

И.А. Золотухин

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

МИКРОВОДОРОСЛЕВЫЕ БИОФИЛЬТРЫ БЕЗ ПРЯМОГО КОНТАКТА ВОДЫ С ОПТИЧЕСКИМИ ВОЛОКНАМИ

В лабораторных условиях исследован процесс обработки загрязнённой воды на микроводорослевых биофильтрах с оптическими волокнами. Результаты исследований могут быть использованы при разработке экологически чистой безреагентной технологии кондиционирования шахтных и карьерных вод.

Ключевые слова: биофильтры; шахтные и карьерные воды; микроводоросли; оптические кабели; оптические волокна.

I.A. Zolotukhin

MICRO ALGAE BIO FILTERS WITHOUT DIRECT OF WATER CONTACT WITH OPTICAL FIBERS

In laboratory conditions was investigated process of treatment of polluted water by micro algae bio filters with optical fibers. The research results can be used in the development of clean non reagent technology for mine and pit water treatment.

Key words: water treatment; photoautotrophic bio filters; mine and pit water, micro algae, optical cables, optical fibers.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 2 июля 2014 г.

Предыдущими исследованиями [1-3, 5] была показана принципиальная возможность очистки сточных вод горнодобывающих предприятий с использованием микроводорослевых биофильтров. Для таких фильтров одними из средств обеспечения водорослей световой энергией могут быть оптические волокна и кабели [5]. Для обеспечения устойчивости материала волокон и кабелей в их состав нередко вводят бактерицидные вещества, подавляющие рост микроорганизмов. Эти вещества могут оказать отрицательное влияние на развитие водорослей с соответствующим снижением водоочищающего эффекта.

Поэтому автором была поставлена цель разработать и испытать в лабораторных условиях конструкцию биофильтра, в котором непосредственный контакт между очищаемой водой и оптическими волокнами отсутствует. Планировалось также сравнить эффективность биофильтрации такого фильтра с данными, полученными ранее в аппаратах прямого контакта.

Методика

Схема конструкции лабораторного аппарата представлена на рис. 1. Внутренний диаметр основного цилиндрического корпуса из органического стекла составлял 31 мм, высота – 1,5 м, рабочий объём – 1,1 дм³. Аппарат был оборудован системой аэрации и циркуляции обрабатываемой воды. Аэратор представлял собой стеклянную трубку внутренним диаметром 6,6 мм и длиной 120 см, внутрь которой подавали воздух с расходом 50 ± 10 см³/мин. Скорость нисходящего потока воды в аппарате составляла около 10 мм/с.

В промежутке между стенками аппарата и аэратором размещали носитель биомассы в виде спирали из лески диаметром 1,2 мм (рис. 2). Длина лески 33 м, поверхность – 1240 см².

В исследовании использовали два аппарата, отличавшихся способом размещения оптических волокон. На аппарат № 1 наматывали оптические волокна строго в один слой и максимально плотно друг к другу (рис. 3). Всего было намотано четыре самостоятельных обмотки из 28 волокон каждая с покрытием 30 см длины аппарата.

Источником волокон был кабель бокового свечения SV14: Type CP-TFCV750-14, Ø 0.75 14/5.0 mm, m No. 2C12041704 [4]. Волокна на концах обмоток склеивали в плотный жгут, торец которого после тщательной обработки соединяли со светодиодом белого тёплого свечения марки OSM5XZE3E (3000 K, 180 lm, 140°). Ток каждого светодиода – 0,25 А, напряжение – 3,5 В, суммарная мощность 8-ми светодиодов (2 на каждую обмотку) – 7 Вт. Затраты на освещение при продолжительности очистки воды 1 час составили 6,4 кВт·ч/м³.

Аппарат № 2 обматывали оптическим кабелем, содержащим 14 оптических волокон. Диаметр кабеля с оплёткой – 6 мм. Всего было намотано две обмотки, по 10 м кабеля в каждой, покрывающих в сумме 0,9 м длины аппарата. Концы обмоток также обрабатывали и соединяли со светодиодами. Суммарная мощность светодиодов в этом варианте составила 3,5 Вт. Затраты электроэнергии на освещение – 3,2 кВт·ч/м³.

С учётом площадей поверхности носителя, а также наружной поверхности аэратора и внутренней освещаемой поверхности аппарата, суммарная площадь удельной рабочей (освещаемой) поверхности для аппарата № 1 составила 2,59 см²/см³, а для аппарата № 2 – 2,32 см²/см³.

На наружной поверхности обмоток была замерена освещённость, которую можно считать примерно равной освещённости внутренней поверхности аппаратов. Для волоконных обмоток освещённость находилась в пределах от 100 до 350 люкс, для кабельных – от 60 до 120 люкс.

Было обнаружено также, что покрытие волоконных обмоток алюминиевой фольгой позволяет повысить освещённость в полтора – два раза. Поэтому все волоконные обмотки были обернуты фольгой, что позволило получить освещённость в пределах 200-500 люкс. Для кабельных обмоток этот приём не применяли, поскольку увеличение освещённости в этом случае не превышало 5-10 %.

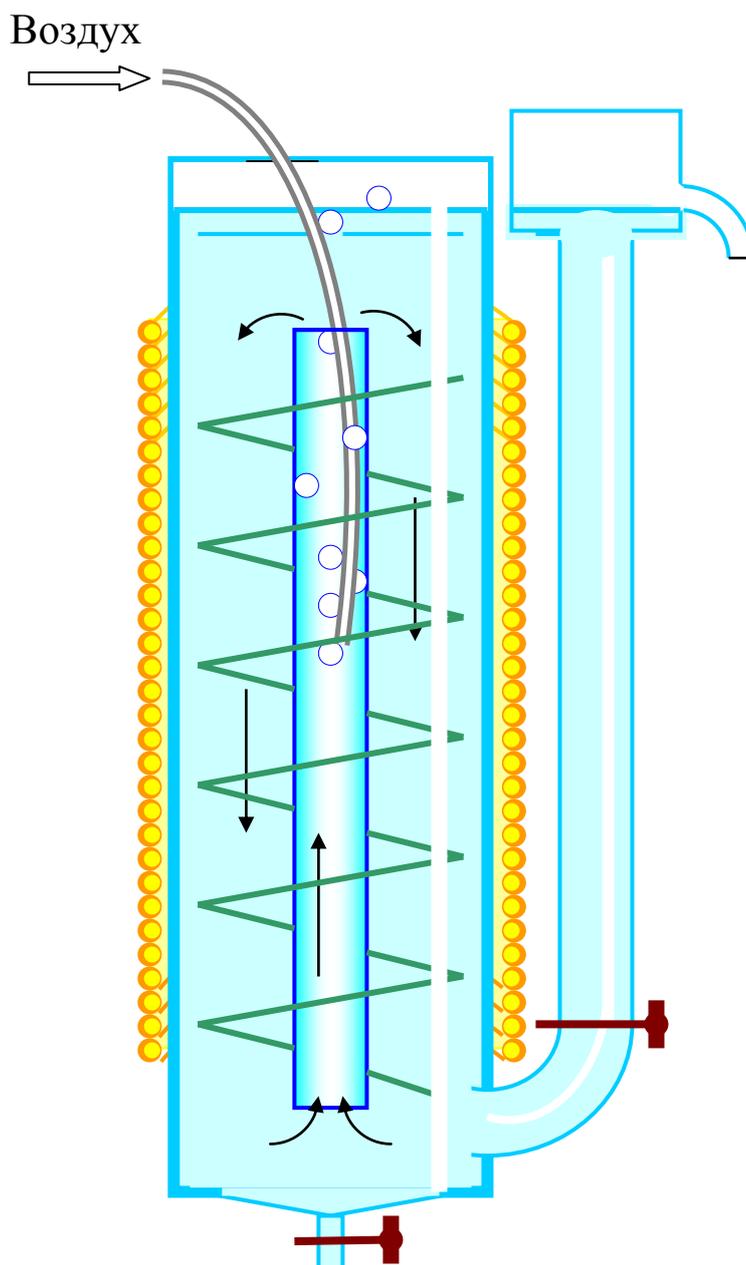


Рис. 1. Схема лабораторного аппарата

В качестве имитата загрязнённой воды использовали тонкодисперсную глинистую суспензию с исходной концентрацией взвешенных частиц 100 мг/дм^3 . Концентрацию измеряли фотоэлектроколориметром КФК-2. Воду заменяли в аппаратах еженедельно методом вытеснения. Свежую суспензию заливали сверху в аппарат при открытом боковом патрубке, через который старая порция воды вытекала. Объём залитой свежей суспензии составлял от $2,5$ до 3 дм^3 .

После очередной заливки, из аппаратов в течение часа, каждые 15 минут отбирали пробы воды, измеряли концентрацию взвешенных веществ и вычисляли эффект очистки за 1 час обработки. Контрольным вариантом являлось отстаивание суспензии в покое с отбором проб с глубины 12 см .

В указанном режиме установка работала 200 суток. Всё это время системы освещения и аэрации работали непрерывно, а аппараты были закрыты светонепроницаемыми чехлами, за исключением 1 часа, в течение которого определяли эффект очистки.

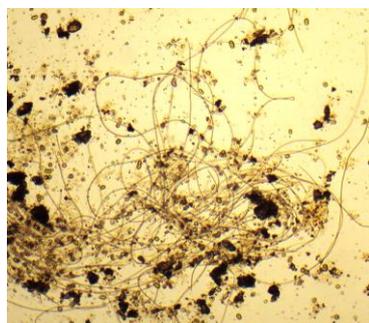


Рис. 2. Фотография носителя биомассы

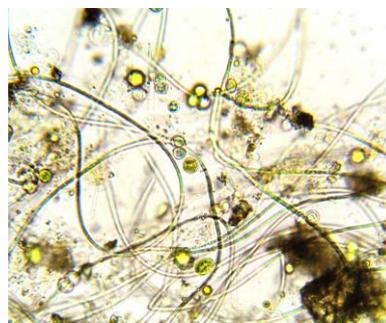


Рис. 3. Фотография обмоток из оптического волокна (№ 1) и из оптического кабеля (№ 2)

Посевной материал в виде суспензии микроводорослей был внесён сразу после первого эксперимента по определению эффективности очистки. Водоросли получили путём соскоба слоя биообрастания с камней в лабораторном аквариуме (рис. 4). Несколько $см^3$ концентрированной суспензии собранных водорослей слегка растёрли пестиком в фарфоровой чашке и развели водопроводной водой до $0,3 дм^3$. Полученную суспензию добавили по $100 см^3$ в оба опытных аппарата.



Увеличение 16×10



Увеличение 16×40

Рис. 4. Микрофотографии посевного материала

Результаты

На рис. 5 видно, что наилучшие результаты продемонстрировал аппарат с оптическими волокнами (кривая 1). За 140 дней его эффективность выросла до 60 %, в то время как аппарат с кабельным освещением обеспечил только 50 % эффективность (кривая 2). Это вполне можно объяснить тем, что оптические волокна создавали освещённость в 3-4 раза выше, чем оптический кабель. Вероятно, по этой же причине кабельный вариант был более нестабилен в работе. В качестве преимущества оптического кабеля можно указать лишь то, что он является более технологичным и удобным в работе, чем оптические волокна.

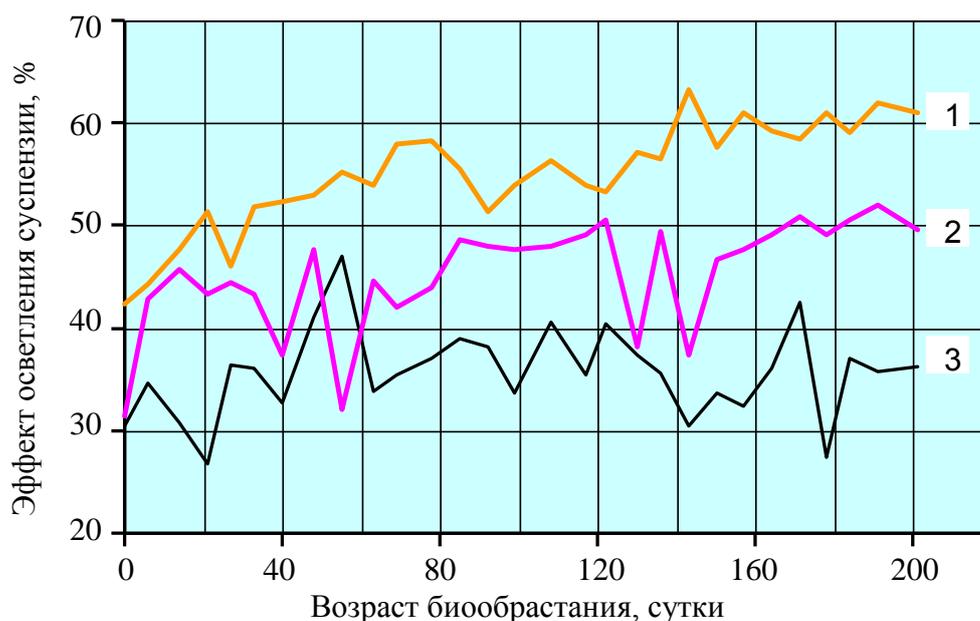


Рис. 5. Изменение эффекта очистки в зависимости от возраста биообрастания: 1 – оптические волокна; 2 – оптический кабель; 3 – контрольное отстаивание

Полезные выводы можно получить при сопоставлении данных результатов с результатами предыдущих исследований [5]. На рис. 6 на график аппарата с оптическими волокнами (кривая 1) наложен график изменения эффективности биофильтрации в аппарате с оптическими волокнами, размещаемыми непосредственно в очищаемой воде (кривая 2). Хорошо видно, что оба варианта, за исключением начального периода, демонстрируют практически идентичные результаты. Сразу надо указать на то, что резкое падение эффективности на 188 сутки не есть случайная ошибка, а представляет собой результат промывки оптиковолоконной загрузки.

Следует также отметить, что в аппарате с прямым контактом удельная поверхность составляла $3,4 \text{ см}^2/\text{см}^3$, то есть, примерно в 1,3 раза выше, чем в настоящем исследовании. Именно это позволило аппарату с прямым контактом получить относительно высокий эффект (55-60 %) уже в первые дни пуска в работу, ещё до развития микроводорослевого сообщества.

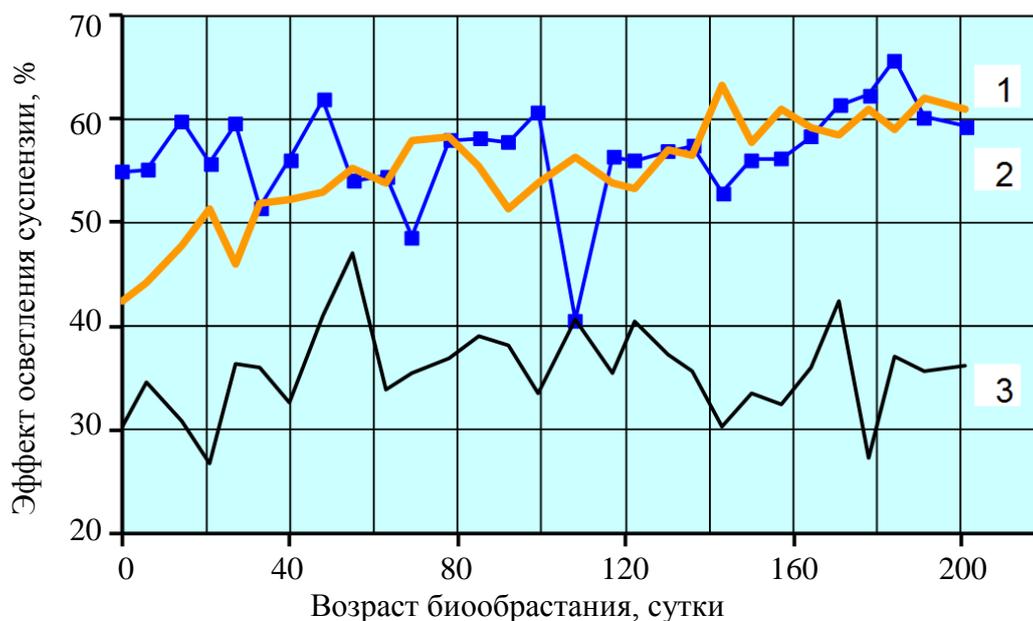


Рис. 6. Изменение эффекта очистки в зависимости от возраста биообращения
 1 – оптические волокна без прямого контакта с водой, 2 – оптические волокна находятся непосредственно в очищаемой воде, 3 – контрольное отстаивание

Случаи, когда из-за токсичности необходимо исключить прямой контакт воды с оптическими волокнами, приводят к тому, что, используя только свет, мы теряем возможность использовать поверхность оптических волокон в качестве дополнительного места для наращивания биомассы. Весьма существенным является и то, что затраты электроэнергии на освещение при прямом контакте волокон с очищаемой водой были почти на порядок ниже ($0,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.)

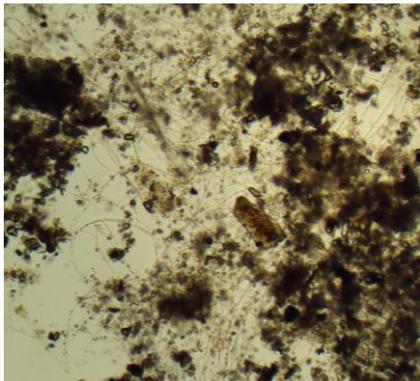
Микроскопический анализ проб осадка, отобранных в конце экспериментов с внутренней поверхности аппаратов, показал, что характер отложений в обоих аппаратах принципиально не отличается. Как и в исходном посевном материале, в осадке встречаются различные виды нитчатых и одноклеточных водорослей с большим количеством адсорбированных дисперсных примесей (рис. 7).

Выводы

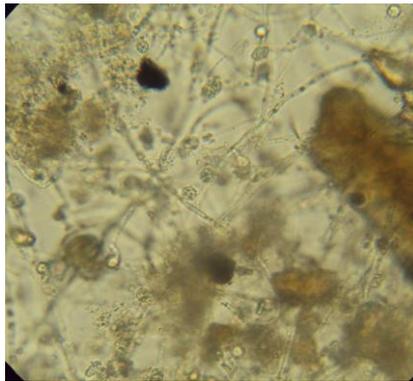
1. Существуют варианты конструкции микроводорослевых биофильтров, которые позволяют, при необходимости, избегать прямого контакта оптических волокон с очищаемой водой.

2. С большой долей вероятности можно заключить, что использованные в обсуждаемых исследованиях оптические волокна и оптические кабели, либо не имеют в своём составе токсических добавок, либо имеющиеся добавки не оказывают существенного влияния на развитие микроводорослевого сообщества.

Аппарат №1

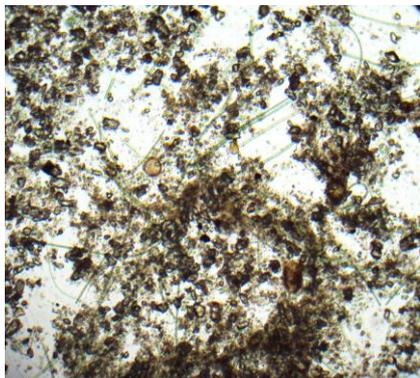


Увеличение 16×10

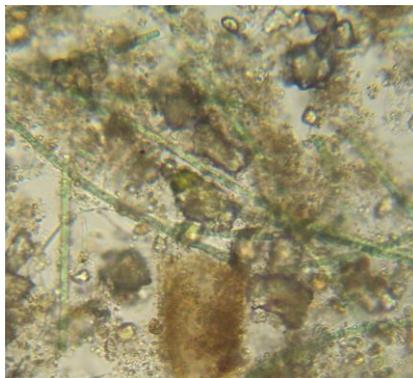


Увеличение 16×40

Аппарат №2



Увеличение 16×10



Увеличение 16×40

Рис. 7. Микрофотографии отложений, отобранных с внутренней поверхности аппаратов

3. Особенности, которые необходимо учитывать при исключении прямого контакта оптических волокон с очищаемой водой:

- усложняется конструкция биофильтра;
- теряется возможность использовать поверхность оптических волокон в качестве носителя биомассы;
- исключается возможность использовать фильтрующий эффект самих оптических волокон;
- использовать оптические волокна более предпочтительно, чем оптические кабели;
- затраты электроэнергии на освещение увеличиваются почти на порядок и достигают нескольких киловатт-часов на кубометр очищаемой воды.

*Материал подготовлен в рамках Проекта № 025-Ф
Программы стратегического развития ПГГПУ*

Литература

1. **Золотухин И.А.** Световод как источник света для микроводорослевых биофильтров // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 4 (38). 2011. 8 с. <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-4>.
2. **Золотухин И.А.** Особенности светодиодного освещения для фотоавтотрофных биофильтров // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 4 (44), 2012. 10 с. <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-4>.
3. **Золотухин И.А.** Лабораторный микроводорослевый биофильтр со светодиодно-световодной системой освещения // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. № 4 (50). 10 с. 2013. <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-4>.
4. www.aaa.ru, www.aswaro.ru, www.aswaroshop.ru.
5. **Золотухин И.А., Опарина С.С.** Оптический кабель как носитель биомассы и источник света в лабораторном микроводорослевом биофильтре // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. № 3 (55). 8 с. 2014. <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-3>.