

*И.А. Золотухин*

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

## **ФОТОАВТОТРОФНЫЙ БИОФИЛЬТР СО СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМОЙ ОСВЕЩЕНИЯ**

*В лабораторных условиях исследован процесс обработки загрязнённой воды на фотоавтотрофных биофильтрах с источником света в виде светодиодной ленты. Результаты исследования могут быть использованы при разработке экологически чистой безреагентной технологии кондиционирования шахтных и карьерных вод.*

*Ключевые слова: очистка воды, фотоавтотрофные биофильтры, шахтные и карьерные воды, микроводоросли, светодиодные ленты.*

*I.A. Zolotukhin*

## **FOTOAUTOTROFIC BIOFILTER WITH LIGHT-EMITTING DIODES ILLUMINATION**

*In the laboratory investigated the processing of contaminated water by the photoautotrophic biofilters with a light source with light-emitting diode strip. The research results can be used for the development of environmentally friendly non reagent technology to mine and quarry water treatment.*

*Key words: water purification, photoautotrophic biofilters, mine and quarry water, microalgae, light-emitting diodes.*

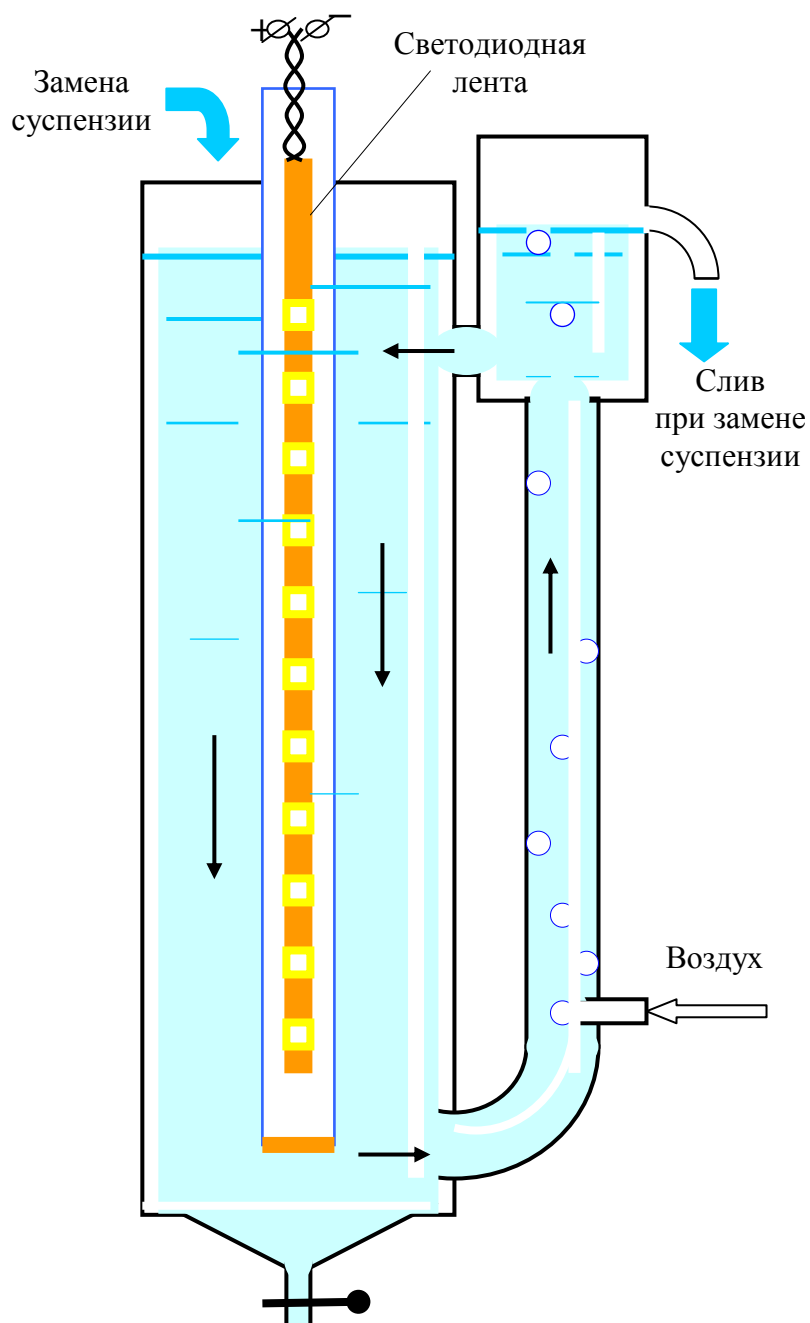
Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 19 октября 2015 г.

В предыдущих исследованиях [1-3] была показана принципиальная возможность использования светодиодов при разработке фотоавтотрофных биофильтров, которые позволяют очищать сточные воды с низкой или даже нулевой концентрацией растворимых органических веществ. Эффект биофильтрации в этих случаях создаётся за счёт развивающихся микроводорослей. Но при этом возникает проблема разработки специальной системы освещения, совмещающей в себе одновременно функции источника света и носителя биомассы. В данной статье приведены результаты исследований одного из возможных вариантов такой системы, которому можно дать условное название "световой ёрш".

### **Методика**

Схема конструкции лабораторного аппарата представлена на рис. 1. Внутренний диаметр основного цилиндрического корпуса из органического стекла составлял 31 мм, высота – 1,5 м, вместимость – 1,1 дм<sup>3</sup>. Аппарат был оборудован системой аэрации и циркуляции обрабатываемой воды. Расход воздуха –  $50 \pm 10$  см<sup>3</sup>/мин. Скорость движения воды – около 10 мм/с.

Осветитель представлял собой прозрачную поливинилхлоридную трубку диаметром 10 мм. Внутри трубки размещали влагозащищённую WHITE/SMD3528 светодиодную лампу-ленту RTW-5000E. Длина ленты – 1 м, количество светодиодов – 60. Общая номинальная мощность – 6 Вт.



**Рис.1.** Схема лабораторного биофильтра

Осветитель оборудовали системой щетинок из листового полиэтилена (рис. 2). Количество щетинок  $\approx 2000$ , длина 15-20 мм, толщина – 0,1 мм. Общая удельная поверхность биофильтра с учётом поверхности осветителя и внутренней освещаемой поверхности аппарата составила  $1,34 \text{ см}^2/\text{см}^3$ .



**Рис. 2.** Щетинки на осветителе с функцией носителя биомассы

В экспериментах использовали одновременно 3 аппарата описанной конструкции (рис. 3). Аппарат № 1 не освещали. Параметры работы осветительных систем представлены в табл. 1. В качестве имитата загрязнённой воды и среды для выращивания водорослей использовали тонкодисперсную суспензию глины в водопроводной воде с концентрацией взвешенных частиц –  $100 \pm 5 \text{ мг/дм}^3$ . Суспензию заменяли один раз в неделю методом вытеснения. Для этого верхний канал циркуляции между аэратором и основным цилиндром (рис. 1) перекрывали и в верхнюю часть основного цилиндра подавали свежую суспензию. При этом отработанная вода вытеснялась вниз и через аэратор и верхний сливной патрубков, удалялась из аппарата. Объём заливаемой в аппарат суспензии составлял  $2,5 \text{ дм}^3$ , то есть, более чем двукратно превышал рабочий объём.

После заливки свежей суспензии в течение 1 часа каждые 15 мин. из каждого сосуда отбирали пробу воды объёмом  $5 \text{ см}^3$  для определения концентрации взвеси с применением фотоэлектрического колориметра КФК-2.



**Рис. 3.** Экспериментальная установка

По результатам измерений определяли часовую эффективность осветления суспензии. Величину эффективности использовали в качестве косвенного показателя интенсивности развития слоя биообрастания.

Таблица 1

### Параметры работы осветительных систем

№ аппарата	1	2	3
Освещённость стенки аппарата, люксы	0	600	6000
Напряжение, В	0	8,0	12,0
Электрический ток, А	0	0,03	0,38
Мощность, Вт	0	0,24	4,56
Затраты электроэнергии, кВт·ч/м <sup>3</sup>	0	0,22	4,15

Дополнительным контрольным вариантом являлся стеклянный цилиндр, в котором испытываемая глинистая суспензия осветлялась методом отстаивания в покое. Пробы отбирали с глубины 12 см.

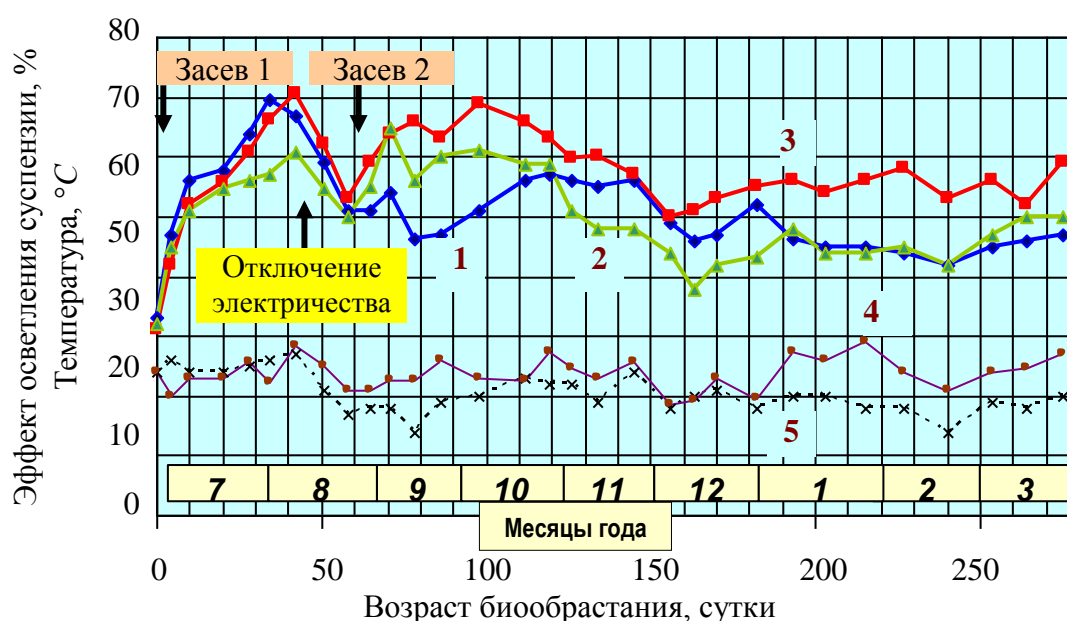
После истечения 1 часа три экспериментальных аппарата закрывали светонепроницаемыми чехлами до следующей замены суспензии. Дополнительный контрольный сосуд освобождался от суспензии.

Системы аэрации и освещения работали непрерывно в течение всего периода исследований (280 суток).

Первый эксперимент по определению эффективности осветления суспензии был проведён без введения посевного материала. Посевной материал в виде суспензии микроводорослей был внесён сразу после этого эксперимента. Водоросли получили путём соскоба слоя биообрастания с камней в лабораторном аквариуме. Несколько см<sup>3</sup> концентрированной суспензии собранных водорослей слегка растёрли пестиком в фарфоровой чашке и развели водопроводной водой до 0,3 дм<sup>3</sup>. Полученную суспензию добавили по 100 см<sup>3</sup> в каждый из трёх экспериментальных аппаратов.

## Результаты

На графике (рис. 4) видно, что исходная эффективность экспериментальных аппаратов (около 30 %) мало отличалась от эффективности контрольного отстаивания (в среднем 25 %). За первые 40 суток эффективность биофильтров возросла до 70 %. Затем произошло не предусмотренное планом событие: на 42 сутки, по случайному стечению обстоятельств, в лаборатории отключили электроэнергию. В результате, все экспериментальные аппараты в течение недели находились без аэрации и освещения. Через неделю аэрация и освещение были восстановлены, но ещё целую неделю эффективность продолжала быстро падать. Затем в освещаемых аппаратах (2 и 3) эффективность начала восстанавливаться, а в аппарате без света (1) оставалась на низком уровне.



**Рис. 4.** Изменение эффективности осветления суспензии в зависимости от возраста биоценозов:  
1 – без света; 2 – освещённость 600 люкс; 3 – освещённость 6000 люкс;  
4 – контрольное отстаивание в покое; 5 – температура

Для ускорения процесса восстановления во все три аппарата был произведён повторный засев водорослей. В результате, на 100 сутки аппараты 2 и 3 вернулись к своей максимальной эффективности, соответственно, 60 и 70 %. Затем в последующие 2 месяца в этих аппаратах происходило медленное снижение эффекта, вероятной причиной которого может быть естественное сезонное (ноябрь-январь) снижение физиологической активности.

В итоге в последние 3 месяца культивирования (январь-март) эффективность колебалась для аппаратов 1 и 2 в пределах 40-50 %, а для аппарата 3 – в пределах 60-70 %.

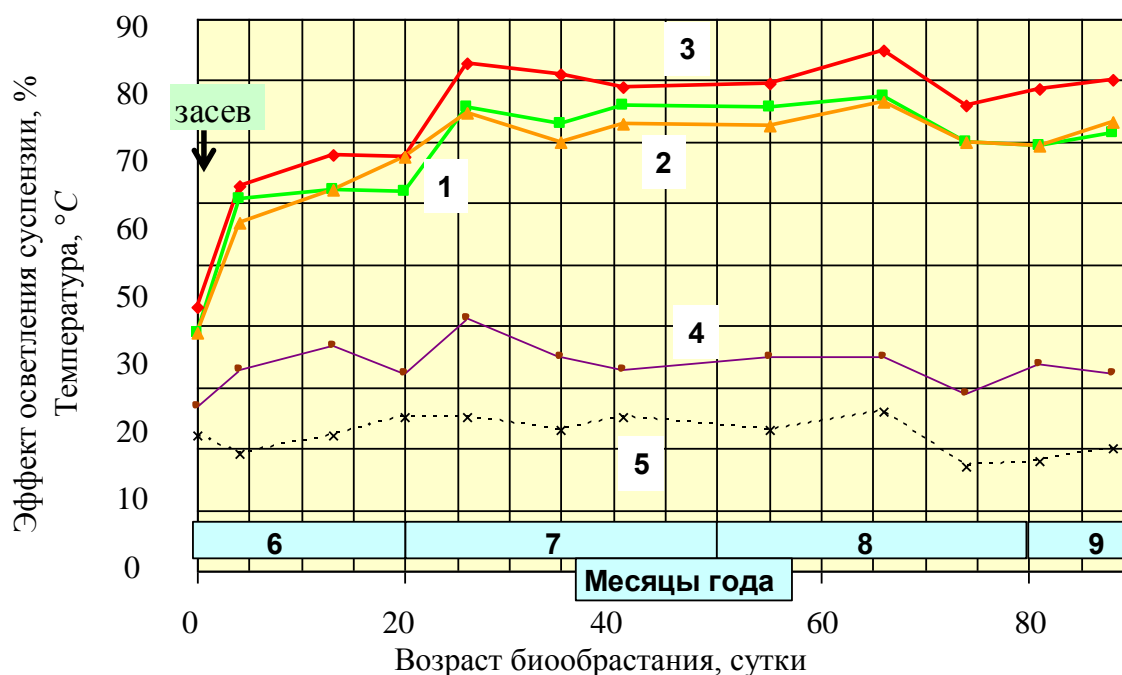
После окончания 280 суточных исследований, для получения более надёжных результатов, эксперименты были повторены по такой же методике с небольшими изменениями: отсутствовал вариант без освещения, а вариант с сильным освещением был реализован в 2-х аппаратах (табл. 2).

Таблица 2

**Параметры работы осветительных систем**

№ аппарата	1	2	3
Освещённость стенки аппарата, люксы	600	6000	6000
Напряжение, В	8,0	12,0	12,0
Электрический ток, А	0,03	0,38	0,38
Мощность, Вт	0,24	4,56	4,56
Затраты электроэнергии, кВт·ч/м <sup>3</sup>	0,22	4,15	4,15

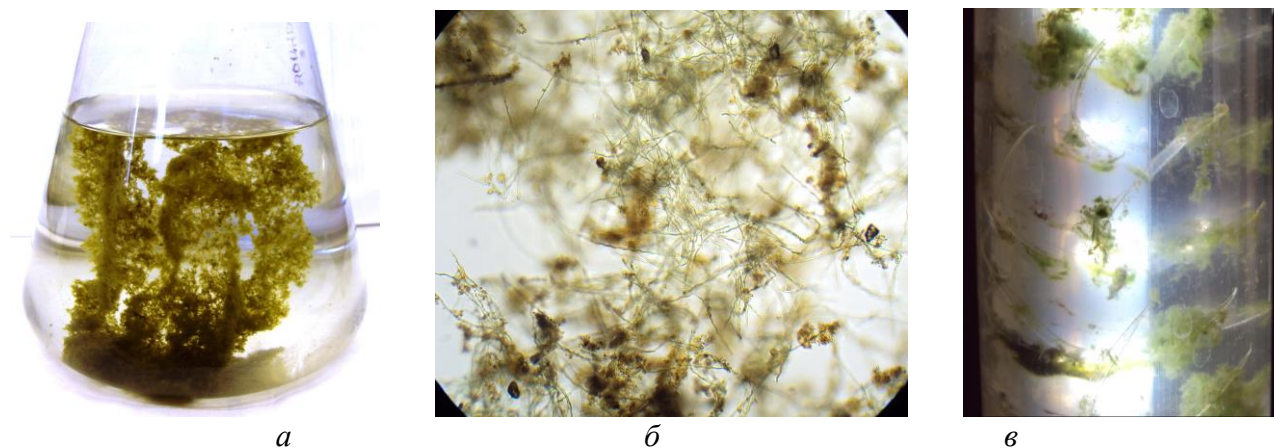
Результаты представлены на рис. 5 и в основном соответствуют полученным ранее данным.



**Рис. 5.** Изменение эффективности освещения суспензии в зависимости от возраста биоценозов:  
 1 – освещённость 600 люкс; 2 и 3 – освещённость 6000 люкс;  
 4 – контрольное отстаивание в покое, 5 – температура

Все три варианта практически несущественно отличались по эффективности. Причём, варианты 2 и 3 с одинаковой высокой освещённостью отличались друг от друга больше, чем от варианта 1. Из этого следует, что применённая освещённость 6000 люкс явно превышает оптимальную в данных условиях величину.

Относительно коротким оказался период достижения максимальной эффективности, которая за 25 суток увеличилась до 85 %, что вполне объясняется повышенной сезонной активностью биоценоза (июнь-август) и сравнительно высокой дозой внесённого посевного материала (рис. 6). Если увеличить масштаб фотографии *б*, то отчётливо видно, что доминирующим компонентом в посевном материале являлась нитчатая сине-зелёная водоросль из рода *Spirulina*.



**Рис. 6**

*а* – посевной материал; *б* – микрофотография посевного материала 16×10;  
*в* – верхняя часть носителя-осветителя после засева

В дальнейшем, в течение 2-х месяцев эффективность находилась в основном в пределах 70-80 %. При этом эффективность контрольного отстаивания колебалась в интервале 30-40 %.

Фотографии на рис. 7 показывают, что, несмотря на слабые различия в эффективности, можно заметить, что более высокая освещённость способствует более интенсивному наращиванию биомассы и более плотному заполнению глинистыми частицами рабочего пространства биофильтра.

Ввиду того, что светодиоды расположены с одной стороны светодиодной лампы, противоположная сторона аппарата получает меньше света и в этой части существенно ниже концентрация биомассы и загрязнений. В частности, практически отсутствует зелёная окраска, в то время как в интенсивно освещаемых объёмах зелёная биомасса практически всегда хорошо видна.

Аппарат 1



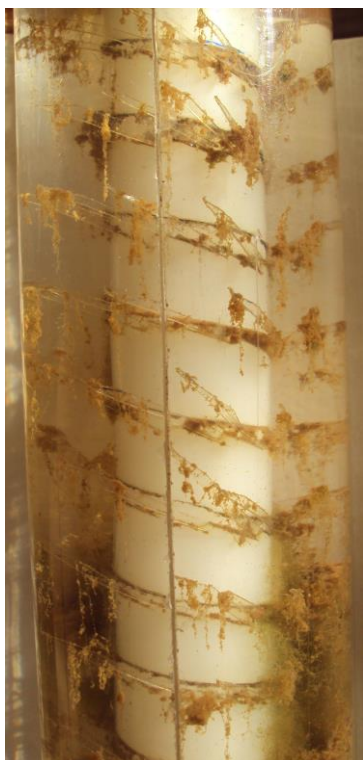
Аппарат 2



Аппарат 3



Полная освещённость



Не полная освещённость

**Рис. 7.** Биоценоз с отложениями через 2 месяца культивирования



## **Выводы**

1. Эксперименты показали принципиальную возможность применения светодиодной ленты при конструировании осветителей – носителей биомассы для фотоавтотрофных биофильтров.

2. Испытанные лабораторные биофильтры при продолжительности обработки 1 час позволили получить эффект осветления тонкодисперсной глинистой суспензии в пределах 70-80 %. При этом затраты электроэнергии на освещение могут не превышать  $0,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ .

3. Желательно использовать двусторонние светодиодные ленты и разработать специальные светодиоды, учитывающие особенности фотоавтотрофных биофильтров [2, 3]. Например, спектральные характеристики светодиодов должны быть близки к солнечному спектру.

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

## **Литература**

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

2. **Золотухин И.А.** Особенности светодиодного освещения для фотоавтотрофных биофильтров // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (44). 2012. <http://ipb.mos.ru>.

3. **Золотухин И.А.** Лабораторный микроводорослевый биофильтр со светодиодно-световодной системой освещения // Технологии техносферной безопасности. Вып. № 4 (50). 2013. С. 149-158. <http://ipb.mos.ru>.