

И.А. Золотухин

(Пермский государственный педагогический университет;
e-mail: iazolot@yandex.ru)

СВЕТОВОД КАК ИСТОЧНИК СВЕТА ДЛЯ МИКРОВОДОРОСЛЕВЫХ БИОФИЛЬТРОВ

Экспериментально исследован способ биофильтрации загрязнённой воды с использованием световодов в качестве источника света. Способ может быть применён при создании экологически чистых технологий защиты природных водоёмов от техногенных загрязнений.

Ключевые слова: очистка воды, автотрофные биофильтры, шахтные и карьерные воды, микроводоросли, световод.

I.A. Zolotukhin

OPTICAL PATH AS LIGHT SOURCE FOR MICROSEAWEED BIOFILTERS

Experimentally investigated how biofiltration of polluted water using fiber as a source of light. The method can be applied in the create of environmentally sound technologies protect the natural reservoirs of man-made pollution.

Key words: water treating, autotrophic biofilters, mine and career waters, micro-seaweed, optical path.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 19 апреля 2011 г.

Биофильтры являются одними из относительно недорогих и универсальных средств очистки сточных вод. Но обычные биофильтры пригодны только для обработки стоков с высокой концентрацией органических веществ. В то же время есть достаточно обширный класс сточных вод (например, шахтные и карьерные воды), в которых органические вещества практически отсутствуют. Для таких вод могут быть разработаны так называемые автотрофные биофильтры, в которых основу фильтрующей биомассы составляют нитчатые микроводоросли, выращиваемые непосредственно в очищаемой воде [1]. Одной из сложных технических проблем, возникающих при создании таких биофильтров, является обеспечение водорослей светом. Суть этой проблемы состоит в том, что свет в мутной сточной воде не проникает на толщину слоя более 10-20 см.

В промышленных установках для культивирования водорослей эта проблема решается либо использованием неглубоких (не более 0,3 м) резервуаров, расположенных в теплицах [2, 3], либо применяют аппараты, представляющие собой стеклянные трубы или плоские вертикальные прозрачные ёмкости, освещаемые люминесцентными лампами [5]. Первый из этих вариантов позволяет обеспечить малое потребление электроэнергии, но при больших объёмах сточных вод требует наличия больших площадей и характеризуется очень низкой удельной нагрузкой на единицу занимаемой площади. Недостатком второго варианта являются большие затраты электроэнергии на освещение. Оба вариан-

та в конструктивном отношении мало пригодны для использования в качестве аппаратов для очистки сточных вод, а также не позволяют обеспечить достаточно равномерное освещение каждого элементарного объёма обрабатываемой воды.

Преодолеть указанные недостатки можно путём создания специальной системы освещения, основу которой составляют световоды. Применение световодов не исключит использование электроэнергии, но снимет ограничения в габаритах водоочистных аппаратов и позволит существенно увеличить коэффициент использования световой энергии.

Целью проведённого автором исследования являлось установление принципиальной возможности применения световодов в технологическом процессе формирования микроводорослевых сообществ, обладающих свойствами биофильтров. Поставленная цель достигалась путём решения следующих задач:

1. Разработать конструкцию лабораторного аппарата и методику проведения соответствующих исследований.
2. С применением таких аппаратов осуществить процесс выращивания микроводорослевого сообщества на имитате загрязнённой воды.
3. Определить биофильтрующую эффективность полученных микроводорослевых сообществ.
4. Сопоставить полученные результаты с ранее проведёнными исследованиями по использованию в аналогичных целях светодиодного освещения [4].

Методика

Эксперименты по выращиванию водорослей и осветлению воды проводили в полиэтиленовых сосудах вместимостью 700 см^3 (рис. 1). В каждом сосуде размещали коробчатый носитель из листового полиэтилена для биообрастания. Высота носителя – 9 см , общая поверхность – 250 см^2 . Расстояние от дна сосуда до нижней кромки носителя – 3 см , от верхней кромки до поверхности воды – 4 см .

В качестве световода использовали пластину из органического стекла (полиметилметакрилат) толщиной 3 мм , длиной 250 мм . Ширина светопринимающего торца – 40 мм (площадь – $1,2 \text{ см}^2$), ширина освещающего конца – 8 мм . Освещающий конец был обработан напильником таким образом, чтобы проведённый световой поток более или менее равномерно рассеивался в воде по всем направлениям. Площадь светорассеивающей поверхности составляла $4,4 \text{ см}^2$. Вся площадь погружённой в воду части световода равнялась 24 см^2 .



Рис. 1. Экспериментальный сосуд с носителем и световодом

Источником света являлась люминисцентная лампа белого света мощностью 20 Вт. Забор световой мощности световодом при КПД лампы $\approx 0,5$ составлял $\approx 0,125$ Вт. Таким образом, с учётом примерных потерь в световоде (не менее 50 %), интенсивность световой энергии составляла не более 0,06 Вт на сосуд.

Рядом с носителем размещали аэратор (на рис. 1 не показан), через который во время эксперимента с помощью микрокомпрессора непрерывно подавали воздух с расходом 50 ± 10 см³/мин. Аэратор конструктивно представлял собой аэролифт и обеспечивал постоянную циркуляцию воды в сосуде.

В качестве имитата загрязнённой воды и среды для выращивания водорослей готовили тонкодисперсную суспензию глины в водопроводной воде с концентрацией 100 мг/дм³. Суспензию заменяли в каждом сосуде еженедельно. При этом старую суспензию сливали с помощью сифона и заливали свежую. В первую порцию залитой суспензии, общий объём которой составлял 7 дм³, было внесено в качестве посевного материала около 1 см³ диспергированного зелёного микроводорослевого налёта, отобранного с поверхности влажной почвы.

В течение 1 часа после каждой замены суспензии через каждые 15 мин из каждого сосуда отбирали пробы суспензии в объёме 5 см³ и измеряли концентрацию взвешенных веществ фотоэлектроколориметром КФК-2 с использованием предварительно построенной градуировочной кривой. По полученным результатам строили графики снижения концентрации взвеси во времени и определяли эффективность осветления суспензии в процессе её одночасовой циркуляции в экспериментальном сосуде.

В исследованиях использовали три экспериментальных сосуда (трёхкратная повторность). Свет подавался в экспериментальные сосуды непрерывно в течение 6,5 месяцев эксперимента. Каждый сосуд был закрыт светонепроницаемым чехлом (рис. 2). Крышку чехла снимали только во время замены суспензии и проведения опытов по определению кинетики осветления суспензии. Таким образом, продолжительность поступления дополнительного постороннего света в небольшом количестве не превышала 2-х часов в неделю.

Система аэрации в экспериментальных сосудах работала также непрерывно.

В качестве контрольных вариантов использовали два сосуда. Первый сосуд (№ 4, рис. 3) точно так же, как и экспериментальные сосуды, был оборудован носителем, аэратором, но не имел световода и биообрастания.

Суспензию в него заливали только на 1 час при проведении опыта по определению кинетики осветления суспензии в режиме циркуляции. Второй контрольный сосуд представлял собой ничем не оборудованный стеклянный цилиндр вместимостью 250 см³ (№ 5, рис. 3). В нём осуществляли процесс осветления суспензии методом обычного безреагентного отстаивания.

Обработку результатов осуществляли с применением стандартных методов математической статистики.

Температура воздуха и воды во время экспериментов находилась в пределах 20-25 °С.

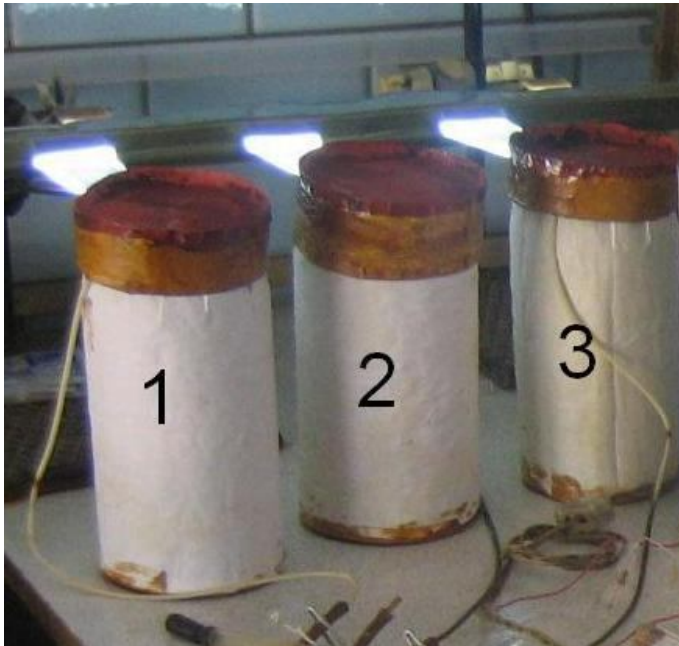


Рис. 2. Сосуды во время эксперимента

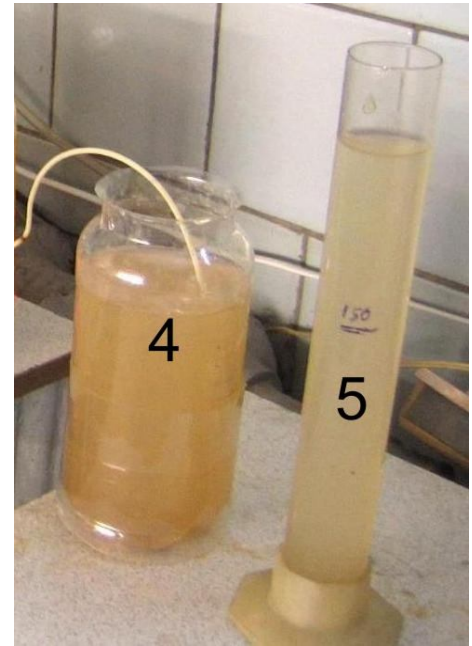


Рис. 3. Контрольные сосуды

Один раз в месяц после очередного опыта по изучению кинетики осветления суспензии проводили исследование характера биообрастания. Для этого из каждого сосуда осторожно вынимали световод и фотографировали участок, покрытый биообрастанием и отложениями. Затем делали небольшой соскоб, световод возвращали на место, а соскоб подвергали микроскопическому исследованию и фотографировали участок микропрепарата с наиболее характерным набором микрообъектов.

Результаты

На рис. 4 видно, как возрастала эффективность осветления суспензий при увеличении возраста биообрастания. Первые 40 дней происходил относительно быстрый рост эффективности с 25 до 50 %. Затем рост эффективности резко замедлился. К концу эксперимента (197 суток) эффективность осветления достигла 56-58 %.

Сравнение представленных результатов с предварительно проведёнными аналогичными экспериментами [4], в которых источниками света служили светодиоды, показало, что эффективность осветления суспензии, как и со световодами, составляла 55-60 %. При этом потребляемая электрическая мощность находилась в пределах 0,074-0,082 Вт на 700 см³ суспензии, а продолжительность наращивания необходимой биомассы достигала 40-50 суток.

Полученная эффективность явно ниже той, которая необходима на практике и должна быть не ниже 90 %. Из этого следует, что концентрация световой энергии в промышленных аппаратах должна быть в несколько раз больше. Для определения оптимального количества света, подаваемого световодами и светодиодами, необходимо проведение специальных экспериментов.

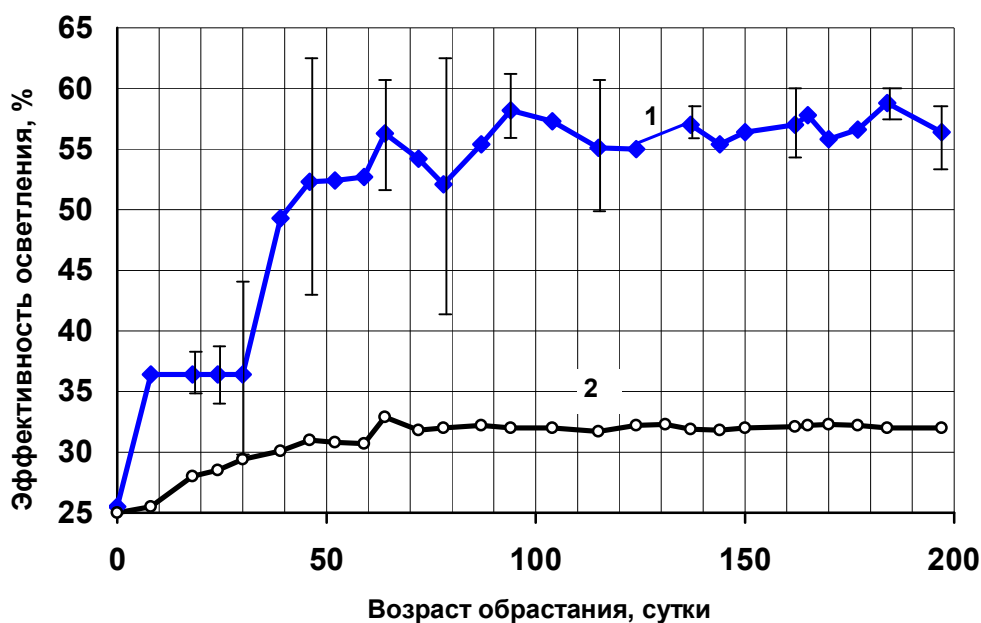


Рис. 4. Изменение эффективности осветления глинистой суспензии в зависимости от возраста биообрастания:
 1 – экспериментальный вариант со световодом и биообрастанием;
 2 – контрольный вариант без биообрастания

Средние эффекты в контрольных сосудах (№ 4 и № 5) при 15-кратной повторности с постоянной исходной концентрацией 100 мг/дм^3 практически не отличались друг от друга и составили соответственно $25,9 \pm 1,7$ и $25,0 \pm 0,9$ % (указаны доверительные интервалы для 10 %-уровня значимости).

Внешний вид биологического обрастания и характер отложений принципиально не отличались во всех трёх экспериментальных сосудах. Основная часть отложений приходилась на поверхность световода, находящуюся под водой (рис. 5). При этом максимальная толщина и концентрация отложений наблюдались в местах с наибольшим рассеиванием световой энергии, в первую на специально обработанном конце световода, и несколько меньше – на плохо отшлифованных краях пластин. Концентрация отложений на стенках сосудов и поверхности носителя, даже ближайшей к световоду, была существенно меньше.

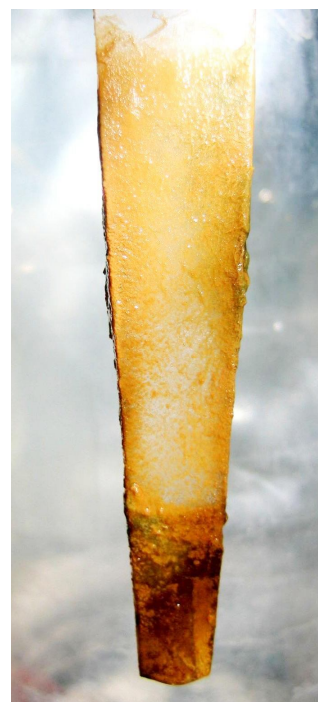


Рис. 5. Характер биологического обрастания световода в сосуде №3 (возраст обрастания 197 суток)

видовой состав биообрастания в разных сосудах может значительно отличаться. В каждом сосуде складывался свой собственный биоценоз, который мог в разной степени отличаться от биоценозов в других сосудах. Причём в ходе эксперимента в одном и том же сосуде видовой состав мог значительно изменяться. Так, например, через месяц культивирования в первом и втором сосудах доминировали нитчатые сине-зелёные водоросли, принадлежавшие к классам гормониевых и осцилаториевых, а в третьем сосуде доминировали диатомовые. К концу же эксперимента, через 6 месяцев культивирования, состав биообрастаний полностью поменялся. В первом и втором сосудах доминировали разные виды диатомовых, а в третьем сосуде доминантами оказались нитчатые сине-зелёные (рис. 6, 7, 8).

Какой либо зависимости между доминирующими видами водорослей и эффективностью осветления глинистой суспензии не обнаружено.

Из гетеротрофной компоненты биоценоза нередко встречались коловратки и нематоды.

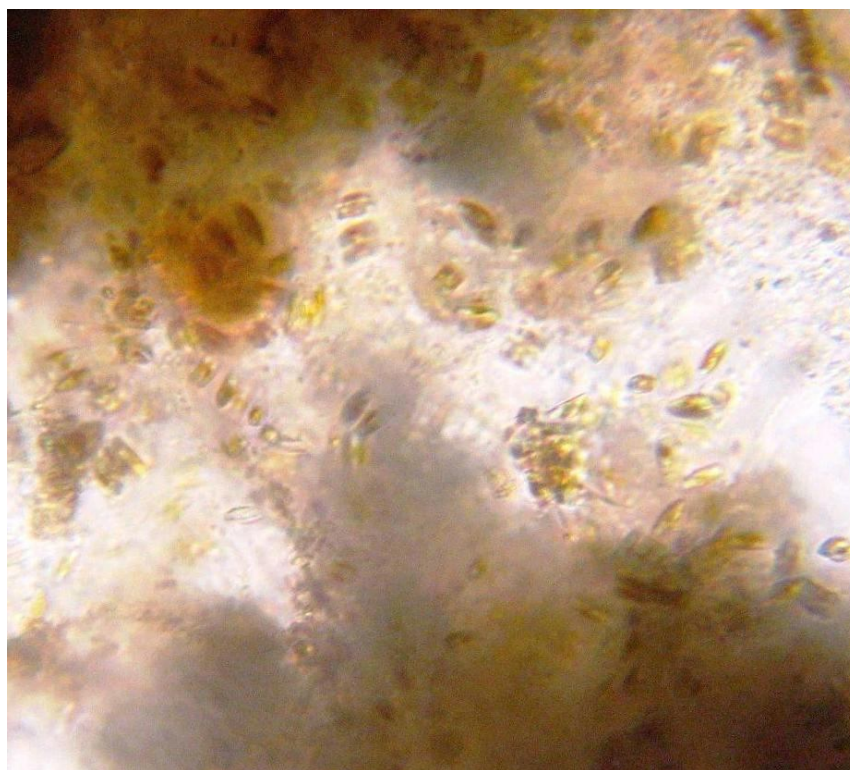


Рис. 6. Микрофотографии биологического обрастания (возраст обрастания 197 суток).
Сосуд 1 (увеличение 16×40)

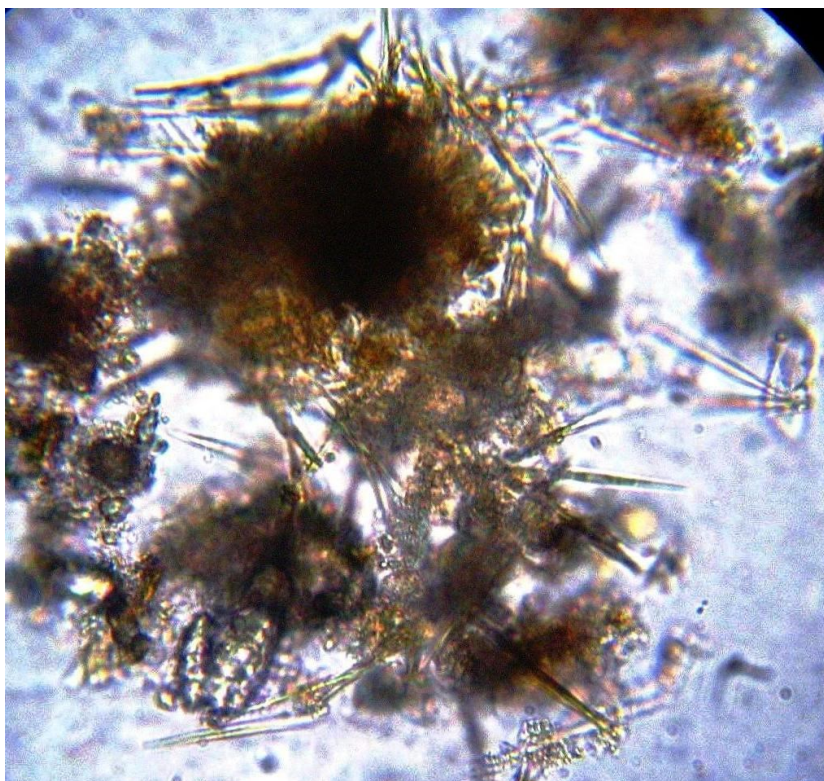


Рис. 7. Микрофотографии биологического обрастания (возраст обрастания 197 суток).
Сосуд 2 (увеличение 16×40)

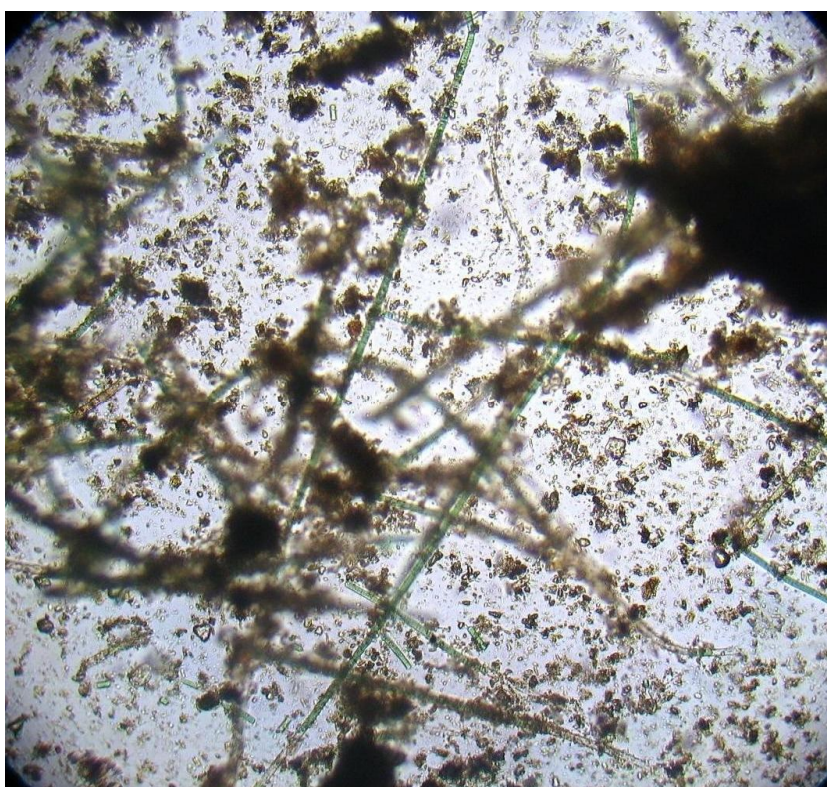


Рис. 8. Микрофотографии биологического обрастания (возраст обрастания 197 суток).
Сосуд 3 (увеличение 16×10)

Выводы

1. Представленные эксперименты показали принципиальную возможность использования световодов в качестве средства распределения световой энергии в автотрофных биофильтрах.

2. В водопроводной воде продолжительность формирования биослоя с достаточно высокой эффективностью адсорбции при температуре 20-25 °С составляет около 50 суток.

3. В слое биообрастания встречаются самые различные виды водорослей. Доминируют нитчатые сине-зелёные и диатомовые водоросли.

4. Эффект одночасового осветления глинистой суспензии при мощности светового потока $\approx 0,06 \text{ Вт}$ в сосуде вместимостью $0,7 \text{ дм}^3$ находится в пределах 56-58 % при эффекте контрольного варианта 25-32 %.

5. Такой же эффект (55-60 %) можно получить, если в качестве источников света использовать светодиоды примерно при такой же потребляемой мощности.

Литература

1. **Золотухин И.А.** Растения как средство очистки олиготрофных сточных и природных вод: Монография. Пермь: Перм. гос. пед. ун-т., 2001. 235 с.

2. **Тренкешу Р.П., Геворгиз Р.Г., Боровиков А.Б.** Технология промышленного культивирования дуналиеллы (*Dunaliella salina*). Севастополь: Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, 2005. 14 с. <http://biotex.ibss.org.ua>.

3. **Тренкешу Р.П., Геворгиз Р.Г.** Технология промышленного культивирования спирулины (*Spirulina platensis*). Севастополь: Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, 2004. 16 с. <http://biotex.ibss.org.ua>.

4. **Золотухин И.А.** Светодиоды как источники света для микроводорослевых биофильтров // Современные проблемы науки и образования. № 1, 2011. С. 40-44.

5. <http://www.catfish.lv/test/algae.htm> (дата обращения: 14.11.2008).