



**На Стокгольмском международном
юниорском водном конкурсе
Российскую Федерацию представляли:**

2003 год - Юрий Обыденнов, Алексей Гильфанов (Екатеринбург), проект «Оптимизация процессов самоочищения реки Исеть в черте города Екатеринбурга»

2004 год - Наталья Чутова (Туруханск, Красноярский край), проект «Особенности формирования подземных вод, используемых для водоснабжения села Туруханск»

2005 год - Наталья Батурина (Новосибирск), проект «Биоиндикация качества воды в прибрежной части Новосибирского водохранилища по составу макрозообентоса»

2006 год - Кристина Баршева (Казань), проект «Правовой статус островных экосистем равнинных водохранилищ»

2007 год - Алексей Разгулов, Анна Прудниченкова (Грязовец, Вологодская область), проект «Экологическая проблема реки Ржавки, пути ее решения»

2008 год - Алексей Шинкарёв (Республика Татарстан), проект «Восстановление городских водоемов с использованием латентных стадий гидробионтов».

С 2007 года Российский национальный конкурс водных проектов старшеклассников входит в федеральный «Перечень олимпиад и конкурсных мероприятий, по результатам которых присуждаются премии для поддержки талантливой молодежи» Министерства образования и науки РФ в рамках приоритетного национального проекта «Образование».

Министерство образования и науки РФ по итогам Конкурса-2008 присудило победителям и призерам президентские премии для поддержки талантливой молодежи (в соответствии с Указом Президента РФ «О мерах государственной поддержки талантливой молодежи» N 325 от 6 апреля 2006 г.):

- Алексей Шинкарев, Татарстан
- Наталья Лукичева, Марий Эл
- Галина Романова, Приморский край
- Алексей Ермоленко, Астраханская область

Аргентина

Tapaseum Vulgare - экзотическое растение, которое обладает свойством делать загрязненную бактериями воду пригодной для питья

Enzo Belloli, Ivan Mazurek u Diego Pellegrino

В Аргентине многие люди не имеют доступа к питьевой воде и канализации. Вода, которая доступна этим людям, обычно загрязнена. Целью аргентинского проекта было разработать альтернативный способ очистки загрязненной бактериями воды. Идея заключалась в том, чтобы использовать опыт коренного населения, которое употребляет местные растения в медицинских целях. Группа исследователей-школьников выбрала и испытала различные концентрации экстракта растения *Tapaseum Vulgare* в ацетоне и показала, что эссенция этого растения оказывает дезинфицирующее действие против грибов. Эксперименты проводились на предварительно очищенной воде. Трехчасовая последующая обработка такой воды эссенцией *Tapaseum Vulgare* в концентрации 0,4% (объемных процента) подтвердила, что это растение делает воду пригодной для питья. Вода оказалась безопасна для людей и соответствовала местным гигиеническим нормативам. Следующим шагом будет оценка содержания потенциально токсичных компонентов в экстракте *Tapaseum Vulgare*. Также нужно будет оценить последствия для окружающей среды от использования этого растения в качестве реагента для обеззараживания воды. Исследовательская группа из Аргентины теперь планирует изучить возможность использования *Tapaseum Vulgare* в качестве заменителя хлора при обеззараживании сточных вод на очистных сооружениях, поскольку это растение убивает микроорганизмы.

Австралия

Использование морских раковин для фильтрации воды

Gwylim Klippel-Cooper

Доступность воды, в особенности чистой питьевой воды, до сих пор остается в Австралии приоритетной экологической проблемой. Автор данного исследования Гвилим Клиппель-Купер в начале своей работы задался вопросом - может ли Австралия выжить в условиях наступившей засухи? Ответ был найден в ходе исследования новых методов очистки воды. Автор испытал способность различных морских раковин нейтрализовать кислотность воды (нормализовать pH), снижать жесткость и мутность воды. Было проведено два эксперимента: сначала со стандартной пробой «грязной» воды, а затем с водой из ручья. Автор, основываясь на результатах первого эксперимента, изучил способность фильтра из морских раковин нейтрализовать уровень pH, смягчать жесткость и повышать прозрачность воды, протекающей в ручье. Результаты этих двух экспериментов доказали, что морские раковины увеличивают pH и снижают жесткость воды. Таким образом, был найден дешевый и экологически безопасный способ очистки воды. Этот способ, как надеется автор исследования, может заменить станции по опреснению воды, которые потребляют огромное количество электроэнергии и сбрасывают чрезвычайно соленую воду как отходы. Автор делает вывод о необходимости дальнейших исследований возможности использования морских раковин для очистки воды.

Беларусь

Переработка фруктовой кожуры и применение биополимеров, содержащихся в кожуре, для осаждения ионов металлов и радионуклидов в водоемах

Татьяна Кирпичева, Максим Рожкин и Артур Санцевич

Белорусские школьники нашли дешевый и эффективный способ очистки воды в местных загрязненных болотах. Школьники применили различные методы исследования, в том числе картографирование с помощью глобальной системы позиционирования GPS, измерение кислотности (pH), изучение сорбционной способности фруктовой кожуры, измерение концентрации ионов меди и свинца и радиоактивности (по содержанию цезия-137) в образцах воды, а также провели опрос 500 школьников.

Это исследование показало, что фруктовая кожура может использоваться в качестве эффективного экологического сорбента. Например, 1 грамм апельсиновой кожуры может химически связать до 182 мг меди, а 1 г яблочной кожуры может адсорбировать 160 мг свинца. Применение яблочной кожуры может снизить радиоактивность воды с 160 до 107 Беккерелей на литр. Яблочная и апельсиновая кожура также обладает антимикробным действием: она может адсорбировать до $1,5 \times 10^2$ CFU (единиц колониеобразующей активности микробов) на 1 г кожуры. Это исследование доказало возможность применения фруктовой кожуры для обеззараживания воды от органических загрязнителей. Белорусские школьники проверили свою теорию, добавляя богатые пектином фрукты в водоемы с болотной водой и изучая происходящие после этого изменения характеристик воды и поведения местных птиц. В результате исследования был сделан вывод о возможности применения фруктовой кожуры для снижения загрязнения воды до допустимых уровней, без нарушения экосистем и без больших материальных затрат.

Дания

Чудесная вода

Carit Brodsgaard Hansen u Omar Oueiti

Эвтрофикация водоемов часто вызвана избыточным притоком питательных веществ, например, в результате смыва удобрений с полей ливневыми стоками. Во многих областях Дании эвтрофикация привела к избыточному зарастанию водоемов водорослями и гниению воды. Водоемы постепенно заселяются новыми видами водных растений, которые вытесняют все другие растения и быстро размножаются, что приводит к резкому ухудшению качества воды, в первую очередь из-за снижения содержания кислорода в воде.

В ходе этого проекта датские школьники обследовали поверхностные водоемы, чтобы привлечь внимание к проблеме снижения содержания растворенного кислорода. Датские финалисты обнаружили, что одной из причин эвтрофикации являются сбросы аммиака, и стали искать способы предотвращения утечек аммиака в почву и водоемы. Для этого они разработали и испытали три возможных метода улавливания аммиака, содержащегося в воздухе. Школьники показали, что можно успешно улавливать содержащийся в воздухе аммиак, источником которого является разложение навоза. Для улавливания аммиака был использован водный фильтр. Датские школьники надеются, что разработанные в ходе проекта способы улавливания аммиака смогут помочь решить проблему защиты окружающей среды от загрязнения аммиаком.

Утоляя жажду - физический подход к улучшению метода дезинфекции воды солнечным светом

Janie Cote u Ariane Litalien

Водные инфекции сейчас вышли на первое место среди причин смертности на земном шаре. От водных инфекций на нашей планете каждые 15 секунд умирает один ребенок. Для очистки питьевой воды ученые разработали метод дезинфекции воды солнечным светом (SODIS). К сожалению, применение этого метода сопряжено с важными нерешенными проблемами. Пока эти проблемы не решены, жизни миллионов людей находятся под угрозой. Данное исследование посвящено совершенствованию метода SODIS, причем достигнутый результат был измерен количественно. Авторы изучили научную литературу по этому вопросу и проанализировали важнейшие недостатки метода SODIS. Затем авторы спроектировали ручную центрифугу, светонепроницаемый ящик и оптическую систему для проведения опытов. Для сравнения эффективности новой системы очистки воды и стандартного метода очистки воды SODIS в реальных условиях солнечного освещения вода была загрязнена кишечной палочкой. Было продемонстрировано, что новый метод дезинфекции более эффективен, поскольку требуется на один час меньше обрабатывать воду, чтобы достичь аналогичных показателей качества. Новый метод, как показали результаты анализов, более эффективно очищает воду от микробов. Канадский проект выявил проблемы метода SODIS - а именно неспособность очищать большие объемы воды или мутную воду. Авторы обсудили результаты данного исследования, в частности возможности дальнейшего развития и практического применения новой системы очистки воды, социальные последствия этого метода и его инновационный потенциал. Авторы предлагают продолжить исследования возможностей использования солнечного освещения для очистки воды от других патогенных микроорганизмов.

Выделение и изучение бактерий, очищающих воду и почву от нефтепродуктов

Jorge Chacon u Mario Pozzo

Загрязнение почвы и воды нефтепродуктами становится все более тяжелой проблемой. Чилийские школьники попытались решить эту проблему, используя культуры бактерий, которые могут биологически перерабатывать загрязненную почву и воду, тем самым очищая их. Они собирали и выделяли такие бактерии из почвы, используя прибор «биореактор» для биологического разложения углеводов, содержащихся в почве. Исследователи проводили опыты с бактерией типа *Pseudomonas*, выращивая бактериальную культуру на агаровой пластинке с нанесенными тонкими пленками бензина, сырой нефти и обычной стерильной морской воды. Также были проведены опыты со стерильными целлюлозными бактериальными дисками и изучена способность моющих веществ (детергентов) переводить нефтепродукты в более растворимую форму.

Результаты этого проекта показали, что бактерия *Pseudomonas* способна развиваться даже в сильно загрязненной нефтепродуктами среде. Биологическая очистка от нефтяного загрязнения наблюдалась даже при полном погружении бобов фасоли и чечевицы в сырую нефть или бензин. В основе этого метода очистки среды от нефтепродуктов лежит способность бактерий «переваривать» нефтепродукты, тем самым переводя их в растворимую форму. Чилийские школьники надеются, что выделенная ими культура бактерий может стать маленьким конкретным вкладом в очистку нашей планеты и оздоровление как населяющих ее людей, так и экосистем.

Разумная система управления орошением

Yuqian Wu

Юкиан Ву разработал разумную систему управления орошением с целью создать идеальные условия окружающей среды для роста растений. Для этого он проанализировал скорости фотосинтеза и дыхания почвы и вычислил оптимальную влажность почвы для каждого растения. Используя только один микрочип для управления целой системой, была воздана полностью автоматическая оросительная система, устранившая постоянный ручной труд и повысившая эффективность использования воды и энергии. Разумная система управления орошением испытывалась в течение 13 месяцев в теплице площадью 200 м² в городе Гуанчжоу, КНР. Эта система не требовала дополнительных источников энергии и использовала только 5 м³ водопроводной воды. Важный результат данного исследования - устранение необходимости в постоянном ручном труде. Созданная система орошения была полностью автоматизирована. К тому же она была достаточно дешева, чтобы получить широкое распространение в сельском хозяйстве, городских экологических проектах «зеленый город», особенно в целях озеленения пустынь. Дальнейшие перспективы развития разработанной системы автор видит в учете сезонных изменений и фаз роста растений, что позволит повысить ее эффективность.

Работает ли концепция непрерывности рек для малых рек, которые вытекают из болот?

Noora Nuutinen u Tiina Pippuri

Концепция непрерывности рек (так называемого речного континуума) предсказывает, каким образом биологические сообщества могут меняться от истоков реки до низовьев больших рек. Финские школьники заинтересовались, применима ли эта концепция для зоны северных хвойных лесов в Финляндии. Для проверки концепции они наблюдали за биологическими, гидрологическими и морфологическими факторами всех частей одной реки в Финляндии. Затем они проанализировали все факторы и сравнили их с теми, которые предсказывает теория речного континуума. Школьники обнаружили, что за небольшим исключением (распространенность беспозвоночных на одном участке реки) концепция выполняется очень точно. Как показал теоретический анализ, растительность и беспозвоночные имели признаки эвтрофикации, особенно в нижнем течении реки. Финские финалисты предлагают ежегодно проводить наблюдения за рекой, причем в наблюдениях могут участвовать школьники средних школ Финляндии. Местные власти могли бы использовать результаты этих наблюдений при планировании нового строительства. Результаты мониторинга рек, как утверждают авторы проекта, могут использоваться для сохранения биоразнообразия и красоты окружающей среды, а также во многих других целях природопользования.

Защита и восстановление природных заболоченных территорий в заповеднике Picardie Naiades

Laura Bienfait-Lelong, Charline Carlier u Simon Goire

Ежегодные наблюдения за болотами на острове Св. Квентина, расположенного в заповеднике Picardie Naiades на севере Франции, проводятся с целью планирования мероприятий по восстановлению ценных местобитаний. Группа французских школьников, изучающих агрономию и экологию, искала способы решения одной из самых сложных задач, возникшей в данном заповеднике - а именно восстановление камышовых зарослей. Для этого школьники использовали стандартизованный биологический показатель, используемый во Франции для оценки биогенной тенденции качества воды в промывочном канале на биологической станции. Затем они провели инвентаризацию водных беспозвоночных, чтобы оценить качество воды в промывочном канале, и придумали способ восстановления зарослей камыша в важных для нереста и размножения рыбы (например, щуки) водно-болотных угодьях. Один из способов, например, состоял в регулярной очистке граблями зарослей от разлагающихся растительных остатков, мешающих прорастанию камыша. Группа школьников будет продолжать начатые исследования, изучая новые способы восстановления зарослей камыша, в том числе выпас скота. Школьники считают, что выпас травоядных животных, например, овец, способствует восстановлению камышовых зарослей.

Как управлять водными ресурсами и охранять их путем просвещения населения - пример местного сообщества на реке Зену в Гане

Isaac Barnes

На реке Зену была построена плотина, чтобы местное население получало из водохранилища воду для орошения и (в меньшей степени) для коммунальных нужд. Однако качество воды в водохранилище быстро ухудшалось, потому что местное население выбрасывало в воду отходы и сливало нечистоты, хотя люди купались в этой же воде и пили ее. В результате загрязнения воды водные инфекции быстро распространились по всей округе. Проект Айзека Барнса направлен на просвещение местного населения, на обучение населения различным способам охраны водных ресурсов. Айзек Барнс изучил причины возникших проблем и отношение отдельных представителей местного населения к указанным проблемам. Затем он написал и поставил самодельную пьесу, которая информировала местное население о важности охраны водных ресурсов. В этом проекте участвовали местные школьники, которые сыграли множество спектаклей в различных деревнях в окрестностях реки Зену. Местное население осознало важность водных проблем и согласилось участвовать в показательном мероприятии по очистке воды. В результате этого проекта люди стали гораздо меньше выбрасывать мусор в реку и перестали сливать в нее нечистоты и фекалии. Как показал данный проект, любительский спектакль может стать эффективным способом информирования местного населения, а для малограмотных людей это практически единственный способ просвещения.

Реконструкция метаболизма митохондрий у диатомовых водорослей

Anika Wranke

В океанах происходит по крайней мере 50% всего планетарного фотосинтеза. Основными фотосинтетиками (биологическими продуцентами) в океане являются достаточно сложные водоросли, известные как диатомовые. В глобальном масштабе диатомовые водоросли вероятно производят столько же кислорода, сколько все наземные растения. На их долю приходится примерно 40% объема фотосинтеза, происходящего в мировом океане. Хлоропласты диатомовых водорослей уже внимательно изучались ранее, однако их митохондрии пока не изучены. Аника Вранке задалась таким вопросом: можно ли объяснить успешное распространение диатомовых водорослей строением их митохондрий? Для ответа на этот вопрос она использовала новый метод анализа последовательностей генов - расшифровки последовательного расположения известных науке генов (эта область науки называется геномикой). Целью исследования было выявить и описать функции митохондриальных генов. Определение последовательностей всех индивидуальных генов было невозможно из-за ограничений по времени. Вместо этого Аника применила творческий метод, который позволяет определить вероятность локализации гена в митохондрии. Она использовала этот метод для скрининга возможных митохондриальных генов. Затем она выяснила, какие биохимические и метаболические функции выполняет в организме данный митохондриальный ген. Это исследование показало, что митохондриальные гены отвечают за метаболизм аминокислот (серина, треонина и глицина).

Новый метод очистки воды с использованием семян Moringa Oleifera

Saurabh Kumar

Во время краткого социологического опроса населения, живущего в окрестностях города Лакнау, Саураб Кумар установил, что большинство населения вынуждено пить грязную воду. Он решил исследовать способы обеспечения населения чистой питьевой водой по доступным ценам. Для этого он изучил традиционные способы очистки воды и разработал практичный способ получения чистой воды для местного населения. В результате обсуждений с местным населением и изучения традиционного опыта он пришел к выводу, что современные технологии очистки воды - такие как флокуляция, коагуляция и осаждение - не подходят, поскольку эти способы угрожают здоровью населения и окружающей среды, а химические коагулянты весьма дороги и труднодоступны. Поэтому он использовал экстракт семян растения Moringa Oleifera, известного как «барабанные палочки», в качестве естественного коагулянта, который можно использовать для очистки очень мутной воды. Всушенные, размолотые и измельченные семена этого растения добавляются в воду и связывают до 90-99,9% частиц земли или глины, а также уничтожают бактерии. После отстаивания частицы грязи оседают на дне, а вода становится прозрачной и пригодной для питья. Процесс очистки очень прост, требует минимальных затрат, а необходимые для него семена могут легко выращиваться местным населением.

Вклад в решение проблемы недостатка продовольствия и воды путем совершенствования мониторинга планктона в искусственных прудах с морской водой

Nitzan Ben Noun, Idan Dechner u Guy Holdengreber

Разведение рыбы (аквакультура) в искусственных прудах может помочь решить проблему истощения рыбных ресурсов мирового океана. К сожалению, рыбу, живущую в соленой морской воде, довольно трудно разводить в прудах. Дело в том, что планктон, которым питается такая рыба, это крошечные и очень чувствительные организмы. Знание условий жизни планктона является необходимым условием для разведения морской рыбы в искусственных прудах. К сожалению, современные методы мониторинга планктона требуют изучения образцов под микроскопом. Это сложный процесс, требующий много времени. Израильские школьники придумали эффективный метод определения характеристик планктона и применили его к изучению планктона в искусственном пруду с морской водой. В основе этого метода лежит механическое устройство, а все результаты автоматически записываются с помощью компьютерной программы. Это экономит усилия и время. Основным результатом данного проекта является разработка и применение трех алгоритмов для анализа микроскопических фотографий образцов воды, содержащей планктон, которым питаются личинки рыб. Разработанный алгоритм подсчитывает число скоплений различных типов планктона.

Охрана гигантской саламандры спасает и водную окружающую среду - успешное применение генетического анализа в проекте по заселению водоемов

Minami Kiuchi, Masato Nitta u Masahiro Otao

Несмотря на долгую историю попыток спасти от вымирания гигантскую саламандру - символ японской природы и культуры - этот вид все еще остается под угрозой полного исчезновения. Группа японских школьников решила внести свой вклад в охрану гигантской саламандры и ее местообитаний, тщательно изучив генетику этих амфибий. Изучение митохондриальных и ядерных генов гигантской саламандры показало, что генетические различия между популяциями, живущих в разных регионах, очень малы. Школьники также обнаружили, что анализ генома позволяет разделить все популяции на две четкие группы, восточную и западную, хотя и между ними различия очень невелики. Западная группа может быть далее подразделена на три небольшие подгруппы. Школьники уверены, что эти результаты можно использовать в программах по отлову саламандр в одном месте и их переселению в другие места, не нарушая при этом генетический состав подвидов. Это совершенно новый подход к заселению водоемов саламандрами основан на изучении их генома. Для распространения знаний о геномном составе саламандр Минами Киучи, Масато Нитта и Масахиро Отао трансформировали генетический код саламандр в музыкальную последовательность звуков. Как надеются японские школьники, услышав получившуюся мелодию, люди оценят чудо жизни и важность спасения водных экосистем.

Здоровые ручьи

Ilena Avateneo, Omar Marelllo u Gabriella Marengo

Илена Аватенео, Омар Марелло и Габриелла Маренго задались целью выяснить, какие болезни внутренних органов человека можно вылечить с помощью обычной природной воды. Они сравнили физико-химические показатели воды, продающейся в бутылках, и обычной воды из местных ручьев. В результате исследователи итальянские школьники сделали вывод о возможности применения воды из ручьев для лечения таких болезней, как подагра, мочекаменная болезнь, гастрит и запоры. Итальянские финалисты также исследовали, насколько реклама влияет на объемы продаж воды в бутылках, и какие последствия от употребления бутилированной воды можно ожидать для окружающей среды в Италии. Для того, чтобы люди вместо воды из бутылок употребляли воду из ручьев, что будет стоить гораздо дешевле и выгоднее с экологической точки зрения, школьники предложили создать региональную базу данных, в которой все ручьи будут подразделяться на несколько категорий, в соответствии с терапевтическими свойствами воды в них. Такая база данных поможет каждому человеку найти наилучший для себя ручей, поскольку наряду с перечнем болезней, которые излечивает вода из этого ручья, будет указано также и его точное местонахождение. Итальянский проект показал, что природная вода не только бесплатна, но и полезна для здоровья.

Вода, обогащенная кальцием из кораллов

Arita Kreslina u Linda Viksne

Латвийский проект посвящен оценке эффективности нового альтернативного метода улучшения качества воды и состояния здоровья людей. Латвийские школьницы собрали данные о кальции, содержащемся в кораллах, а также о других микроэлементах, связанных с органическим кальцием: магнием и железе. Обогащая воду такими микроэлементами, они исследовали ее физико-химические и биологические показатели с помощью спектроскопии и измеряя содержание комплексных химических соединений. Эти исследования показали, что обогащенная коралловым кальцием вода имеет более высокий уровень pH и содержит меньше бактерий, чем обычная питьевая вода. Латвийские школьницы заметили большую разницу в структуре кристаллов, получающихся после замораживания обычной и обогащенной кальцием воды. В результате опытов был сделан вывод о том, что обогащенная коралловым кальцием вода имеет более высокое качество и улучшенные физико-химические и биологические показатели. Кроме этого, регулярное использование обогащенной воды повышает иммунитет и сопротивляемость организма человека отрицательным факторам окружающей среды, поскольку организм получает достаточно кальция, магния и других микроэлементов.

Макроскопические водоросли - альтернативный метод очистки стоков с ферм по выращиванию креветок в штате Синалоа, Мексика

Jose Humberto Ramirez Leyva

Выращивание креветок - важная экономическая деятельность на побережье Мексики. Вместе с тем, сбросы богатой питательными элементами сточной воды очень плохо влияют на окружающую среду в окрестностях креветочных ферм, особенно на заболоченные территории, которые уже целиком или частично уничтожены. В результате экологическая несущая способность окружающей среды резко снизилась. Хосе Умберто Рамирес Лейва предлагает альтернативное решение - для уменьшения содержания азота и фосфора в сточной воде культивировать макроскопическую водоросль, которая использует эти питательные вещества. Культивирование этой водоросли будет способствовать снижению загрязнения воды, а фермеры получают дополнительный источник дохода. Например, из этой водоросли можно отжимать масло или использовать ее биомассу как кормовую добавку. Мексиканский финалист построил два пруда, один из которых моделировал типичные условия на креветочной ферме, там выращивался вид белых креветок *Litopenaeus Vannamei*. В другом пруде мексиканский финалист поселил морскую водоросль *Ulva lactuca* и использовал для ее выращивания воду с высоким содержанием питательных веществ из креветочного пруда. После серии измерений он обнаружил, что постепенно содержание азота и фосфора во втором пруде снижается. Этот метод может применяться на обычной ферме по выращиванию креветок, при этом ущерб для окружающих прибрежных заболоченных территорий от сброса сточных вод будет значительно снижен.

Простой способ обеспечить население дешевой и чистой питьевой водой и разведение рыбы

Maryam Cam, Okugbene Ejiroghene u Hope Izevbigie Iyobosa

Сельским жителям в дельте Нигерии нелегко получить доступ к безопасной воде. Дело в том, что вода в реках и ручьях загрязнена фекалиями и коммунальными стоками. Поэтому сельские жители придают важное значение охране своих источников питьевого водоснабжения. Питьевая вода должна быть достаточно дешева и не представлять опасности для здоровья. Нигерийский проект предлагает решение проблемы питьевого водоснабжения путем создания безопасного источника воды, который приносил бы дополнительный доход местному населению. Дополнительный доход будет приносить разведение рыбы. Питьевая вода по каналу направляется из ручья в резервуар, в котором она фильтруется, нагревается, очищается и возвращается в деревню, где ее можно безопасно пить. Традиционно в сборе воды большую роль играют дети, при этом они же больше всего страдают от водных инфекций. Дело в том, что дети часто берут неочищенную воду прямо из рек и ручьев. Авторы данного проекта - нигерийские школьники, которые также участвуют в местном движении «молодежь за водные действия», считают, что молодежь должна участвовать в принятии решений о водных проблемах.

Голубое золото

Frederique Baas, Fons Mentink u Michiel Roelofs

Голландский проект использует новую передовую технологию электрораспыления для опреснения воды для полива на обезвоженных сельскохозяйственных землях, где другие источники воды недоступны. Электрораспыление используется для различных целей, например, в медицине для лечения легочных заболеваний, а также для распыления пестицидов. В этом проекте морская вода распылялась через маленькие отверстия, в которых было создано электрическое поле. При этом частицы соли приобретали положительный заряд. При электрораспылении под действием силы тяжести, электрических сил и взаимного отталкивания частиц каждая капля превращается в чрезвычайно мелкий туман, состоящий из заряженных частиц. Большая часть этой влаги испаряется, в результате остается смесь положительно заряженных частиц соли и нейтральный водяной пар. Этот пар затем отделяется от соли вторым электрическим полем, которое притягивает водяные капли. Потом опресненная вода конденсируется и собирается в камере. Если использовать 1500 соединенных последовательно электрораспылительных камер, то можно получить до 125000 л пресной воды в час. Примерная стоимость одного литра опресненной таким методом воды довольно мала: 0,15 долл. США на 1000 л. Такая установка может приносить до 5% годового дохода на вложенные инвестиции.

Озеро Сторейд - заповедник в культурном ландшафте

Morten Bergheim, Tore Halse u Aleksander Kn?dal

Норвежские школьники собрали и проанализировали большое количество информации об озере Сторейд, расположенном в заповеднике на севере Норвегии. Целью данного исследования был сбор информации для планирования будущей деятельности на этом озере и вокруг него, потому что озеро окружено традиционным ландшафтом. В результате этого проекта местное сообщество должно получить доступ ко всей собранной информации. Группа норвежских школьников попыталась смоделировать будущее развитие ситуации на озере, приняв во внимание несколько факторов: историю озера (в том числе эвтрофикацию), качество воды в нем на данный момент, видовой состав флоры и фауны, живущей в озере и вокруг него в заповеднике, типы землепользования, нагрузку на заповедник со стороны туризма и нового строительства. Затем норвежские финалисты создали несколько сценариев возможного развития событий на 50 лет вперед, и проанализировали, что будет происходить с озером, если будут приняты соответствующие управленческие решения. Школьники обнаружили тенденцию снижения уровня воды в озере и считают, что за счет зарастания берегов озера его площадь будет уменьшаться, а облик окружающих берегов сильно изменится. Школьники считают, что можно снизить вероятность нежелательных изменений, если на берегах озера будут пастись домашние животные, заготавливаться древесина и полностью будет прекращена утка питательных веществ. Группа норвежских финалистов планирует использовать полученную информацию для коррекции местных планов развития территории и информировать местное население о состоянии озера.

Восстановление водоемов с использованием латентных стадий гидробионтов

Алексей Шинкарев

Создание устойчивых биологических сообществ - приоритетная задача при восстановлении загрязненных водоемов, а также при создании искусственных водных объектов. Алексей Шинкарев использовал известное свойство зоопланктона переносить неблагоприятные условия путем перехода в спящее (латентное) состояние с образованием яиц, спор, эфиппий и др. Российский финалист разработал новый метод оздоровления и воспроизводства биологического разнообразия водных экосистем с использованием латентных стадий гидробионтов. Он заселил гидробионтами два небольших искусственных водоема, а затем оздоровил загрязненную городскими стоками протоку Булак в г. Казань. В результате внесения латентных стадий биоразнообразия зоопланктона протоки Булак увеличилось в 7, а его биомасса - в 149 раз по сравнению с исходной. Активизация процессов самоочищения после внесения гидробионтов способствовала существенному улучшению качества воды по гидрохимическим показателям. Была также доказана возможность длительного хранения (используя низкотемпературную искусственную стратификацию) и активации латентных стадий перед внесением в водоем.

Предлагаемый способ является экологически безвредным, не сопряжен с большими трудовыми и материальными затратами, не требует специальных биологических знаний. Он может быть широко использован для восстановления и оздоровления водных экосистем.

Проектирование и оптимизация дешевой переносной установки для дистилляции воды

Rajarshi Roy, Shao Yang Koh u Chengxu Wang

Частые стихийные бедствия в Азии, такие как цунами в Индонезии в 2004 г., циклон Нагрис в Мьянме (Бирме) в 2008 г. и недавнее землетрясение в провинции Сихуань в Китае, привлекают внимание к необходимости обеспечения населения пострадавших районов чистой питьевой водой. Часто бывает, что источники питьевого водоснабжения оказываются загрязненными или вовсе недоступными после стихийных бедствий. Целью сингапурского исследования была разработка новой системы термической дистилляции воды, причем школьники стремились создать как можно более дешевую установку, чтобы даже беднейшие домохозяйства могли воспользоваться таким способом получения питьевой воды. Разработанная установка может также использоваться при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Основными требованиями, предъявляемыми к такой установке, являются портативность, дешевизна и простота в обслуживании. В результате исследования была сконструирована установка из трех частей: для выпаривания, конденсации и сбора воды. Были изготовлены чертежи этой установки и проведены предварительные испытания частей для выпаривания и конденсации. Хотя термическая дистилляция действительно наблюдалась в опытном образце, требуется еще интенсивная оптимизация построенной установки для получения достаточных количеств воды. Это исследование привлекает внимание к альтернативному способу опреснения воды, который должен быть достаточно дешев и эффективен, принимая во внимание климатические особенности и температурный режим азиатских стран.

Отрицательное влияние регулирования рек на водный режим заводей и стариц

Oliver Rovny

Естественные экосистемы Центральной Европы сильно изменились в результате деятельности человека в течение последних ста лет. Речные заливные луга пострадали больше всего, поскольку их состояние сильно зависит от водного режима рек. Регулирование рек приводит к динамическому равновесию осаждения и вымывания взвешенных веществ и, как следствие, к естественной деградации и исчезновению стариц и заводей, а новые подобные им водоемы уже не образуются. Ускоряется исчезновение речных меандров и озероподобных водоемов в речной долине. Оливер Ровны изучал, каким образом изменяются различные экологические факторы из-за регулирования водного режима реки Мораца в Словакии и установил, почему такая практика приводит к серьезным изменениям увлажнения заводей и стариц. В данном исследовании были проанализированы три важных экологических фактора, уничтожающих старицы: динамика изменения характера растительности, донные отложения мелких частиц и динамика водного режима. В результате было установлено, что значительные изменения водной динамики стариц, расположенных близко к реке, затрудняют их сукцессию, а снижение уровня воды в реке в конечном счете является основной причиной исчезновения стариц. Более того, финалист из Словакии обнаружил, что при высыхании стариц наблюдается особая фаза, во время которой процессы аградации (намыва) донных отложений и их эрозии находятся в динамическом равновесии.

Водные организмы против загрязнения морей - является ли человек угрозой?

Raksha Gosai

Южная Африка лежит на одном из самых оживленных торговых путей в мире. Морские суда интенсивно загрязняют прибрежные воды нефтепродуктами, угрожая существованию морских и прибрежных экосистем. Нефть не только проливается во время крупных морских катастроф, о чем часто сообщается по радио и телевидению. В результате постоянных мелких утечек сотни миллионов галлонов нефти попадают в океан каждый год. Южноафриканская школьница изучила, каким образом различные загрязняющие вещества в разных концентрациях вредят водным организмам. Для этого она подвергала «морскую блоху» *Daphnia Pulex* (этот вид ракообразных особенно чувствителен к качеству воды и участвует в пищевых цепях многих видов рыб) воздействию различных концентраций нефти, бензина, хлора, детергентов, жидкости для мытья посуды, пестицидов и антифриза, а также воздействию солнечного света. Результаты опытов показали, что присутствие этих загрязняющих веществ в воде действительно угнетает развитие особей *Daphnia Pulex*. Наибольшие концентрации испытываемых загрязнителей приводили к наивысшей смертности среди популяции дафний. Южноафриканская школьница планирует проинформировать биологов и общественность о конкретном вреде, которое загрязнение морской воды приносит окружающей морской среде в региональном и глобальном масштабе. Данный проект будет способствовать повышению осведомленности местного населения о специфических механизмах влияния загрязнения на водные экосистемы.

Новая система производства электричества из энергии морских приливов

Alicia Gonzalez Pinedo

Как известно, приливы вызваны гравитационным притяжением морской воды Луной и Солнцем, в сочетании с вращением Земли. Потенциально, морские приливы могут стать неисчерпаемым источником энергии для человека, особенно из-за их постоянства и полной независимости от каких-либо других факторов. Испанская школьница поставила в своем исследовании цель «обуздать» эту энергию для производства электричества с минимальным воздействием на окружающую среду. Приливная вода должна приводить в движение генератор, который будет вырабатывать электроэнергию. В то же время новая система была построена таким образом, чтобы удерживать воздух, вытесненный водой, в специальных резервуарах, с целью его последующего использования для производства энергии. Новая система также создавала вакуум в тех же резервуарах, с целью его последующего использования для производства энергии. Алиса Гонзалез Пинедо построила электрическую схему, способную производить 144 кВт-ч электричества в месяц из одного кубометра воды. Это означает, что для обеспечения потребностей среднего домашнего хозяйства в электроэнергии нужно всего 20,43 кубометра воды. Это гораздо более эффективная система, чем существовавшие прежде приливные генераторы электричества.

Использование дровяной печи в качестве дистиллятора для получения чистой питьевой воды в сельской местности

R.D. Dasun Thakshala Siriwardana, Sandun Gayath Sameera Dissanayaka u A. Sujith Madushan Silva

Около 3 млн. человек из 20 млн. населения Шри Ланки испытывают недостаток в питьевой воде. Всего 31% населения имеет доступ к водопроводу, и только 10% населения берут питьевую воду из обыкновенных колодцев или ручных водонапорных колонок. Поэтому специалисты в области здравоохранения и санитарии предлагают остальному населению Шри Ланки кипятить воду, однако у бедного сельского населения не хватает для этого дров. Учитывая напряженную ситуацию с водоснабжением, группа школьников из Шри Ланки усовершенствовала традиционную дровяную печь, которая в Шри Ланке называется «анаги ундуна». Дело в том, что обычная печь во время приготовления еды впустую тратит до 73% тепла, образующегося при сжигании дров. Группа школьников из Шри Ланки попыталась использовать эти тепловые потери для дистилляции воды. Был создан опытный образец и проведены его испытания при сжигании различных типов дров, наиболее распространенных в трех регионах страны. Затем было проведено сравнение эффективности утилизации тепловых потерь и очистки воды в трех экспериментах. Результаты опытов показали, что дистиллятор на основе обычной дровяной печи может очищать питьевую воду от фторидов, нитратов и соли на 99 процентов.

Получение питьевой воды из рек, морей и озер во время стихийных бедствий: новый тип дистиллятора, использующий солнечные панели и обработку воды ультрафиолетом

Berk Ozdemir

В районах, пострадавших от стихийных бедствий, иногда невозможно обеспечить доступ населения к чистой питьевой воде. Во многих засушливых районах земного шара постоянно ощущается недостаток чистой питьевой воды. Наиболее распространенные методы очистки воды, такие как кипячение, обработка хлором, обратный осмос, использование солнечной энергии, до сих пор остаются весьма дорогими. Берк Оздемир разработал новый метод очистки воды с использованием солнечных панелей и ультрафиолета А. Этот способ достаточно дешев и экологически чист. После изучения различных технологий очистки воды Берк Оздемир создал солнечную панель из дешевых и легкодоступных материалов. Такая панель нагревает и испаряет сточную воду. После испарения чистая вода конденсируется на стекле и течет в водосборный сосуд. Затем эта вода обеззараживается облучением ультрафиолетовой лампой, которая также заряжается от солнца. В результате получается безопасная питьевая вода. Разработанная система очистки воды способна очищать воду от химических загрязнений и бактерий, в полном соответствии с принятыми в Турции гигиеническими нормативами.

Восстанавливая природный цикл питательных веществ

Anna Rengstedt

Круговорот таких питательных веществ, как азот и фосфор, зависит от взаимодействия человека и природы. Вмешательство человека нарушает естественный круговорот веществ в природе, поскольку питательные вещества не возвращаются в почву, а попадают в водоемы. Обильное применение искусственных удобрений и очистка сточных вод - главные причины выбывания питательных веществ из естественных циклов. Для восстановления потерянного равновесия нужно искусственно возвращать питательные вещества в почву, откуда они были взяты. Например, моча в коммунальных стоках содержит наибольшее количество питательных веществ. Если отделять мочу до ее смешивания с другими сточными водами, то содержащиеся в ней питательные вещества можно будет вернуть в сельскохозяйственные почвы. Более того, системы отделения мочи от других сточных вод могут способствовать улучшению санитарной ситуации в развивающихся странах. Анна Ренгштедт изучала цикл кругооборота питательных веществ и способы отделения мочи от коммунально-бытовых стоков. Она провела небольшой эксперимент с целью изучить, может ли моча применяться в качестве удобрения, и сравнить эффективность этого удобрения с обычными искусственными удобрениями. В результате экспериментов был сделан вывод о том, что моча может эффективно заменить искусственные удобрения. Однако степень продуктивного использования мочи в сельском хозяйстве будет зависеть от отношения населения к необходимости отделения мочи от сточных вод и к перспективе использования ее в качестве удобрения.

Моментальный фильтр для применения в домашнем хозяйстве

An Dinh Tran Vu

Целью исследования вьетнамского школьника был поиск безопасного способа сбора и очистки бытовых стоков. Автор исследования показал, что даже простые технологии очистки сточных вод, такие как фильтрация активированным углем, могут значительно помочь сохранить чистоту водоемов во Вьетнаме. Исследование вьетнамского финалиста было посвящено усовершенствованию обычных смотровых канализационных колодцев. Такие колодцы задерживают твердые отходы, чтобы не засорялись канализационные трубы, но никакой очистки бытовых стоков при этом не происходит. Поэтому тысячи опасных веществ попадают в поверхностные водоемы со сточными водами. В результате возрастает риск инфекционных заболеваний для человека и животных. Вьетнамский школьник исследовал эффективность очистки коммунальных стоков с помощью содержащего активированный уголь фильтра. Опыт продолжался 9 дней и показал хорошие результаты. Средняя эффективность фильтра составила 70-85%. После очистки вода уже не пахла моющими средствами, нефтепродуктами, жирами и токсичными веществами. Анализ отфильтрованной моментальным фильтром сточной воды показал, что очищенная вода удовлетворяет принятым во Вьетнаме нормативам для очищенных сточных вод. Данный фильтр достаточно дешев и прост в применении, его можно использовать по всей стране. Этот фильтр также может улавливать и очищать дождевую воду, для ее последующего использования в домашнем хозяйстве и для полива. Такой фильтр может пригодиться не только во Вьетнаме, но и в других странах.

Моделирование токсичных эффектов наночастиц серебра в различных экологических условиях

Joyce Chai

Наночастицы серебра присутствуют во многих потребительских товарах, чем сильно озабочено научное сообщество. Данное исследование моделирует и численно характеризует токсичность наносеребра в различных экологических условиях. В этом исследовании также измеряется стойкость потребительских товаров, содержащих наносеребро, в окружающей среде. На первом и втором этапах исследования был разработан новый метод бактериального анализа токсичности наносеребра с высокой пропускной способностью.

На третьем и важнейшем этапе исследования автор опровергает мнение о том, что наночастицы серебра более устойчивы и, следовательно, менее опасны для окружающей среды. В результате исследования было получено три важнейших результата. Во-первых, была показана надежность и воспроизводимость результатов нового метода бактериального анализа токсичности наночастиц серебра. Во-вторых, путем измерения относительного числа умерших клеток в бактериальной культуре автор доказал, что токсичность наночастиц серебра в водной среде значительно превосходит токсичность ионов серебра. Наконец, американская школьница разработала практическое применение метода бактериального анализа токсичности. Автор этого исследования не только доказывает отрицательное воздействие наночастиц серебра на живые организмы, но и ставит под вопрос целесообразность применения наносеребра в различных потребительских товарах. Таким образом, данное исследование представляет собой существенный шаг вперед в понимании и количественном описании потенциальных последствий и рисков для окружающей среды, возникающих в связи с использованием наночастиц серебра.

Получение питьевой воды с помощью солнца и воздуха

Тимур Фаткуллин, Ганна Шевченко и Зарема Умерова

Украинский проект предлагает два метода использования солнечной энергии для получения чистой питьевой воды. Оба метода основаны на конденсации водяных паров после испарения воды с использованием солнечного тепла. Вода для испарения поливается либо на мелкие камни, либо испарение происходит в замкнутом объеме над поверхностью морской воды. Первый метод основан на том, что солнце сильно нагревает камни (что возможно лишь в солнечные дни). Ночью морской бриз приносит влагу на каменные насыпи. Чем больше разница между дневной и ночной температурами, тем больше КПД установки для конденсации воды. Использование каменных насыпей - достаточно дешевый способ, к тому же экологически безвредный, поскольку используются естественные материалы и природный механизм конденсации. Второй метод основан на испарении солнечными лучами тонкого слоя воды над морской поверхностью. Водяной пар насыщает воздух в замкнутой камере над морской поверхностью, а затем попадает в водосборный резервуар по системе воздушных трубок, где происходит его охлаждение и конденсация. Получаемая таким образом вода может использоваться на фермах, в домашнем хозяйстве, в «зеленых оазисах» или на туристических базах.



**Проект победителя Стокгольмского международного юниорского водного
конкурса**

На Стокгольмский конкурс школьных водных проектов - 2008

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА
В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Джойс С. Чаи
Соединенные Штаты Америки

АННОТАЦИЯ

В течение последних нескольких лет нанотехнология претерпела революционные изменения и значительно изменила как медицину, так и технику. В настоящее время нанотехнология внедрена более чем в 1000 потребительских продуктов, от антимикробных чайников до повязок на раны. Несмотря на успешное развитие нанотехнологии, потенциальные экологические последствия этой промышленности (оборот которой оценивается в три триллиона долларов) остаются неизвестными и неизбежными.

Неясность отрицательных последствий нанотехнологии создает потребность в разработке метода для моделирования потенциальной токсичности наночастиц, особенно в водной среде. Научное сообщество сегодня сильно озабочено большим рыночным спросом на потребительские товары, содержащие наночастицы серебра (производство «наносеребра» составляет 25% от всех наночастиц). Настоящее исследование ставит задачу разработать модель для количественного описания токсичности наночастиц серебра в различных экологических условиях, а также измерения токсичности и стойкости наносеребра в модельном потребительском товаре.

На первом и втором этапах исследования был разработан новый метод бактериального анализа токсичности наносеребра на основе изменения свечения (флуоресценции) живых и мертвых клеток под действием специального красителя. Для целей данного проекта токсичность определялась как процентное отношение числа умерших клеток сверх естественной смертности клеток. С помощью разработанного нами нового метода было установлено положительное логарифмическое соотношение между различными концентрациями наносеребра и результирующей токсичностью для модельных культур бактерий видов *Pseudomonas putida* и *Bacillus subtilis*. Сравнительный анализ токсичности ионов серебра как альтернативы наносеребру показал, что наносеребро более токсично, чем ионы серебра.

На третьем и важнейшем этапе данного исследования автор опровергает мнение о том, что наночастицы серебра более устойчивы и, следовательно, менее опасны для окружающей среды. Автор применил разработанный им метод бактериального анализа токсичности для анализа фильтрованной воды, прошедшей через модельную систему фильтрации воды от наночастиц серебра. В результате было доказано проникновение наночастиц серебра через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Таким образом, наночастицы серебра могут прямо или косвенно контактировать с окружающей средой и мировыми водными ресурсами, продолжая оказывать токсичное действие на объекты окружающей среды.

В результате исследования было получено три важнейших результата. Во-первых, была показана надежность и воспроизводимость нового метода бактериального анализа токсичности наночастиц серебра. Во-вторых, было доказано, что токсичность наночастиц серебра в водной среде значительно превосходит токсичность ионов серебра, путем измерения относительного числа умерших клеток в бактериальной культуре. Наконец, практическое применение метода бактериального анализа токсичности не только доказывает отрицательное воздействие наночастиц серебра на живые организмы, но и ставит под вопрос целесообразность применения наносеребра в различных потребительских товарах. Таким образом, данное исследование представляет собой существенный шаг вперед в понимании и количественном описании потенциальных последствий и рисков для окружающей среды, возникающих в связи с использованием наночастиц серебра.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БЛАГОДАРНОСТИ

БИОГРАФИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Потенциальные риски нанотехнологии

Потенциальная токсичность наночастиц серебра

ЦЕЛЬ И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Задача 1

Задача 2

Задача 3

МЕТОДОЛОГИЯ

Культивирование и создание бактериальных суспензий

Подготовка суспензий и растворов

Этап I: Предварительный эксперимент в лабораторной чашке Петри

Этап II: Бактериальный анализ токсичности

Этап II: Анализ токсичности - компьютерное программирование

Этап III: Практическое применение - система фильтрации воды

РЕЗУЛЬТАТЫ

Этап I: Предварительный эксперимент в лабораторной чашке Петри

Этап II: Бактериальный анализ токсичности

Этап III: Практическое применение - система фильтрации воды

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЛИТЕРАТУРА

Список используемых сокращений

Наносеребро - наночастицы серебра

НЕМ - нефелометрическая единица мутности

ТСПС - Трипсиновая соевая питательная среда

БЛАГОДАРНОСТИ

В первую очередь я хочу поблагодарить Факультет гражданской и экологической техники Калифорнийского Университета в Лос-Анджелесе за предоставленную возможность провести лабораторные исследования и эксперименты. Профессор Эрик М. В. Хоук второй год любезно предоставляет в мое распоряжение свою лабораторию. Я чрезвычайно благодарна ему за оказанное доверие и за то время, которое он потратил на обсуждение проблем моего исследования. Я также хочу поблагодарить Джин Хью и Ксиаофей Хуанг за то, что они научили меня работе с лабораторным оборудованием, необходимым для моих экспериментов. Я благодарю своего учителя Питера Стародуба, который третий и выпускной для меня год преподает в моем классе практикум по естественным наукам. Именно он был первым, кто поддержал меня в моих исследованиях и, несмотря на свою занятость, каждую неделю находил время, чтобы обсудить мою работу и оказать необходимую поддержку. Наконец, я всегда буду благодарна моей семье, которая всегда поддерживала мои начинания, независимо от достигнутых результатов.

БИОГРАФИЯ

Я только что закончила среднюю школу полуострова Палос Вердес в Калифорнии, США. Я всегда интересовалась математикой и естественными науками. Я ходила на математический кружок, участвовала в олимпиадах по естественным наукам и занималась научно-практическими исследованиями. После опустошительного нашествия урагана Катрина я заинтересовалась исследованиями методов очистки воды и нанотехнологиями. Кроме этого, я участвовала в школьной общественной жизни, вступила в Почетное Испанское Общество, женский клуб, Молодежный совет Палос Вердес, студенческий джазовый вокальный ансамбль и в калифорнийскую федерацию стипендиатов, в качестве члена отраслевого совета. Среди моих достижений в средней школе я упомяну присужденную мне национальную стипендию «National Merit Scholarship» и победу на конкурсе Интел ISEF 2008.

Осенью я начну учиться в Стэнфордском Университете по специальностям химическая технология, экологическая технология и управление, биомедицина и вычислительные науки. Я хотела бы продолжить экологические исследования, хотя меня также интересует изучение вредных эффектов наночастиц для здоровья человека с более широкой, глобальной экологической точки зрения. В своих текущих и будущих исследованиях я намереваюсь сочетать инженерно-технические, экологические и биомедицинские подходы.

ВВЕДЕНИЕ

В 1959 г. профессор Ричард Фейнман сформулировал революционную концепцию нанотехнологии. С тех пор нанотехнология развилась в новую отрасль науки и техники, которая «изучает и управляет частицами вещества размерами примерно от 1 до 100 нанометров, с которыми происходят уникальные явления, возможные только при таких размерах, что позволяет разрабатывать совершенно новые их применения».^{1,2} Однако нельзя пренебрегать потенциальным риском выброса наночастиц в окружающую среду при каждом их применении. Когда на рынке присутствует более 1000 потребительских товаров, содержащих наночастицы, неизбежно негативное влияние этой промышленности (с оборотом 3 триллиона долларов) на окружающую среду.³

Потенциальные риски нанотехнологии

Несмотря на современные успехи нанотехнологии, потенциальные риски для окружающей среды и здоровья, связанные с различными применениями наночастиц, до сих пор остаются неизвестными. Когда министерства и ведомства обнаружили, что наночастицы могут проникать в организм человека и накапливаться в окружающей среде, эти государственные организации инициировали исследования потенциальных рисков нанотехнологии. В сентябре 2006 г. Национальная инициатива по нанотехнологиям сообщила о намерении исследовать методы оценки токсичности наночастиц для окружающей среды и организма человека.^{4,5} Соответствующими исследованиями занимается и Агентство по охране окружающей среды США.⁶ Из-за насыщенности потребительского рынка товарами, содержащими наночастицы серебра, «наносеребро» стало особой областью интереса для экологов.

Потенциальная токсичность наночастиц серебра

Получаемые из металлического серебра, наночастицы серебра унаследовали антимикробные свойства ионов серебра. При концентрациях менее 10⁻⁶ молей на литр ионы серебра обладают антимикробным действием. Присутствие даже таких малых концентраций ионов серебра снижает межмембранный градиент pH и тем самым ослабляет электрические силы, которые заставляют протоны проникать в клетку. Поскольку именно движение протонов «включает» активность энзимов в живых клетках, обездвиживание протонов вызывает разрыв и смерть клеток. Таким же образом, как предполагают исследователи, действуют и наночастицы серебра. Хотя они почти нерастворимы, они все же немного растворяются и создают тонкую пленку ионов серебра в концентрациях ниже 10⁻⁶ молей на литр вокруг каждой частицы. Поэтому наночастицы серебра обладают таким же антимикробным действием, как и ионы серебра.⁷

В 1980-е годы химическое производство загрязняло серебром воды южной части залива Сан-Франциско, что создало угрозу для двусторчатых моллюсков *Macoma balthica*. Чрезмерное использование серебра в качестве антимикробного средства привело к тому, что бактерии выработали устойчивость к воздействию серебра. Негативное влияние загрязнения окружающей среды серебром может предвещать и риски наночастиц серебра. Из обеззараживающих перевязочных материалов и обыкновенных электрических чайников, содержащих посеребренные поверхности, наночастицы серебра могут проникать в окружающую среду, убивая бактерии, участвующие в кругообороте вещества в экосистемах и несущие важные экосистемные функции.

Обилие наночастиц серебра на рынке потребительских товаров, несомненно, создает потенциальный риск воздействия наночастиц на объекты окружающей среды. Хотя многие ученые, подобно Симону Сильверу, изучали резистентность (устойчивость) бактерий к воздействию ионов серебра, потенциальные риски наночастиц до сих пор никем не оценивались.⁸ Следовательно, жизненно важно развить систематические методы количественного описания и анализа токсичности наночастиц серебра для бактерий в окружающей среде.

ЦЕЛЬ И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Для оценки потенциальных рисков коммерческих применений наночастиц серебра все исследование было разбито на три части:

- (1) разработка лабораторного экспресс-анализа токсичности наночастиц серебра для бактерий,
- (2) анализ потенциальной токсичности для модельной бактерии в естественных условиях окружающей среды,
- (3) создание практического метода для проверки воспроизводимости результатов лабораторного анализа в естественных условиях.

¹ Lenhart, Steve. «A Brief History of Nanotechnology». <http://www.nanoword.net/pages/history.htm> (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

² National Nanotechnology Initiative Website. <http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html> (документ был доступен 24 августа 2007 г.)

³ Service, Robert F. «Nanomaterials: Promise or Peril». ScienceNOW Daily News. <http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2007/817/3?etoc> (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

⁴ Henig, Robin Marantz. «Our Silver-Coated Future». On Earth (Fall 2007): 22 - 29.

⁵ National Nanotechnology Initiative. «Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials: September 2006». http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

⁶ Environmental Protection Agency. «Nanotechnology». <http://es.epa.gov/ncer/nano/index.html> (документ был доступен 29 августа 2007 г.)

⁷ Dibrov, Pavel; Dxioba, Judith; Gosnik, Khoosheh K.; and Hase, Claudia C. Chemiosmotic Mechanism of Antimicrobial Activity of Ag⁺ in *Vibrio cholerae*. Antimicrobial Agents and Chemotherapy (August 2002): 2668-2670.

⁸ Silver, Simon; Phung, Le T.; and Silver, Gregg. Silver as Biocides in Burn and Wound Dressings and Bacterial Resistance to Silver Compounds. Journal of Industrial Microbiology Biotechnology (2006): 627 - 634.

Задача 1

Первой задачей было создание количественного лабораторного экспресс-анализа токсичности наночастиц серебра для бактерий. Для определения оптимального времени и концентраций для лабораторного экспресс-анализа были проведены предварительные эксперименты, с использованием различных периодов времени воздействия и концентраций наночастиц серебра. Было установлено, что воспроизводимость результатов экспресс-анализа увеличивается при использовании высокой пропускной способности микропластины с 96 ячейками, содержащими культуру бактерий. Токсичность наночастиц серебра может зависеть от их концентрации или дозы. В предварительных экспериментах мы испытывали различные концентрации наночастиц серебра, как менее, так и более 10-6 молей на литр, и оценили динамику изменения токсичности при различных концентрациях. Более того, был разработан новый способ количественной оценки токсичности для бактерий.

Задача 2

Вторая задача состояла в оценке потенциальной токсичности и изучении ее механизмов. Для этого использовались две культуры бактерий, широко распространенных в естественных условиях: грамм-отрицательная *Pseudomonas putida* и грамм-положительная *Bacillus subtilis*. Таким образом, мы смоделировали возможное воздействие наночастиц серебра на бактерии, живущие в окружающей среде. Благодаря различиям в структуре клеток этих двух видов бактерий, нам удалось смоделировать весь спектр возможных экологических рисков.^{9,10} Поскольку обе эти бактерии обычно живут в почве, они идеально подходят для моделирования потенциальных рисков наночастиц серебра для окружающей среды.

Для определения механизмов токсичности те же культуры бактерий и методы количественного анализа применялись в суспензиях наночастиц серебра и растворах ионов серебра. После того как микропластина, несущая культуру бактерий, подвергалась воздействию ионов и наночастиц серебра, подсчитывалось отношение живых или жизнеспособных клеток к мертвым клеткам. Сравнение токсичности ионов и наночастиц серебра не только выявило соотношение антимикробной эффективности ионов и наночастиц серебра, но и показало, насколько наночастицы серебра могут влиять на жизнеспособность бактерий.

Для автоматизации вычислений потенциальной токсичности была написана компьютерная программа на языке Java. Эта программа не только рассчитывала потенциальную токсичность, исходя из интенсивности флюоресценции бактерий, но также графически отображала потенциальную токсичность как функцию логарифма концентрации наночастиц серебра (в микромолях на литр).

Задача 3

Последней задачей исследования было создание практического метода определения потенциальной токсичности потребительских товаров, содержащих наночастицы серебра. Для этого была смоделирована обобщенная схема фильтрации воды. Используя естественный коагулянт (бактерию *Moringa oleifera*), различные концентрации наночастиц серебра, фильтры с диаметром пор 1 мкм и 0,45 мкм, была создана простая система очистки воды. Затем лабораторная культура бактерий подвергалась воздействию фильтрованной воды и определялась остаточная токсичность наночастиц серебра, оставшихся в воде после фильтрации. Такой метод показал не только высокую воспроизводимость результатов, но также и практичность разработанного нами метода анализа токсичности.

МЕТОДОЛОГИЯ

Моделирование токсичности наночастиц серебра в естественных условиях - это многостадийный процесс, состоящий из нескольких этапов:

- 1) культивирование бактерий и создание бактериальных суспензий,
- 2) подготовка суспензий наночастиц серебра и растворов ионов серебра,
- 3) проведение предварительных экспериментов (Фаза I),
- 4) применение разработанного метода к несущей бактерии микропластине высокой пропускной способности (Фаза II),
- 5) написание компьютерной программы для автоматического расчета токсичности (Фаза II),
- 6) применение метода бактериального анализа токсичности в естественных условиях (Фаза III).

Культивирование бактерий и создание бактериальных суспензий

P. putida выращивалась при 30°C в течение 45 ч в автоклаве TSB в жидком питательном растворе, во встряхиваемой чашке Петри (Labline Orbit, Environ Shaker), со скоростью вращения 200 об/мин. *B. subtilis* выращивалась в стерилизованной 10-мл. чашке Петри с питательным раствором. Затем образец *B. subtilis* помещался в автоклав и выращивался во встряхиваемой чашке Петри при 37°C в течение 4 ч.

После окончания периода выращивания клетки бактерий собирались, промывались в центрифуге Marathon 21K производства компании Fisher Scientific 5 раз по 8 мин. при скорости вращения 4000 об/мин. Бактериальная суспензия приготавливалась помещением собранных и промытых клеток бактерий в 20-мл чашку с деионизованной водой. Образец затем разбавлялся в соотношении 1:250 и помещался в гемоциклометр, чтобы достичь концентрации клеток прядка одной на 0,1 микролитр (?л). Затем живые клетки на сетке гемоциклометра фотографировались с помощью обычного светового микроскопа и присоединенной фотокамеры, чтобы определить общее число клеток. Исходя из общего числа клеток, была определена концентрация бактерий в первоначальной бактериальной суспензии (равная общему числу клеток, умноженному на 104 и умноженному на коэффициент разбавления).

⁹ Cann, Alan. «*Pseudomonas putida*». MicrobiologyBytes.

<http://www.microbiologybytes.com/video/Pputida.html> (документ был доступен 26 августа 2007 г.)

¹⁰ JGI Microbes. «*Pseudomonas putida* F1». The Regents of the University of California.

http://genome.jgi-psf.org/finished_microbes/psep/psep.home.html (документ был доступен 26 августа 2007 г.)

Приготовление суспензий и растворов

Для сравнения токсичности ионов и наночастиц серебра концентрации наночастиц серебра в суспензии и ионов серебра в растворе были эквивалентны по массовой доле серебра. Это позволило сравнить токсичность каждой частицы. Приняв молекулярную массу частиц наносеребра равной 169,87 г/моль, мы приготовили суспензию с молярной концентрацией 1 моль, разведя 0,8400 г твердых наночастиц серебра в 4,94 л деионизированной воды. Чтобы уменьшить молярную концентрацию в 10 раз, приготовленная суспензия была разбавлена в деионизированной воде в соотношении 1:9. Процесс разбавления повторялся до тех пор, пока не было приготовлено 12 суспензий наночастиц серебра с концентрациями, начиная с 1 М, и далее каждая следующая в 10 раз меньше предыдущей, заканчивая концентрацией 0,01 наномоль (нМ). Таким же образом были приготовлены растворы ионов серебра из твердого нитрата серебра.

Фаза I: Предварительный эксперимент в лабораторной чашке Петри

В предварительных экспериментах использовалась только бактерия *P. putida*. В данном эксперименте варьировались концентрация частиц и время воздействия (см. Таблицу 1).

Чашка	1	2	3	4	5
Суспензия/ раствор	наносеребро	ион серебра	наносеребро	ион серебра	деиониз. вода
Концентрация (μM)	100,0	100,0	0,1	0,1	нет
Присутствие <i>P. putida</i>	да	да	да	да	да

Таблица 1. Предварительный эксперимент, пять чашек Петри

Чашки 1 и 3 содержали различные концентрации наночастиц серебра (свыше 1 μM и ниже 1 μM). Чашки 2 и 4 содержали эквивалентные растворы ионов серебра. Пятая чашка была контрольной, чтобы учесть естественную гибель бактерий в отсутствии ионов или наночастиц серебра.

Первоначальная бактериальная суспензия была разбавлена в пропорции 1:250. Каждая чашка содержала 5 мл разведенной в 250 раз бактериальной суспензии и 5 мл суспензии наночастиц серебра (или раствора ионов серебра).

Через 1 ч из каждой чашки были взяты образцы объемом 0,5 мл и помещены в пять отдельных кювет, снабженных соответствующими табличками. Затем в эти кюветы было добавлено по 0,5 мл специальной краски двух видов: SYTO 9 (которая заставляет живые клетки светиться в зеленом флуоресцентном свете) и Propidium Iodide (которая заставляет мертвые клетки светиться в красном флуоресцентном свете). После 10-минутного инкубационного периода из каждой кюветы были взяты пробы объемом 50 $\mu\text{л}$ и помещены на пять отдельных предметных стекол для микроскопа. Используя обычный световой микроскоп и флуоресцентную краску, каждый образец один раз фотографировался на черно-белую пленку в зеленом флуоресцентном свете (подсвечивает живые клетки) и один раз в красном флуоресцентном свете (подсвечивает мертвые клетки). Процесс фотографирования повторялся через 24 ч, чтобы показать, как со временем умирают клетки. Такой эксперимент заложил основу для дальнейшего применения метода бактериального анализа токсичности с помощью ячеистой микропластины высокой пропускной способности.

Фаза II: Бактериальный анализ токсичности

После предварительных испытаний метод бактериального анализа токсичности был перенесен из лабораторных чашек Петри на ячеистую микропластину высокой пропускной способности, чтобы ускорить экспресс-анализ токсичности. На рис. 1 схематически изображена такая микропластина с 96 ячейками.

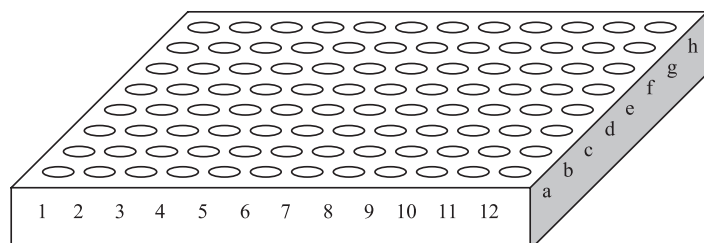


Рис. 1 Микропластина с 96 ячейками

Такая микропластина использовалась для высокоскоростного экспресс-анализа токсичности растворов для бактерий. Каждый ряд (1-12) представляет собой набор из восьми испытаний в заданных исследователем условиях.

Кюветы 1 и 2 моделировали влияние наносеребра и ионов серебра на бактерии *P. putida*, а кюветы 3 и 4 - на бактерии *B. subtilis*. Каждая из 96 ячеек содержала 50 $\mu\text{л}$ заданной концентрации ионов или наночастиц серебра в данном ряду и 50 $\mu\text{л}$ заданной бактериальной суспензии. Одна ячейка в каждом ряду (1-12) была случайно выбрана для помещения 50 $\mu\text{л}$ бактериальной суспензии в 50 $\mu\text{л}$ деионизированной воды, для того чтобы учесть эффект спонтанной смерти клеток бактерий. Путем случайного выбора такой ячейки были устранены слишком выделяющиеся значения, влияющие на результат.

яющие на достоверность распределения контрольных ячеек. Для каждой ячейки использовалась новая насадка для микропипетки, чтобы избежать загрязнения. Затем микропластина помещалась на встряхиваемый поддон на 3 ч. По истечении 3 ч в каждую ячейку микропипеткой было добавлено по 50 μ л краски SYTO 9 и 50 μ л краски Propidium Iodide. После инкубационного периода зеленое и красное свечение каждой ячейки регистрировалось специальным считывающим устройством Flex Station II (производства компании Molecular Devices, Life Science Instrumentation). Длина волны возбуждения считывающего устройства (флюорометра) была выставлена на 485 нм, длина волны испускаемого зеленого свечения равнялась 350 нм, а длина волны испускаемого красного свечения равнялась 630 нм. Соотношение интенсивностей зеленого и красного свечения позволяло рассчитать пропорцию живых и мертвых клеток в каждой ячейке.

Фаза II: Анализ токсичности - компьютерное программирование

Для присвоения рейтинга токсичности данной концентрации наночастиц для данной бактерии был разработан новый метод. С помощью калибровочной кривой флюорометра Flex Station II было получено уравнение для расчета процентного содержания мертвых клеток, исходя из соотношения живых и мертвых клеток. Используя это уравнение, процентное содержание мертвых клеток в контрольной ячейке, вычисленное из соотношения живых и мертвых клеток в контрольной ячейке, вычиталось из процентного содержания мертвых клеток, соответствовавшего среднему экспериментально полученному соотношению живых и мертвых клеток. Для целей данного исследования, разница между этими двумя величинами принималась в качестве характеристики потенциальной токсичности.

Для расчета токсичности была написана программа на языке Java, которая использовала в качестве входных данных соотношение живых и мертвых клеток в экспериментальных и контрольных ячейках. Эта программа также строила график зависимости токсичности от концентрации.

Фаза III: Практическое применение: система фильтрации воды

Чтобы продемонстрировать практическое применение разработанного метода, была создана обобщенная система фильтрации воды, содержащей наносеребро. Поскольку в систему фильтрации добавлялась постоянная доза 0,50 г естественного коагулянта *Moringa oleifera* и постоянный объем 80 мл естественной озерной воды, то единственной переменной величиной была концентрация наночастиц серебра: 1,0 наномоль (нМ), 1,0 микро-моль (μ М), 1,0 миллимоль (мМ) и 1,0 моль (М). Система фильтрации воды копировала обычный процесс очистки воды. Коагуляция ускорялась быстрым встряхиванием при частоте 100 об/мин в течение 1 мин, а флокуляции способствовало медленное смешивание при частоте 20 об/мин в течение 15 мин. Затем смешивание прекращалось и хлопья оседали в течение 1,5 ч. После этого воду фильтровали через фильтры с диаметром пор 1 микрон и 0,45 микрон.

Для оценки эффективности добавления наносеребра измерялась мутность и проводимость первоначальной сырой воды и фильтрованной воды. Для определения концентрации наночастиц в отфильтрованной воде был применен разработанный нами метод бактериальной оценки токсичности. На этот раз ячейки микропластины наполнялись 50 μ л фильтрованной воды и 50 μ л суспензии *B. subtilis*. Через 3 ч встряхивания на поворотном столе к суспензии бактерий добавлялись красители и измерялась флюоресценция живых и мертвых клеток. В этом случае в контрольной ячейке находилась сырая вода из озера с бактериями *M. oleifera* после фильтрации. Токсичность каждой опытной фильтрационной системы приписывалась присутствию наночастиц серебра в отфильтрованной воде. Исходя из измеренной токсичности, определялась относительная концентрация наночастиц серебра в воде после фильтрации. Для определения разницы в токсичности воды до и после фильтрации тем же методом определялась токсичность воды до фильтрации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе данного исследования были получены три массива данных:

- 1) *результаты предварительных экспериментов,*
- 2) *результаты измерения токсичности с помощью культур бактерий,*
- 3) *результаты практического применения разработанного метода анализа токсичности.*

Первые два набора данных позволили получить кривую зависимости токсичности наночастиц и ионов серебра от их концентрации. Результаты практического применения показали потенциальную токсичность потребительских товаров, содержащих наночастицы серебра.

Фаза I: Предварительный эксперимент в лабораторной чашке Петри

Предварительный эксперимент в лабораторной чашке Петри показал, как изменение концентрации частиц и времени встряхивания влияют на токсичность. Число клеток бактерий *P. putida* и *B. subtilis* посчитывалось непосредственно и составляло как правило от $8,0 \times 10^9$ до $9,0 \times 10^9$ клеток на мл. Такая концентрация поддерживалась постоянной в предварительных экспериментах и в пробах, содержащих клетки бактерий.

Подсчет числа живых и мертвых клеток в каждой из пяти чашек проводился через 1 час и через 24 часа. Отношение числа живых к числу мертвых клеток в каждом образце в каждый момент измерения было получено делением полного числа живых клеток на полное число мертвых клеток в каждом образце (см. Табл. 2).

Концентрация частиц	Период времени (ч)	Отношение живые/мертвые	Токсичность (%)
Наночастицы серебра 0,1 μM	1	1,539	23,2
	24	1,779	4,5
Наночастицы серебра 100 μM	1	0,951	28,9
	24	0,917	12,8
Ионы серебра 0,1 μM	1	1,650	22,2
	24	2,993	7,1
Ионы серебра 100,0 μM	1	2,958	9,6
	24	1,863	3,7
Бактерия <i>Pseudomonas putida</i>	1	3,954	-
	24	2,248	-

Таблица 2. Измерение числа живых и мертвых клеток и их соотношения

Пять образцов анализировались через 1 ч и 24 ч. Соотношение живых и мертвых клеток, полученное делением общего числа живых на общее число мертвых клеток, аппроксимирует соотношение живых и мертвых клеток во всем образце. Это соотношение через 24 ч меньше, чем через 1 ч., что доказывает смертность клеток.

В предварительном эксперименте образцы с концентрацией наночастиц и ионов серебра 100,0 μM имели относительно более высокую токсичность, чем образцы с концентрацией 0,1 μM . Единственным исключением является соотношение в растворе с концентрацией ионов серебра 0,1 μM через 24 ч (2,993). Это соотношение выше, чем в контрольном образце через 24 ч (2,248). Очевидно, что через 1 ч отношение числа живых и мертвых клеток к контрольному образцу было выше, чем в чашке Петри с 100,0 μM суспензией наносеребра. Из-за сильного возрастания токсичности через 24 ч более хорошие результаты для целей данного исследования будут получены, если измерять токсичность в промежуточный момент времени, например через 3 ч.

Фаза II: Бактериальный анализ токсичности

Предварительные эксперименты в чашках Петри стали основой для создания бактериального метода определения токсичности с помощью микропластины большой пропускной способности. Для целей данного исследования токсичность была переопределена как процентное содержание мертвых клеток сверх естественной смертности клеток (см. Табл. 3).

Концентрация нМ = наномоль μM = микромоль мМ = миллимоль	Токсичность кюветы 1 (наносеребро + <i>P. putida</i>)	Токсичность кюветы 2 (ионы серебра + <i>P. putida</i>)	Токсичность кюветы 3 (наносеребро + <i>B. subtilis</i>)	Токсичность кюветы 4 (ионы серебра + <i>B. subtilis</i>)
0,01 нМ	30,29	30,73	0,89	0,66
0,1 нМ	31,28	6,65	1,36	1,34
1,0 нМ	36,78	42,57	2,10	1,26
0,01 μM	34,18	56,19	5,47	5,14
0,1 μM	57,45	48,94	4,46	4,78
1,0 μM	55,00	56,91	5,21	6,92
0,01 мМ	58,61	64,72	6,14	15,3
0,1 мМ	67,76	63,82	10,59	15,8
1,0 мМ	68,26	65,28	15,47	16,4
0,01 М	71,88	75,36	18,06	16,7
0,1 М	71,54	72,65	18,68	19,06
1,0 М	73,33	79,82	21,14	19,68

Таблица 3 Токсичность наночастиц серебра и ионов серебра (средняя), по методу бактериального анализа токсичности с применением микропластины с 96 ячейками

Флюорометр измеряет интенсивность зеленой флюоресценции, что показывает число живых бактериальных клеток, и красной флюоресценции, что показывает число мертвых бактериальных клеток. В таблице 3 показаны средние значения токсичности, полученные после целой серии аналогичных экспериментов. Токсичность рассчитана по формуле:

$$\text{Токсичность (\%)} = (11,0 - \text{живые/мертвые клетки}) / 0,1037$$

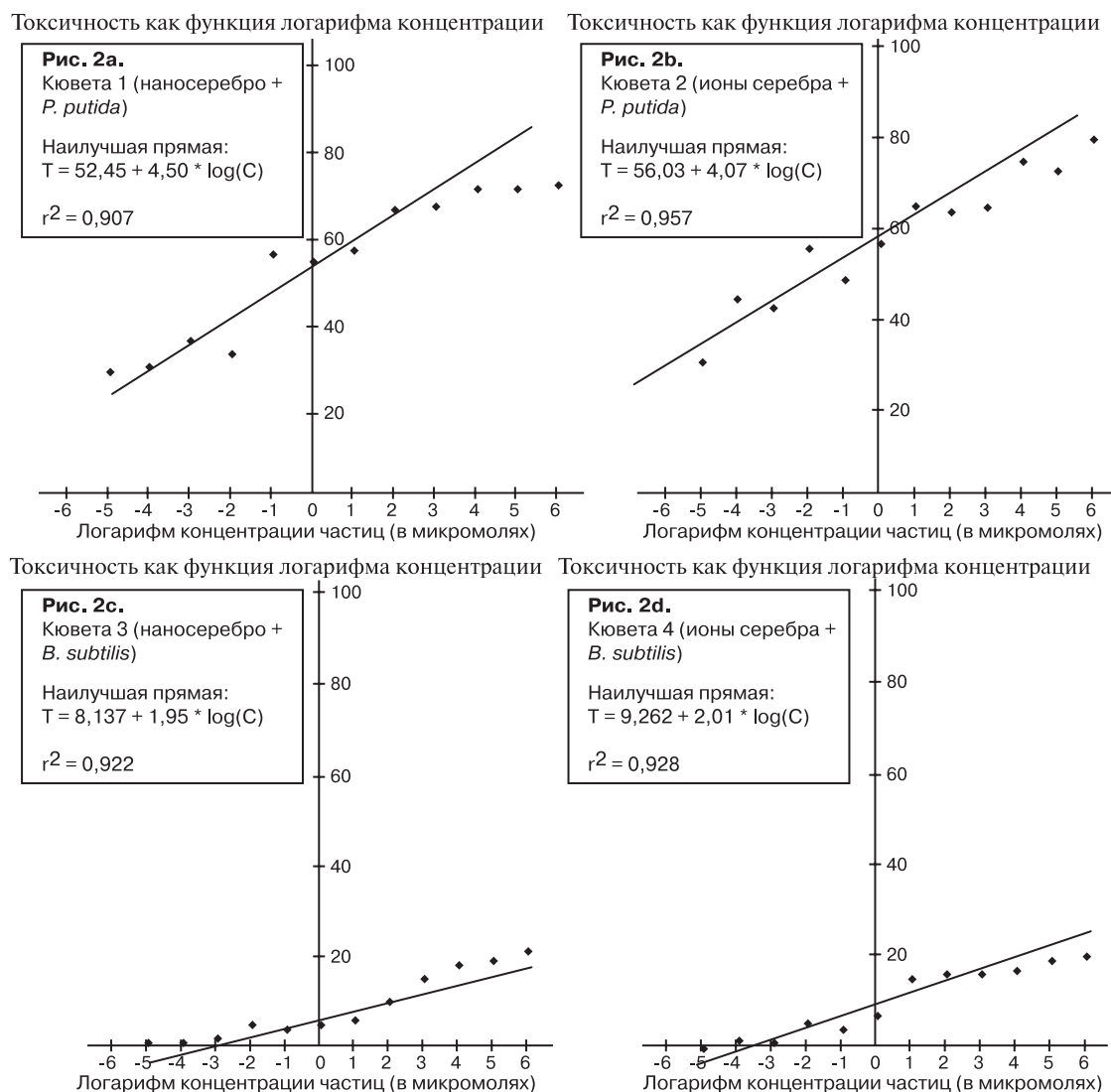


Рис. 2. Токсичность как функция логарифма концентрации, кюветы 1-4

Как показано на рис. 2, нами были установлены линейные тренды увеличения относительной токсичности в зависимости от логарифма концентрации, выраженной в микромолях. Графики 2а и 2б, представляющие токсичность наночастиц серебра и ионов серебра для бактерии *P. putida*, показывают похожие тренды токсичности. То же самое можно сказать о графиках 2с и 2д, которые показывают токсичность наночастиц серебра и ионов серебра для бактерии *B. subtilis*. Разница между трендами токсичности для бактерий *P. putida* и *B. subtilis* может быть вызвана различиями между грамм-положительными и грамм-отрицательными бактериями.

Фаза III: Практическое применение: система фильтрации воды

Результатом третьей фазы работы стало доказательство наличия экологических рисков, вызванных использованием потребительских товаров, содержащих наносеребро. Шесть чашек Петри (одна контрольная и пять экспериментальных) содержали следующие образцы:

- 1) озерная вода,
- 2) озерная вода + *M. oleifera*,
- 3) озерная вода + *M. Oleifera* + 1,0 нМ наносеребра,
- 4) озерная вода + *M. Oleifera* + 1,0 мМ наносеребра,
- 5) озерная вода + *M. Oleifera* + 1,0 мМ наносеребра,
- 6) озерная вода + *M. Oleifera* + 1,0 М наносеребра.

В каждой пробе анализировались 4 показателя: рН, мутность, проводимость и токсичность (которая затем соотносилась с концентрацией наносеребра, используя график 2с). Результаты анализов приведены в Таблицах 4 и 5.

Чашка Петри	Мутность (НЕМ)	Остаточная мутность (НЕМ)	pH	Проводимость, микросименс/см ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	8,20	-0,19	6,70	290,1
2	2,89	-7,21	6,56	300,8
3	3,50	-6,60	6,88	479,1
4	4,00	-6,10	6,91	421,3
5	1,29	-8,81	6,96	411,0
6	1,62	-8,48	6,92	391,9
Сырая вода	10,19	-	6,64	292,2

Таблица 4. Мутность, pH и проводимость фильтрованной воды

Данные подтверждают эффективность добавления наночастиц серебра к бактериальной суспензии *M. oleifera*. Когда наночастицы серебра присутствуют в чашке, то наблюдается большое снижение мутности. Наиболее эффективная концентрация наночастиц равна 1,0 мМ.

Чашка Петри	Токсичность (% , фильтрованная)	Концентрация (фильтрованная)	Токсичность (% , нефильтрованная)	Концентрация (нефильтрованная)
Контрольная 1	-	-	-	-
2	0,0011	0,066 нМ	0,0021	0,066 нМ
3	1,35	0,330 нМ	3,01	0,002 фМ
4	6,31	0,113 мМ	4,87	0,021 фМ
5	12,46	0,156 мМ	14,34	0,001 М
6	11,30	0,040 мМ	23,45	0,065 дМ

Таблица 5. Токсичность и концентрации наносеребра в фильтрованной и нефильтрованной воде

Значения токсичности были получены путем бактериального анализа токсичности, затем соответствующие им значения концентраций были найдены с использованием наилучшей прямой на графике 2с. Поскольку в данной системе фильтрации воды использовалась бактерия *B. subtilis*, то нужно использовать уравнение наилучшей прямой на графике 2с, чтобы вычислить концентрацию наночастиц серебра в воде.

Согласно Таблице 4, система фильтрации воды эффективно очищает воду. Когда концентрация наночастиц серебра составляла 1,0 мМ, то мутность снижалась более чем на 80%, с 10,10 до 1,29 ед. (здесь и далее имеются в виду нефелометрические единицы мутности). Всемирная организация здравоохранения установила для питьевой воды норматив 1,00 ед., так что подобное снижение мутности после фильтрации имеет огромное значение. Однако после проведения бактериального анализа токсичности фильтрованной и нефильтрованной воды была обнаружена смертность бактериальных клеток сверх естественной, что может быть (хотя бы отчасти) вызвано присутствием наночастиц серебра. Следовательно, можно приблизительно определить и концентрацию наночастиц серебра, соответствующую наблюдаемой токсичности. Несмотря на установленную эффективность системы очистки воды, в отфильтрованной воде все же остается токсичная концентрация наночастиц серебра. Более того, токсичность нефильтрованной воды (которая моделирует прямой контакт изделий, содержащих наночастицы серебра, с окружающей средой) точно соответствовала той концентрации наночастиц серебра, которая была предварительно добавлена в образцы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Основная задача данного исследования состояла в разработке метода количественной оценки токсичности, с использованием культур бактерий и лабораторного инструментария высокой пропускной способности. Второй задачей было применение данного метода для оценки токсичности ионов и наночастиц серебра для модельных (т.е. типичных для окружающей среды) бактерий *Pseudomonas putida* и *Bacillus subtilis*. Для автоматизации вычислений токсичности для модельных бактерий, вызванной различными концентрациями наночастиц и ионов серебра, была написана компьютерная программа. Эта программа вычисляла токсичность на основании измерения интенсивности флуоресценции живых и мертвых бактериальных клеток. Третьей и последней задачей данного исследования было практическое применение разработанного метода бактериального анализа токсичности, который мог бы моделировать присутствие в окружающей среде изделий, содержащих наночастицы серебра.

Предварительный эксперимент доказал применимость общего метода определения токсичности. Хотя все концентрации наночастиц и ионов серебра эффективно убивали бактерии *P. putida*, таким образом дезинфицируя воду, наиболее токсичным эффектом для клеток бактерий обладала концентрация наночастиц серебра 100,0 мМ (уровень токсичности 28,95%). Если другие концентрации наночастиц и ионов серебра приводили к достаточно высоким соотношениям живых и мертвых клеток (более 1,5), то концентрация 100,0 мМ поддерживала чрезвы-

чайно низкое соотношение живых и мертвых клеток (0,952 через 1 час и 0,917 через 24 ч). Таким образом, данный результат подтвердил теоретический вывод о том, что более высокие концентрации наночастиц серебра будут более токсичны для клеток бактерий. Общая тенденция увеличения токсичности со временем подтвердила теоретическое предположение о том, что со временем наночастицы серебра быстро накапливаются и обладают токсическим действием на живые организмы. Если в окружающей среде будут накапливаться наночастицы серебра, то их кумулятивная токсичность для окружающей среды будет чрезвычайно велика.

Во время бактериального анализа токсичности была доказана количественная точность и возможность успешного применения метода, разработанного и испытанного на предварительном этапе исследования. Прежде всего, каждая ячейка микропластины с наибольшим значением соотношения живых и мертвых бактерий соответствовала контрольным ячейкам, выбранным случайным образом. Согласие результатов анализа между всеми четырьмя кюветами подтверждает наш вывод о воспроизводимости результатов анализа. Поскольку мы наблюдали гибель более 70% клеток бактерий *P. putida* всего через 3 часа воздействия наночастиц серебра, это должно стать предостережением о возможных отрицательных последствиях применения нанотехнологий. Если период контакта наносеребра с живыми организмами будет еще больше, можно ожидать гибели более 90% клеток, что является опасным для окружающей среды и организма человека. Из-за различий в строении клеточных мембран бактерий двух исследованных видов, наносеребро убивало не более 21,14% клеток бактерии *B. subtilis*, однако если время контакта будет больше, то и это соотношение должно возрасти.

Как показано в Таблице 3, существует прямая зависимость между токсичностью и концентрацией наночастиц серебра: чем больше концентрация, тем больше токсичность, и наоборот. Важным результатом исследования является экспериментально установленная логарифмическая зависимость между токсичностью и концентрацией. На рис. 2 токсичность представлена как линейная функция десятичного логарифма концентрации, выраженной в микромолях. Линейная зависимость токсичности от логарифма концентрации доказана высокой статистической значимостью наилучших прямых, измеряемой коэффициентом корреляции r^2 , для обоих видов бактерий. Абсолютная корреляция между концентрацией и токсичностью достигается при $r^2=1$, а в наших экспериментах значение r^2 изменялось от 0,907 до 0,928. Согласно общим принципам математической статистики, такие уровни корреляции следует признать очень высокими. Поэтому можно говорить о прямой зависимости токсичности наночастиц серебра от их концентрации. Данные бактериального анализа токсичности с использованием микропластины высокой пропускной способности подтверждают вывод о потенциальной опасности нанотехнологии. Разработанный нами новый метод количественного определения токсичности для бактерий убедительно доказывает токсичность ионов и наночастиц серебра, поскольку мы наблюдали гибель подавляющего большинства клеток бактерий после воздействия наночастиц серебра в течение относительно непродолжительного периода времени. Этот результат позволяет предположить, что в окружающей среде, где период контакта будет гораздо более продолжительным, токсичность наночастиц серебра может оказаться чрезвычайно высокой.

Для демонстрации возможности практического применения результатов нашего исследования была создана экспериментальная система фильтрации воды. Хотя сочетание *M. oleifera* и наночастиц серебра может снизить мутность сырой воды на 80%, результирующая токсичность наночастиц серебра, которые проходят через фильтр с диаметром пор 1 микрон, оказалась чрезвычайно высока. Токсичность нефilterованной воды соответствовала добавленным концентрациям наночастиц или ионов серебра. Поскольку мы использовали статистический метод проведения наилучшей прямой концентрация-токсичность, то концентрации, соответствующие определенным значениям токсичности, можно оценить лишь приблизительно. Тем не менее, прямая зависимость токсичности нефilterованной воды от добавленной концентрации наночастиц показывает потенциальный риск прямого контакта человека с сырой водой (если пить нефilterованную воду).

Что же касается фilterованной воды, то ее токсичность снижается, но не исчезает. Даже после двукратного фilterования через микронный фilter вода оставалась токсичной для бактерии *B. subtilis*. Персистентная токсичность и соответствующие ей достаточно высокие вычисленные концентрации наночастиц доказывают, что даже после фilterации такая вода опасна для живых организмов в окружающей среде. Таким образом, продемонстрированное практическое применение метода бактериального анализа токсичности доказало воспроизводимость результатов метода и возможность его практического применения. Более того, созданная нами модель типичной системы фilterации воды выявила токсичность товаров, содержащих наночастицы серебра, для живых организмов в окружающей среде. Можно сказать, что разработанный нами метод бактериального анализа токсичности и его практическое применение в совокупности убедительно демонстрируют потенциальные риски наночастиц серебра. Поскольку все потребительские товары прямо или косвенно контактируют с окружающей средой, то наночастицы серебра потенциально токсичны, и их опасность может постепенно возрасти до неприемлемого уровня.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Хотя наше исследование достигло своей цели - создать бактериальный метод с высокой пропускной способностью для анализа токсичности наночастиц серебра - необходимо продолжить исследования в этой области. Мы исследовали два вида «модельных» бактерий, типичных для окружающей среды. Поскольку наночастицы серебра используются в медицинских целях, необходимо исследовать их токсичность для клеток, выделенных из организма человека. Таким образом можно будет моделировать токсичность наночастиц серебра для человека, особенно при продолжительном контакте. Далее, если гибель более 70% клеток может происходить всего за 3 часа, то продолжительное воздействие наночастиц может оказаться столь разрушительным, что потенциальный риск перевесит все выгоды от использования нанотехнологии. Важно отметить, что разработанный нами метод может быть применен для исследования потенциальной токсичности других наночастиц, таких как углеродные нанотрубки и «квантовые капли вещества».

Научное воздействие данного исследования на нанотехнологию может быть чрезвычайно сильным, поскольку оно охватывает как медицинские, так и экологические аспекты. Наше исследование должно стать лишь первым шагом к пониманию и количественному описанию потенциальных последствий и рисков, связанных с использованием наночастиц и нанотехнологий в различных экологических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

Cann, Alan. «Pseudomonas putida». MicrobiologyBytes.

<http://www.microbiologybytes.com/video/Pputida.html> (документ был доступен 26 августа 2007 г.)

Dibrov, Pavel; Dxioba, Judith; Gosnik, Khoosheh K.; and Hase, Claudia C. Chemiosmotic Mechanism of Antimicrobial Activity of Ag⁺ in *Vibrio cholerae*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* (August 2002): 2668-2670.

Environmental Protection Agency. «Nanotechnology».

<http://es.epa.gov/ncer/nano/index.html> (документ был доступен 29 августа 2007 г.)

Henig, Robin Marantz. «Our Silver-Coated Future». *On Earth* (Fall 2007): 22 - 29.

JGI Microbes. «Pseudomonas putida F1». The Regents of the University of California.

http://genome.jgi-psf.org/finished_microbes/psepu/psepu.home.html (документ был доступен 26 августа 2007 г.)

Lenhert, Steve. «A Brief History of Nanotechnology».

<http://www.nanoword.net/pages/history.htm>

(документ был доступен 23 августа 2007 г.)

National Nanotechnology Initiative. «Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials: September 2006». http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

National Nanotechnology Initiative Website.

<http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html> (документ был доступен 24 августа 2007 г.)

Service, Robert F. «Nanomaterials: Promise or Peril». *ScienceNOW Daily News*.

<http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2007/817/3?etoc> (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

Silver, Simon; Phung, Le T.; and Silver, Gregg. Silver as Biocides in Burn and Wound Dressings and Bacterial Resistance to Silver Compounds. *Journal of Industrial Microbiology Biotechnology* (2006): 627 - 634.

1 Lenhert, Steve. «A Brief History of Nanotechnology».

<http://www.nanoword.net/pages/history.htm> (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

2 National Nanotechnology Initiative Website.

<http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html> (документ был доступен 24 августа 2007 г.)

3 Service, Robert F. «Nanomaterials: Promise or Peril». *ScienceNOW Daily News*.

<http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2007/817/3?etoc> (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

4 Henig, Robin Marantz. «Our Silver-Coated Future». *On Earth* (Fall 2007): 22 - 29.

5 National Nanotechnology Initiative. «Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials: September 2006».

http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf (документ был доступен 23 августа 2007 г.)

6 Environmental Protection Agency. «Nanotechnology».

<http://es.epa.gov/ncer/nano/index.html> (документ был доступен 29 августа 2007 г.)

7 Dibrov, Pavel; Dxioba, Judith; Gosnik, Khoosheh K.; and Hase, Claudia C. Chemiosmotic Mechanism of Modeling the Effects of Silver Nanotoxicology 6.

8 Silver, Simon; Phung, Le T.; and Silver, Gregg. Silver as Biocides in Burn and Wound Dressings and Bacterial Resistance to Silver Compounds. *Journal of Industrial Microbiology Biotechnology* (2006): 627 - 634

9 Cann, Alan. «Pseudomonas putida». MicrobiologyBytes.

<http://www.microbiologybytes.com/video/Pputida.htm> (документ был доступен 26 августа 2007 г.)

10 JGI Microbes. «Pseudomonas putida F1». The Regents of the University of California.

http://genome.jgi-psf.org/finished_microbes/psepu/psepu.home.html (документ был доступен 26 августа 2007 г.)

Перевод Дмитрия Шапошникова



Как вы знаете, мы всегда ставили перед собой задачу победить на международном конкурсе.

Сегодня можно сказать – в 2008 году мы существенно продвинулись вперед в достижении нашей цели: впервые с 2003 года, когда наша страна стала участником конкурса в Стокгольме,

проект **российского национального победителя** был отмечен международным жюри, и наш школьник стал призером международного конкурса, получив **Diploma of Excellence**.

Значит, мы находимся на правильном пути.

В данной брошюре мы представляем вам переводы аннотаций всех проектов, представленных на Стокгольмском международном юниорском водном конкурсе 2008 года, а также перевод текста проекта – победителя из США.

Надеюсь, что знакомство с каталогом и проектом даст вам возможность представить уровень и диапазон тем и направлений, в которых работают зарубежные школьники и их педагоги, а также позволит найти новые идеи и сферы деятельности.

В конечном итоге, наша основная цель при реализации Российского национального конкурса водных проектов старшеклассников – сделать так, чтобы вам было интересно заниматься проблемами охраны и восстановления водных ресурсов.

Без воды будущего у Земли нет.

До встречи в финале российского конкурса – 2009!

*Н.Г.Давыдова, канд.техн.наук,
директор Института консалтинга экологических проектов,
руководитель Российского национального конкурса
водных проектов старшеклассников*



Институт консалтинга экологических проектов - автономная некоммерческая организация, реализующая природоохранные проекты и программы в целях расширения межсекторального, межрегионального и международного сотрудничества для достижения устойчивого развития.

Контакты:

www.eco-project.org

water-prize@mail.ru, eco.epci@gmail.com

Тел./факс: 499 245-68-33

Телефоны: 499 246-48-32

903 144-30-19

495 589-65-22

Издано при поддержке компании «Кока-Кола ЭйчБиСи Евразия»

Coca-Cola

Hellenic Coca-Cola
Pleasure for Everyone