

при проектировании и строительстве очистных сооружений в Узбекистане, что обусловлено нашим жарким климатом, возникающем при этом вторичном загрязнении водоемов принимающих очищенные сточные воды.

Авторы выражают благодарность фирме «LAR PROCESS ANALYSERS AG» (Германия) за предоставленную возможность проводить исследования с использованием лабораторного оборудования, произведенного ей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казакевич, С. В. Загрязнение нефтепродуктами Камского водохранилища в районе Палазненского нефтяного месторождения / С. В. Казакевич, В. В. Никифоров, Н. Г. Максимович // Геологи XXI века: материалы 6-ой Всероссийской науч. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов Саратов, 5–7 апреля 2005 г. – Саратов: Саратовское отделение. Евро-Азиатское геофизическое общество, 2005. – С. 113–115.
2. Гущина, В. В. Биологическая очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов / В. В. Гущина, Е. А. Фарберова, А. В. Виноградов // Химия и экология: тез. докл. 9-ой краевой конф. студентов и молодых ученых, Пермь, 19 апр. 2007. – Пермь: ПГТУ, 2007. – С. 29-30.
3. Захарченко, М. А. Очистка сточных вод в системах, близких к естественным условиям / М. А. Захарченко // Международный водный форум «Аква Украина-2003»: материалы науч.-практ. конф. – Киев, 2003. – С. 178–180.
4. Калайдоа, М. Л. Доочистка сточных вод как метод повышения эффективности использования водных ресурсов / М. Л. Калайдоа, С. Д. Загустина, Т. П. Синютина // Международная науч.-техн. конф. «Энергетика 2008. Инновации, решения, перспектива». Казань. 15–19 сент. 2008 г. Кн. 4. Энерго-машиностроение. – Казань: КГЭУ, 2008. – С. 8–13.
5. Остроумова, С. А. Эколого-гидробиологическая система самоочищения воды в природных водных экосистемах: разработка теории полифункциональной центральной роли биоты / С. А. Остроумова // Экологические системы и приборы. – 2006. – № 6. – С. 33–38.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОГО БИОЦЕНОЗА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕГО В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СЛОЖНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

CULTIVATION OF SPECIFIC BIOCEANOSE AND ITS EXPLOITATION IN THE PROCESS OF TREATMENT OF WASTEWATER WITH COMPLEX ORGANIC ORIGIN

Л. М. Шаповалова¹, В. Б. Нурматова¹, О. А. Смолькова²

L. Shapovalova¹, V. Nurmatova¹, O. Smolkova²

¹Ташкентский научно-исследовательский институт окружающей среды
и природоохранных технологий Госкомэкологии РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан
dagon49@mail.ru

²«LAR PROCESS ANALYSERS AG», Берлин, Германия

¹Research Institute of Environment and Environment Protection technologies under the State Committee
for Ecology and Environmental Protection of Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

²«LAR PROCESS ANALYSERS AG», Berlin, Germany

Представлены данные по культивированию специфического биоценоза, в состав которого входят зеленая серобактерия и водоросли, с последующим использованием этого биоценоза в качестве агента-стимулятора процесса очистки. Применение специфического биоценоза позволит стабилизировать процесс очистки в биологических прудах с естественной аэрацией и тем самым повысить эффективность очистки.

The article contains data about cultivation of the specific biocenose, that consists of green sulfur bacteria and algae. This biocenose stimulates the process of purification. Application of such biocenose leads to the stabilization of the process of water purification in bioponds with natural aeration.

Ключевые слова: фотосинтезирующие водоросли, зеленый серобактерии, пруд-культуратор, сточные воды со сложными органическими загрязнениями.

Keywords: photosynthetic algae, green sulfur bacteria, cultivator pond, wastewater with complex organic pollution.

Биологические пруды с естественной аэрацией достаточно широко используются в практике очистки как хозяйственно бытовых сточных вод, так и их смесей с промышленными. Однако, СНИП II-32-74 и их более поздние редакции не учитывают специфики сухого и жаркого климата Узбекистана. Соответственно, биологические пруды с естественной аэрацией спроектированные и построенные в соответствии с этими документами не могли

обеспечить качества очищенного стока для сброса их в открытые водоемы. В связи с этим, авторами были разработаны пруды полной биологической очистки с естественной аэрацией с учетом особенностей климата региона.

В основе разработанной технологии очистки сточных вод в биологических прудах с естественной аэрацией лежит многоступенчатая схема с четким разграничением процесса очистки по отдельным ее стадиям. В данной схеме каждой стадии очистки соответствует определенный пруд. Эта технология позволяет сочетать процессы очистки и доочистки в одном сооружении, что в свою очередь строго контролирует процесс на всех его отдельных этапах при одновременном круглогодичном стабильном обеспечении высокого качества очищенных сточных вод. В состав таких сооружений биологической очистки с естественной аэрацией входят следующие слабопроточные пруды:

- пруд-отстойник-стабилизатор – предназначен для предварительной очистки сточных вод перед дальнейшей биологической обработкой;
- пруд-культиватор – предназначен для культивирования стока с высокой биомассой водорослей выполняющей роль основного агента очистки и соответственно с высоким содержанием фотосинтетического кислорода ;
- пруд-биокоагулятор – выполняет роль дополнительного отстойника для удаления избыточной биомассы водорослей и взвешенных веществ сточных вод;
- пруд-доочистки с высшей водной растительностью – предназначен для изъятия остаточных количеств загрязнений из сточных вод.

Очистка вод в прудах осуществляется следующим образом: общий поток сточных вод делится на две части, где меньший по объему поток направляется в пруд культиватор для формирования стока с высокой биомассой водорослей и высоким содержанием растворенного кислорода. Большой поток направляется в пруд-отстойник-стабилизатор для предварительной очистки сточных вод. Далее оба потока соединяются вместе и подаются в пруд – биокоагулятор, а затем в пруд-доочистки с высшей водной растительностью. Таким образом, каждый из прудов, включенных в схему очистки сточных вод, выполняет строго определенную роль [1].

Обширные исследования различных сооружений очистки с естественной аэрацией показали, что на начальных этапах всегда доминирует бактериальная микрофлора, поскольку осуществляется процесс разложения сложных органических веществ до более простых соединений, которые могут усваиваться гидробионтами на последующих трофических уровнях, в частности водорослями. В составе биоценоза водоросли являются важнейшим звеном процесса самоочищения водоема, поставляя основное количество растворенного кислорода. Водоросли, в процессе жизнедеятельности используют различные растворенные в воде минеральные вещества, в том числе и биогенные. Однако некоторые водоросли могут усваивать и различные органические соединения. Так, исследованиями по очистке стоков от сахарного производства в анаэробных прудах было установлено, что даже при наличии аэратора, обрабатываемый сток имел неприятный запах, который исчез только после развития в пруду водорослей. Свободный кислород, обнаруженный в толще воды, был исключительно фотосинтетического происхождения [2].

В сооружениях с естественной аэрацией, как правило, вегетируют эврибионтные виды, способные переносить изменения условий в широких пределах. Так, в Средней Азии, в биопрудах, принимающих смесь коммунально-бытовых и промышленных сточных вод, содержащих органоминеральные питательные вещества, в массовом количестве развиваются представители эвгленовых водорослей.

Исследования, проведенные авторами на различных сооружениях с естественной аэрацией показали, что в составе биоценозов, в летний период присутствуют следующие виды водорослей: *Euglena oxyuris*, *Euglena sanguine*, *Microctinium pusillum*, *Scenedesmus quadricauda*, и несколько видов *Scenedesmus acuninatas*, р. *Ankistrodesmus*. Однако наибольшего развития достигает *Chlamydomonas reinhardtii*, а в зимний период диатомовые *Diatoma sp.*, *Navicula sp.*, но доминирует в этот период *Stephanodiscus hanyxschic*, хотя единичными экземплярами встречается *Chlamydomonas reinhardtii*. Выше указанные представители водорослей являются характерными обитателями луж, придорожных мелких водоемов, прудов и небольших водохранилищах куда также попадают различные загрязнения антропогенного характера [3].

Все эти виды водорослей встречаются на первых этапах очистки единичными экземплярами, при доминировании различных представителей бактериальной микрофлоры.

При обработке сточных вод, имеющих сложный состав, таких как стоки молочных и мясных производств, сахарного производства, мукомольных предприятий или стоки от производства вина, эффективность очистки снижается, это связано с тем, что преобладание в составе этих стоков различных органические загрязнений, имеющих сложное строение и большую молекулу, затрудняет их биодеструкцию. Следует также учесть, что в стоках таких производств не хватает минеральных солей и поэтому необходимо совместная их очистка со стоками богатыми биогенными элементами, в частности хозяйственно-бытовыми сточными водами [2].

Авторами при проведении исследований на биопрудах очистки, принимающих смесь хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, было установлено, что при сбросах сточных вод мукомольного производства, содержащих в большом количестве белки растительного происхождения, массово встречается «зеленая бактерия», относящаяся к р. *Chlorobiaceae* [4]. Основная масса этих бактерий является анаэробной, но некоторые виды данного рода могут осуществлять процессы жизнедеятельности в присутствии кислорода.

При этом, в период поступления сточных вод мукомольного производства в придонных слоях воды присутствует сероводород, а в верхних слоях – растворенный кислород в пределах 2,0–4,0 мг/л, что свидетельствует

о формировании благоприятных условий для развития «зеленой бактерии» и водорослей. Таким образом, при поступлении смеси хозяйственных и промышленных сточных вод, содержащих органические вещества сложного состава, в пруду сложились благоприятные условия для развития «зеленой бактерии» и водорослей. «Зеленая бактерия», при наличии в стоках органических веществ сложного состава, H_2S и CO_2 использует их для обеспечения своих жизненных функций. При этом сероводород окисляется до сульфатов.

Г. Г. Винберг отмечает развитие «зеленой бактерии» в начальный стихийный период эксплуатации периодически спускаемых прудов г. Минска [5].

Использование в очистке сточных вод культивируемого сообщества микроорганизмов, в состав которого входит «зеленая бактерия», отмечается в патенте [6]. Причем основным компонентом питательной среды является меласса из сахара сырца или сахарной свеклы, а также растительное сырье.

В настоящий момент, в Узбекистане успешно развивается производство различных пищевых продуктов и многие предприятия, относящиеся к малому и среднему бизнесу, располагаются за пределами больших городов. Стоки от этих предприятий сбрасываются на небольшие очистные сооружения. При этом доля производственных сточных вод, как правило, лежит в пределах 70,0–80,0 %. В связи с этим использование «зеленой бактерии», способной к фотосинтезу и деструкции сложных органических загрязнений в присутствии водорослей и, соответственно, растворенного кислорода фотосинтетического происхождения, представляет большой интерес в практике очистки сточных вод пищевых производств.

Нами была проведена серия экспериментов, для определения возможности совместного культивирования «зеленой бактерии» и водорослей для дальнейшего использования этой смешанной культуры в качестве агента-стимулятора процесса очистки промышленного стока в сооружениях с естественной аэрацией. Эксперименты проводились в лабораторных условиях в течение четырех месяцев.

Как было определено ранее, в толще воды пруда-культиватора, в течение 4–5 суток формируется сток, содержащий значительное количество растворенного кислорода и различные метаболиты, выделяемые в толщу воды гидробионтами, преимущественно водорослями. В результате, подобный сток обладает высоким эффектом биокоагуляции и при смешении с исходным потоком сточных вод обуславливает снижение не только взвешенных веществ, но и перевод значительной части растворенной органики во взвешенное состояние, и последующее ее осаждение на дно. Однако при смешении стока из пруда-культиватора содержащего только различные водоросли со стоками, имеющими сложный состав, имеет место гибель значительной части водорослей и, соответственно, пруд-культиватор не выполняет полностью своей функции [1].

Для совместного культивирования «зеленой бактерии» и зеленых водорослей была использована смесь хозяйственных сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения, и вод полученных при разложении остатков виноградной мезги и кисло-молочных продуктов. Далее, в модельную установку была внесена затравка, включающая водоросли и «зеленую бактерию», отобранная из небольшого природного водоема, расположенного в окрестностях Ташкента. В задачу эксперимента входили микробиологические исследования, заключающиеся в определении биоценоза и контроле содержания растворенного кислорода в толще воды модельной установки. Таким образом, в модельную установку со смесью производственных и хозяйственных сточных вод была внесена различная бактериальная микрофлора, а с водами природного водоема попали различные простейшие. Содержание растворенного кислорода в начальный период эксперимента было минимальным и составляло не более 0,5–0,9 мг/л. Кроме того, для увеличения численности простейших и ускорения формирования комплекса простейших организмов в установку был добавлен активный ил взятый из городских очистных сооружений. Гидробиологический анализ производился ежедневно, а определение растворенного кислорода 2 раза в неделю. Эксперимент проводился в наименее благоприятный зимний период в течение четырех месяцев.

В результате исследований было установлено, что начальный период формирования биоценоза, занимает порядка двух недель. В этот период имела место гибель части гидробионтов имеющихся в затравках. Так, погибли практически все диатомовые водоросли, часть простейших и часть зеленых водорослей. Об этом свидетельствовало наличие разрушенных элементов оболочек диатомовых, погибшие водоросли и простейшие с нарушенными клеточными оболочками и практически с полным отсутствием внутреннего клеточного содержимого. Погибших клеток «зеленой бактерии» не наблюдалось. Также имеет место процесс формирования биомассы *Zoogloea gatigea*, имеющей характерную ветвистую структуру с развитым гелевым чехлом. Далее, на поверхности зооглеи начинают встречаться прикрепленные инфузории как одиночные, так и колониальные формы. Встречаются и свободно живущие инфузории, представленные в основном *Paramecium caudatum*. Кроме того, в толще воды присутствуют в массе бесцветные жгутиковые и бактериальная микрофлора, в состав которой входят кокковидные и палочковидные формы бактерий и серобактерий р. *Beggiatoa* sp. Эти бактерии являются характерными обитателями зон, содержащих сероводород. Наличие сероводорода подтверждается наличием слабого запаха придонных слоев воды с осевшими взвешенными веществами. В верхних слоях воды содержание растворенного кислорода не превышает 1,2–1,3 мг/л. Вода имеет бледно-зеленый цвет и травянистый запах с примесью характерного запаха брожения. Протококковые водоросли представлены единичными клетками р. *Ankistrodesmus* sp. «Зеленая бактерия» на начальной стадии формирования биоценоза, представлена единичными клетками. Таким образом, в присутствии сложного стока, в процессе автоселекции идет формирование специфичного устойчивого биоценоза, в состав которого входят гидробионты способные утилизировать сложные органические вещества –

зеленые серобактерии, серобактерии р. *Beggiatoa* sp., водоросли и простейшие, которые на последующих стадиях очистки могут выполнять роль адаптированного стимулятора процесса очистки.

В ходе проведения дальнейших исследований наблюдалось только увеличение численности гидробионтов, входящих в состав специфического биоценоза. Особенностью биоценоза является то, что в его составе доминируют фотосинтезирующие зеленые серобактерии в присутствии растворенного кислорода, продуцируемого водорослями, которые не являются доминирующей формой и способны использовать не только различные минеральные вещества, но и органические.

Далее, в процессе проведения эксперимента один раз в семь дней 30 % объема воды заменялась смесью вод, содержащих продукты разложения остатков винного производства – мезги и разложения молочно кислых продуктов. Причем, соотношение вод, содержащих продукты разложения мезги и кисло-молочных продуктов, каждый раз был различным. Это связано с тем, что регулировать поступление таких производственных сточных вод на очистные сооружения не представляется возможным. Накапливать подобные стоки, а затем дозировано сбрасывать их на очистные сооружения не представляется возможным, поскольку они быстро загнивают и приобретают неприятный, сильный гнилостный запах с примесью сероводорода.

В результате проведения исследований было установлено, что в модельной установке сформировались стабильные анаэробные условия в накопившемся осадке и в небольшом надосадочном слое воды – не более 5–10 см от поверхности осадка. На поверхности осадка в массе развиваются фототрофные зеленые серобактерии и бесцветные серобактерии преимущественно как бентосные формы, тем самым формируя слоистую бактериальную зону на поверхности осадка. Эта зона может содержать кислород или же сероводород и другие восстановители, в зависимости от качества и количества загрязнений. В связи с этим, присутствующая бактериальная микрофлора устойчива к различным изменениям окислительно-восстановительных условий за счет хорошо развитого слизистого чехла. Кроме зеленых серобактерий, наиболее характерными обитателями этой зоны являются р. *Zoogloea ramigera* и р. *Beggiatoa* sp., с хорошо развитым гелевым чехлом, который предохраняет их от вредного воздействия сероводорода. В состав специфического биоценоза также входят и сине-зеленые водоросли р. *Oscillatoria* sp., обладающего хорошо развитым гелевым чехлом.

В надосадочном слое воды и на поверхности образовавшегося осадочного слоя обитает достаточно много различных инфузорий, специфической особенностью которых является способность осуществления процессов жизнедеятельности при низких концентрациях кислорода и даже в присутствии сероводорода. В надосадочном слое воды постоянно присутствуют кокковидные и палочковидные формы бактерий, а также зеленые водоросли р. *Ankistrodesmus* sp.

На заключительном этапе эксперимента, численность практически всех гидробионтов, входящих в состав специфического биоценоза, увеличилась многократно без изменений видового состава. Их встречаемость определенная по пятибалльной шкале составляла пять баллов. Исключение составила встречаемость зеленых водорослей – не более трех баллов, но этого вполне хватает для поддержания растворенного кислорода в толще воды в пределах 4,0–5,0 мг/л. В толще воды среди инфузорий доминирует по численности *Paramecium caudatum*, которая использует в качестве источника пищи бактериальную микрофлору. Внутренняя полость всех инфузорий заполнена клетками зеленой бактерии. Водоросли в качестве пищи в этом случае простейшими не используются.

В итоге, как показали исследования, в состав специфического биоценоза входят гидробионты, способные осуществлять последовательные этапы деструкции сложных органических веществ сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

В заключении был проведен эксперимент по смешиванию 30 % сточных вод, содержащих сформированный в ходе исследований специфический биоценоз, и 70 % смеси хозяйственных и сточных вод, содержащих вещества разложения мезги и кисло-молочных продуктов. В результате установлено, что до 60 % всех гидробионтов, входящих в состав специфического биоценоза, сохраняют жизнеспособность, и в дальнейшем принимают участие в процессах самоочищения, которые протекающих в биологических прудах очистки с естественной аэрацией.

Авторы выражают благодарность фирме «LAR PROCESS ANALYSERS AG» (Германия) за предоставленную возможность проводить исследования с использованием лабораторного оборудования, ей произведенного.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 18 РУз. Способ биологической очистки сточных вод / Е. Ф. Маневич, Б. М. Еремич, Н. С. Васинкина, Л. М. Шаповалова // Патентный Бюллетень. Расмий Ахборотнома. – 1993. – № 1. – 51 с.
2. Ретин, Б. Н., Биологические пруды для очистки сточных вод пищевой промышленности / Б. Н. Ретин, О. Н. Русина, А. Ф. Афанасьева. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 208 с.
3. Эргашев, А. Э., Экологические особенности водорослей водоемов Средней Азии / А. Э. Эргашев // Водоросли и грибы Средней Азии. – Т. : Фан, 1980. – С. 8–45.
4. Горленко, В. М., Экология водных микроорганизмов / В. М. Горленко, Г. А. Дубинина, С. И. Кузнецов. – М. : Наука, 1977. – 288 с.
5. Винберг, Г. Г. Биологические пруды в практике очистки сточных вод / Г. Г. Винберг, П. В. Остапеня, Т. Н. Сивко, Р. И. Левина. – Минск: Беларусь, 1966. – 231 с.
6. Патент RU2313497C2. Кондиционирующий агент для обработки сточных вод или загрязненного воздуха, способ его получения и его применение / Кристиан УПХОФ (De) // Публикация 27.12.2007 г.