коловратки. Данные представители микроперифитона являются важным звеном в самоочищении водоёмов. Вблизи населенных мест количество микроорганизмов в воде особенно велико. Учитывая неблагоприятную экологическую обстановку, предстоит выбрать наиболее толерантные к загрязнению виды.

В настоящее время разработка новых технологий обработки стоков, к сожалению, идёт на основе устаревших и оспариваемых многими концепций

ПДК, которые не учитывают синергетического и пролонгированного воздействия загрязнителей на водные экосистемы. Совершенно не учитывается влияние субстратного загрязнения на функционирование экосистем. В тоже время, разработка концепции антропогенных сукцессий откроет путь для рационализации природоохранной деятельности, построенной на принципах управляемой и допустимой трансформации сообществ, а также позволит более активно вовлекать самоочистительные способности экосистем в цикл технологической очистки. Поэтому учёт экосистемных изменений при разработке систем водоотведения и водоочистки является очень актуальным для российской действительности.

Концепция так называемых «искусственных рифов» для очистки природных вод разработана достаточно давно, СССР занимал лидирующее положение в мире по исследованиям природного самоочищения воды обитателями искусственных рифов. Искусственные рифы широко применяются в мире для экологических целей, восстановления местообитаний, сохранения биоразнообразия, возрождения рыбных запасов, развития подводного эко-туризма и рыбалки. По информации ArtificialReefs.ru в Японии, США, Австралии более 30 лет работают государственные программы создания искусственных рифов. Однако, эта технология не нашла своего применения в небольших пресноводных водоёмах и водотоках. Это связано с низкой эффективностью используемых на них организмов.

Инновационность предполагаемого подхода заключается в замене крупных фильтраторов (моллюсков, губок), традиционных для искусственных рифов, простейшими и других микроорганизмами. Это, с одной стороны, позволит компактизировать установки и размещать их локально, не создавая помех судоходству и не нарушая внешний облик водоёма. Выполненные в небольшом (10-20 см размере) и подвешенные на поплавках они легко впишутся в дизайн набережной в центральной части города, даже станут своеобразным украшением. С другой стороны, простейшие и коловратки могут существовать в условиях значительного органического и токсического загрязнения, которым характеризуется река Вологда (и другие реки региона в черте населённых пунктов).

Впервые для водотоков региона будет выполнена оценка роли различных групп гидробионтов микрозооперифитона в самоочищении водных экосистем, значения субстратов и их сообществ обрастателей в этом процессе, а также анализ возможностей ремедиации и биологического манипулирования на основе гипотезы трофического каскада (регуляция "top-down" и "bottom-up").

В плане проведения работы, первый этап включает в себя изучение видового состава микрозооперифитона в естественных условиях на реке Вологде с целью выделения среди них эффективных фильтраторов. Исследования будут проводиться в акваториях с высокой антропогенной нагрузкой для выявления видов, толерантных к загрязнению. Такой список позволит определить потенциальных обитателей очищающих установок. Использование в качестве организмов-седиментаторов местных видов с одной

стороны минимизирует затраты, необходимые для заселения субстрата (они заселят его самостоятельно, в силу своих биологических особенностей). С другой стороны, не будет создаваться проблема развития чужеродных, а потому потенциально опасных для водотока сообществ, которые могли бы пошатнуть слабую экосистему реки, и так подверженную значительному стрессу.

Второй этап состоит из разработки пространственной конфигурации искусственного рифа на основе имеющихся данных о биологии и экологии перифитонных видов, в том числе результатов собственных исследований. Таким образом, на рифе будут создаваться экологические ниши, пригодные для заселения выявленными на первом этапе микроорганизмами. Большое внимание будет уделяться подбору подходящих материалов, поддерживающих гомеостаз популяции микроорганизмов.

На третьем этапе предполагается проведение исследования эффективности разработанной модели в условиях эксперимента. Изготовленной в натуральную величину макет искусственного рифа будет помещён в условия, соответствующие естественным (моделироваться будут условия реки Вологда). Наблюдения позволят оценить скорость прироста биомассы, развитие перифитона и скорость очистки воды от органических примесей, реакцию на токсичность воды и другие параметры. Все это позволит оценить эффективность использования метода в условиях города и внести необходимые коррективы в модель.

Полевые исследования предполагается выполнять на реке Вологда и её городских притоках, а также городских прудах. Река Вологда подвергается интенсивной антропогенной нагрузке ввиду широкого сельскохозяйственного и судоходного пользования. В настоящее время данный водоём является одним из самых загрязнённых – уровень загрязнения оценивается как "грязная". Микрозооперифитон в реке Вологда (при необходимости – в других естественных водотоках) будет изучаться методом соскабливания с естественных и на модельных субстратах (стёклах обрастания). Исследованием будет включаться весь ассортимент естественных и искусственных субстратов, встречающихся в реке для максимального охвата биологического разнообразия перифитонных организмов. Подобная масштабная ревизия микрозооперифитона будет проводится впервые для водоёмов Вологодской области.

При разработке модели искусственного рифа, будем опираться на ранее проведённые исследования (Мухин 2013), которые показали, что сообщество микрозооперифитона по-разному развивается на субстратах с различной архитектоникой. На третьем этапе планируется выполнение биологических экспериментов в аквариумах ёмкостью 200-500 литров с целью моделирования происходящих в природных водоёмах процессов. Эксперименты позволят установить оптимальных организмов для работы очистителями в природно-климатических условиях и оценить эффективность использования искусственных рифов в условиях региона.

В конечном итоге, мы ожидаем получить новые знания о развитии водных экосистем в городской черте по пути антропогенных сукцессий. Предполагаемое использование результатов в фундаментальных исследованиях в области экологии и природопользования, включая как накопление новых знаний, так и развитие методологии исследований, а также в учебном процессе в университете, разработке новых элективных курсов. Изучение продвинутой антропогенных сукцессий водных экосистем важно с позиций стратегии сохранения биоразнообразия и устойчивого использования биоресурсов в условиях антропогенного пресса. Внедрение результатов исследований связано с возможностью использования тиражируемого продукта для рационального природопользования, корректировки системы мониторинга, для разработки рекомендаций в рыбной отрасли, водоснабжении.

Прикладное значение результатов работы состоит в использовании их для разработок инновационных систем очистки воды с учётом минимизации экосистемных трансформаций. Результаты проекта станут элементом теоретической базы для развития представлений о новых способах биологической очистки сточных вод с применением экосистемного подхода, а также позволят разрабатывать уникальные очистные сооружения с привлечением экосистем водного объекта с формированием единого очистительного комплекса – «продолжающиеся» в водный объект. Кроме того, позволит разрабатывать практические рекомендации по управлению трансформацией сообществ для хозяйственных целей.

Теоретическим результатом выполнения проекта будет обоснование системы биолого-технологических компенсационных механизмов оздоровления водных экосистем с последующей реализацией на модельных объектах, экспериментальных установках и внедрения инноваций в области водоочистки.

Конкретные научные результаты:

- 1) Список видов микроорганизмов, толерантных к городским условиям обитания и обладающих высокой фильтрационной активностью.
- 2) Действующий образец установки искусственного рифа.
- 3) Картосхема рекомендованного размещения установок рифа в акватории города Вологда.
- 4) Научные данные по очистительной активности микроорганизмов перифитона в зависимости от факторов среды.

Результаты исследований будут востребованы муниципалитетами как населенных пунктов Вологодской области, так и северо-запада, в которых есть крупные и средние водотоки. Нарботки можно будет также применять и в малых водных объектах – прудах и небольших реках (с некоторыми модификациями). Таким образом, реализация проекта будет полезна по меньшей мере в четырнадцати районных центрах и городах Вологодской области, а также в таких усадебных комплексах, как «Покровское», усадьба в дер. Марковское и многих других. Технология искусственного рифа также

может найти коммерческое применение для хозяйств, организующих туризм и отдых на водных объектах.

Проект представляет интерес для корпорации «РусьГидро», заинтересованных в увеличении рыбопромысловых запасов.

Так как Вологда располагается в густонаселённой части Вологодской области, то очевидно, что данная разработка будет довольно актуальна для развития экономики и социальной сферы региона. В русле и пойме реки регулярно ведутся гидротехнические работы. Так же велика антропогенная нагрузка (сельскохозяйственное, судоходное использование и сброс сточных вод в реку). В водоём впадает более 5 рек, что тоже сказывается на состоянии (гидробионтов, микроорганизмов) реки. Для поверхностных вод характерно повышенное содержание железа, меди и цинка, что объясняется не столько антропогенным, сколько природным генезисом и носит фоновый характер (Перечень..., 1999). Создание искусственных рифов – это возможность хотя бы на частичную реабилитацию и самоочищение, возврат некоторых видов рыб, уменьшение запаха, за счёт заселяющих субстрат микроорганизмов. Очищение реки Вологда методом создания искусственных рифов можно использовать в рамках развития туризма города Вологда. Так же в перспективу данного проекта входит возможность наиболее эффективного сельскохозяйственного использования водоёма. Реализация разработки направлена на достижение следующих целей:

- сохранение биоразнообразия;
- повышение био-продуктивности
- восстановление рыбных запасов;
- возрождение и увеличение биологического самоочищения акваторий.

В перспективе, наш проект предлагает, очистив, либо заметно снизив загрязнение реки Вологды, проходящей через густонаселённые районы, подчеркнуть значение реки, как одной из основной туристической черты города. Данное решение позволит, сохранив самобытность Вологды, сделать её более привлекательной и включить в основные туристические маршруты нашей страны. Новшество в водоочистке позволит подтвердить бренд «Вологда – зеленый город» и привлечь дополнительных туристов, интересующихся инновациями в области охраны природы. Поскольку такие проекты неизвестны еще на территории Европейской России и сопредельных стран его реализация позволит привлечь большое внимание общественности. В перспективе результаты работы могут быть использованы для улучшения кормой базы различных видов рыб, питающихся перифитоном. Искусственные рифы могут быть использованы в любых водотоках Вологодской области, где есть необходимость очистки от органических

загрязнений.

Кафедра зоологии и экологии ВоГУ располагает организационно-производственными, техническими и технологическими возможностями выполнения проекта, включая оборудование для поддержания гомеостаза водных экосистем, аквариумами необходимой емкости, набором организмов, характерных для местной фауны. В рамках НОЦ «Проблемы современного естествознания» создана и полностью оснащена лаборатория экспериментальной экологии, оснащенная термостатическим оборудованием, необходимым лабораторным оборудованием для поддержания культур животных и растений. Лаборатория зоологии беспозвоночных на кафедре зоологии и экологии оснащена оптическим оборудованием для работы с микроскопическими объектами.

Финансово-экономические показатели реализации проекта (работы), в т.ч. ожидаемый эффект.

При стоимости проекта 100 тысяч рублей экономический эффект от внедрения результатов исследования оценивается следующими факторами:

- Улучшение туристического имиджа города приведет к росту туристического потока.
- Улучшение качества водных биологических ресурсов приведет к активизации любительского рыболовства, традиционного для жителей города, а, следовательно, к позитивным социальным сдвигам.
- Улучшение качества воды в реке позитивно скажется на развитии сельского хозяйства (и других водопользователей) ниже по течению.
- Улучшение трофического статуса воды положительно скажется на санитарном статусе водотока, что имеет важную роль для отдыха горожан.

Уменьшение затрат на отдых горожан (как в летний, так и зимний период), а также снижение затрат на водоподготовку для нижележащих сельских населенных пунктов может быть ценено в реальном денежном выражении.

Научный задел участников проекта

Руководителем проекта предложена усовершенствованная мера сложности пространства, впервые применённая в биологических исследованиях такого рода. Выполнен ряд проектов: изучение пространственной структуры сообществ перифитонных инфузорий в разнотипных водных объектах (2006 – 2008); разработка метода биоиндикации с использованием перифитонных инфузорий (2009); тестирование разного рода искусственных субстратов (2012). Впервые изучалась первичная сукцессия сообществ перифитонных инфузорий: выделены и

охарактеризованы её стадии (2013). В 2014 году защищена диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук по теме «Формирование перифитонных цилиосообществ на различных субстратах». В 2014 г. выполнен проект «Влияние температурного фактора на колонизацию инфузориями субстратов» (при поддержке РФФИ), в результате которого показана роль индуцированных температурой миграций в формировании сообществ перифитона.

Публикации:

1. Мухин И.А., Болотова Н.Л. Особенности первичной сукцессии перифитонного цилиосообщества на модельных субстратах // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 104-107.
2. Мухин И.А. Экологическая структура сообществ перифитонных инфузорий на различных субстратах в естественном и искусственном водотоках // Вода: Химия и экология. 2013. № 12 С. 64-70
3. Мухин И.А. Освоение субстратов разной архитектуры экоморфологическими группами прикрепленных инфузорий // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 (14) С. 3115-3119.
4. Мухин И.А. Локальные антропогенные сукцессии в водотоках при формировании сообществ инфузорий // Антропогенные сукцессии водосборов таежной зоны: модификация и мониторинг сборник статей. Вологда: 2007. С. 138-141.
5. Мухин И.А., Пазгалова Е. А. Анализ изменения гидрохимических показателей рек Содимы и Пельшмы в районе сброса сточных вод // Успехи современного естествознания. 2010. № 8 С. 17
6. Мухин И.А. Перспективы использования перифитонных инфузорий в качестве тест-объектов биоиндикации // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сборник тезисов докладов II Международной конференции. СПб. 2011. С. 114
7. Мухин И.А. Особенности микропространственной структуры перифитонных инфузорий, формирующихся на разнотипных субстратах // Сборник трудов международного симпозиума «Экология свободноживущих простейших». Тольятти: 2011. С. 122.
8. Mukhin I. The community of ciliates forming on different substrates // Protist 2012. Oslo: 2012. P. 7112.
9. Мухин И.А. Применение пространственного анализа к изучению популяций простейших организмов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8-3. С. 172-173
10. Мухин И.А. Структура сообществ инфузорий, формирующихся на разнотипных субстратах в водоёмах // Материалы XV школы-конференции молодых учёных «Биология внутренних вод». Борок: 2013 С. 279-283.
11. Мухин И.А. Экологическая структура сообществ цилиоперифитона на естественных и модельных субстратах // Харьковские зоологические чтения пам. Проф. Лукина, 2014 Харьков: 2014 С. 8-9
12. Integrated approach to the study of submerged surfaces community //

The 4th European Large Lake Symposium - Ecosystem Services and Management in a Changing World, At Joensuu, Finland

13. D. Dudakova, M. Dudakov, I. Mukhin A new method of combining aerial videofilming (using unmanned aerial vehicle - UAV) and underwater research in the studies of biogeocenosis of littoral zone of Lake Ladoga // The 4th European Large Lake Symposium - Ecosystem Services and Management in a Changing World, At Joensuu, Finland

14. Киреев Н.В. Влияние *Poecilia reticulata* на плотность популяции инфузории *Vorticella convallaria* // Популяционная экология растений и животных: Материалы I Международной молодежной научной конференции Уфа: 2015. С 69-73

15. Савинская А.Р. Влияние мостового перехода на формирование сообществ инфузорий // Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов: материалы Международной научной конференции, 27 ноября 2015 г., г. Ростов-на-Дону, ФГБНУ «АзНИИРХ». - Изд-во: ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015: С. 275-278.