

*И.А. Золотухин, С.С. Опарина*

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

## **ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ КАК НОСИТЕЛЬ БИОМАССЫ И ИСТОЧНИК СВЕТА В ЛАБОРАТОРНОМ МИКРОВОДОРОСЛЕВОМ БИОФИЛЬТРЕ**

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

*Ключевые слова: очистка воды, автотрофные биофильтры, микроводоросли, оптические кабели.*

*I.A. Zolotukhin, S.S. Oparina*

## **OPTIC CABLE AS THE SUPPORT OF BIOMASS AND LIGHT SOURCES IN THE LABORATORY MICRO ALGAE BIO FILTERS**

*In the laboratory, investigated the processing of contaminated water by micro algae bio filters. The research results can be used in the development of clean non reagent technology for mine and pit water treatment.*

*Key words: water treatment, autotrophic bio filters, micro algae, optical cables.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 8 января 2014 г.

Важной экологической проблемой в области охраны водных ресурсов является создание экологически чистых безреагентных методов обработки сточных вод, одним из которых является **метод биофильтрации**. Но современные биофильтры создают эффект очистки за счёт гетеротрофной микрофлоры и пригодны для обработки сточных вод только с высокой концентрацией органических веществ. В то же время существует достаточно широкий класс сточных вод, практически не содержащих органических загрязнений, например, шахтные и карьерные воды горнодобывающих предприятий. Для очистки таких вод приходится применять **реагентные методы**, которые приводят к вторичному загрязнению воды. Избежать этого и обеспечить экологическую чистоту можно путём применения так называемых **фотоавтотрофных биофильтров**, в которых фильтрующей биомассой являются **микроводоросли** [1-3]. В этом случае необходимо найти способ обеспечения водорослей светом в непрозрачной мутной воде. Эту проблему можно решить, используя достижения бурно развивающейся техники оптических волокон. Такие волокна могут выполнять функцию носителя биомассы микроводорослей и одновременно обеспечивать их световой энергией.

Авторы исследовали возможности создания фотоавтотрофного био-фильтра с использованием оптических волокон. Достижение поставленной цели было обеспечено решением следующих задач.

1. Разработана конструкция и изготовлены лабораторные модели фотоавтотрофных биофильтров.

2. Проведены эксперименты по наращиванию фильтрующей биомассы микроводорослей.

3. Определена эффективность осветления мутных вод методом фотоавтотрофной биофильтрации.

### 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 дм<sup>3</sup>. Аппарат был оборудован системой аэрации и циркуляции обрабатываемой воды. Расход воздуха составлял  $50 \pm 10$  см<sup>3</sup>/мин. Скорость движения воды около 10 мм/с.

В качестве источника оптических волокон использовали оптический кабель бокового свечения Side Glow марки SV126 (126 волокон в кабеле). Поставщик – рекламное агентство "А" [4]. Длина кабеля – 1 м, диаметр – 15,9 мм, диаметр волокна – 0,75 мм,

Использовали два аппарата. В первый аппарат поместили пучок оптических волокон бокового свечения (рис. 2а), которые после освобождения от прозрачной оплётки имели адсорбирующую (освещаемую) поверхность 2670 см<sup>2</sup>. Во втором аппарате использовали оптический кабель (рис. 2б) с величиной освещаемой поверхности – 450 см<sup>2</sup>. Для увеличения адсорбирующей поверхности и эффективного закрепления биомассы кабель оборудовали системой щетинок из прозрачного полиэтилена (рис. 2в), что позволило увеличить его рабочую поверхность до 600 см<sup>2</sup>.

С учётом внутренней освещаемой поверхности самих аппаратов (по 880 см<sup>2</sup> в каждом), величина удельной поверхности составила в аппарате с волокнами 3,4 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> (340 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) и в аппарате с кабелем – 1,4 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> (140 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>).

Верхние концы кабеля и пучка оптических волокон освещали сверхяркими светодиодами белого тёплого свечения марки OSM5XZE3E (3000 °К, 180 lm, 140°), номинальный ток – 0,7 А, мощность – 3 Вт. Фактический ток одного светодиода составлял 250 мА, мощность – 0,875 Вт. Для повышения коэффициента использования света нижние концы пучка и кабеля были оборудованы отражателями из алюминиевой фольги (рис. 3).

В качестве имитата загрязнённой воды и среды для выращивания водорослей использовали тонкодисперсную суспензию глины в водопроводной воде с концентрацией взвешенных частиц  $100 \pm 5$  мг/дм<sup>3</sup>.

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 патрубок удалялась из аппарата. Объем заливаемой в аппарат суспензии составлял  $2,5 \text{ дм}^3$ , то есть более чем двукратно превышал рабочий объем.

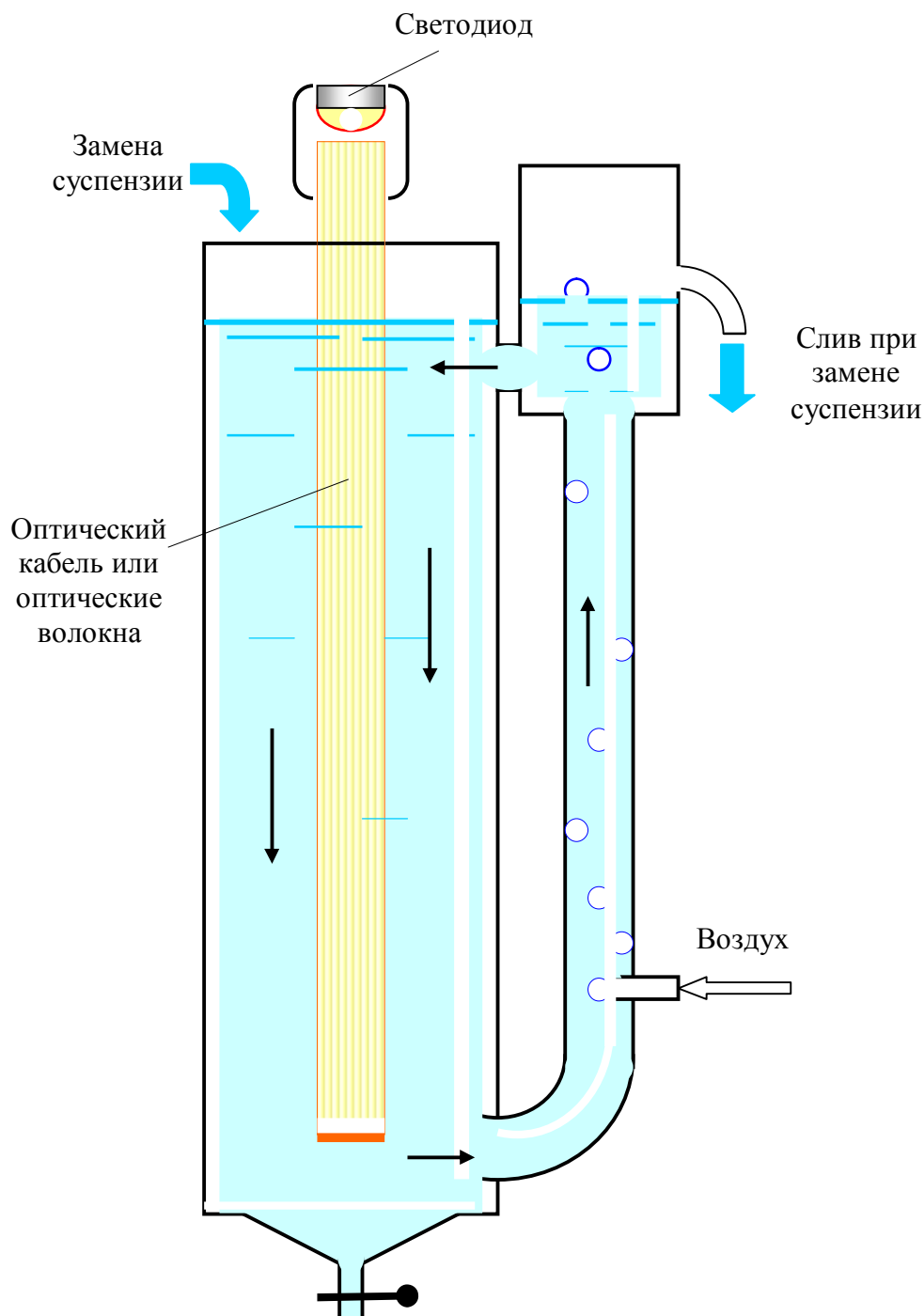
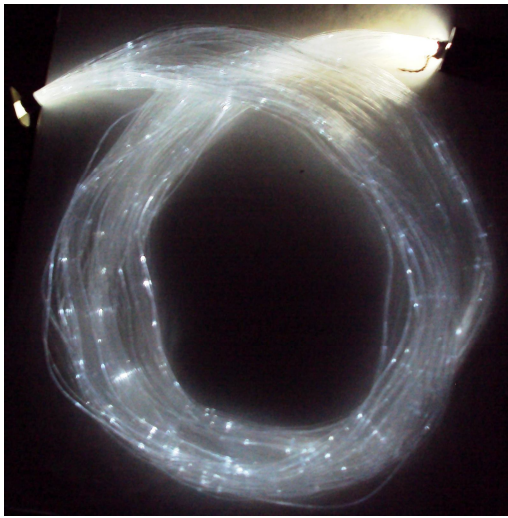
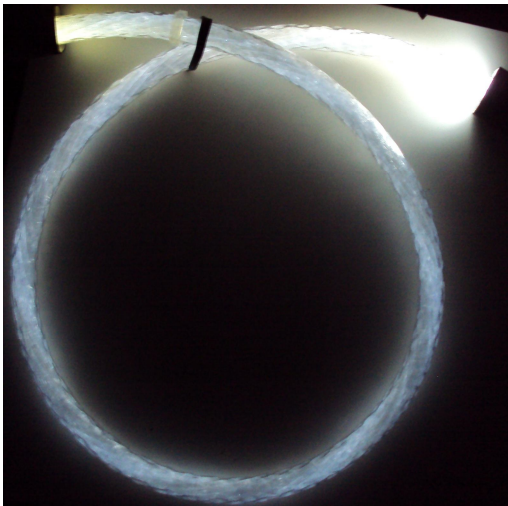


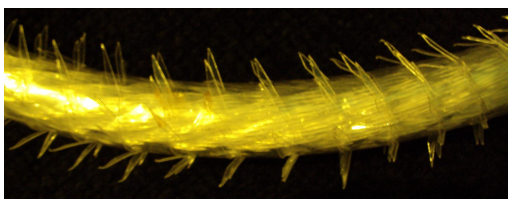
Рис. 1. Схема лабораторного биофильтра



*а*



*б*

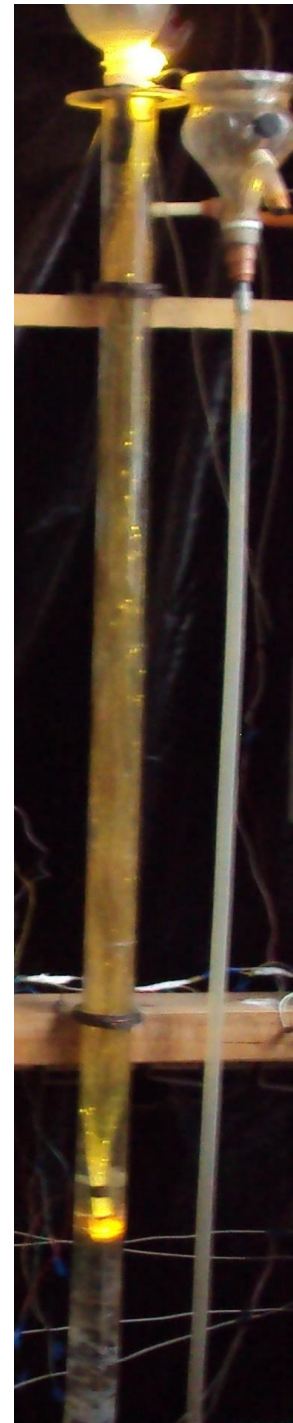


*в*

**Рис. 2.** Пучок оптических волокон (*а*), оптический кабель (*б*) и оптический кабель, оборудованный щетинками (*в*)



*а*



*б*

**Рис. 3.** Аппараты во время работы  
*а* – с оптическими волокнами  
*б* – с оптическим кабелем

После заливки свежей суспензии в течение 1 часа каждые 15 мин из каждого сосуда отбирали пробу воды объемом  $5 \text{ см}^3$  для определения концентрации взвеси с применением фотоэлектрического колориметра КФК-2. По результатам измерений определяли часовую эффективность осветления суспен-

зии. Величину эффективности использовали в качестве косвенного показателя интенсивности развития слоя биообрастания.

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

После истечения 1 часа оба опытных аппарата закрывали светонепроницаемыми чехлами до следующей замены суспензии. Контрольный сосуд освобождался от суспензии.

Системы аэрации и освещения работали непрерывно в течение всего периода исследований (290 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 оба опытных аппарата.

## Результаты

На графике рис. 4 видно, что исходная эффективность контрольного (3) и опытных (1, 2) вариантов практически была одинаковой. Несколько более низкий эффект варианта с кабелем (31 %), по сравнению с оптическим волокном (35 %), вполне объясняется разницей адсорбирующих поверхностей. Последующий относительно резкий скачок эффективности опытных вариантов в первую неделю с 31-35 % до 43-52 % является преимущественно следствием внесения посевного материала (рис. 5).

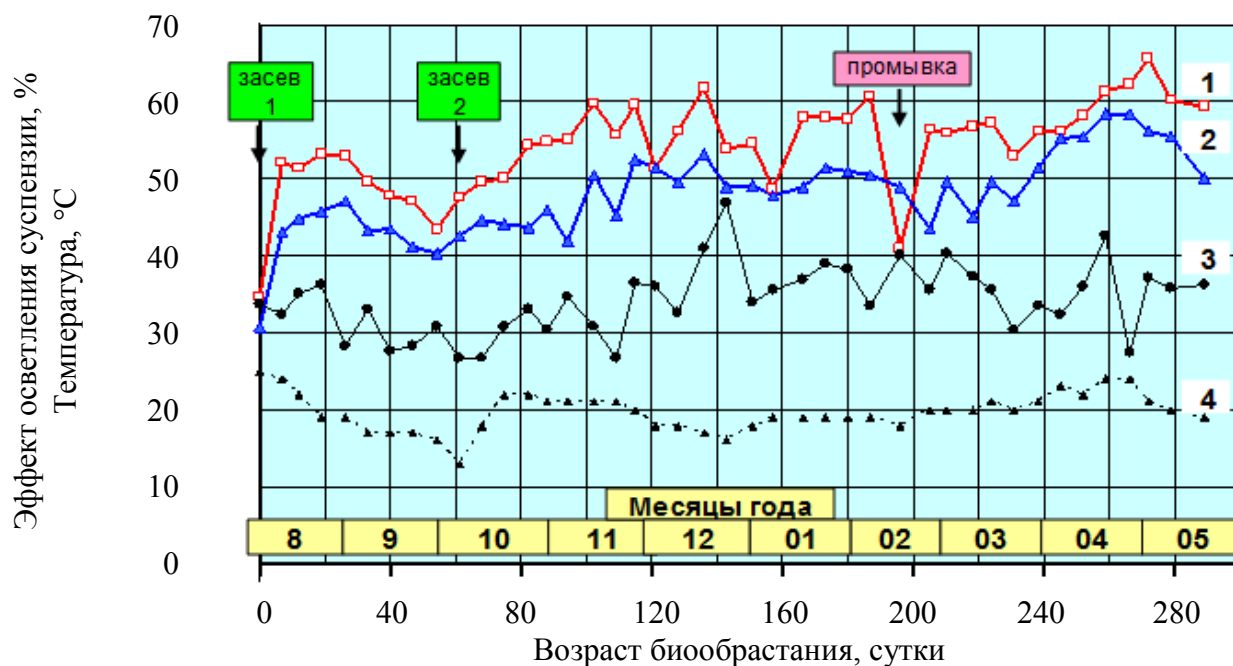
Затем, после небольшого увеличения эффективности в течение первого месяца, в следующем месяце наблюдалось постепенное снижение эффекта с 47-53 % до 40-43 %.

Это можно было бы объяснить сукцессионными процессами формирования новых микробиоценозов или проявлением сезонного биоритма (сентябрь месяц).

Но аналогичное снижение эффекта наблюдалось и в контрольном варианте, возможно из-за естественной нестабильности свойств глинистой суспензии.

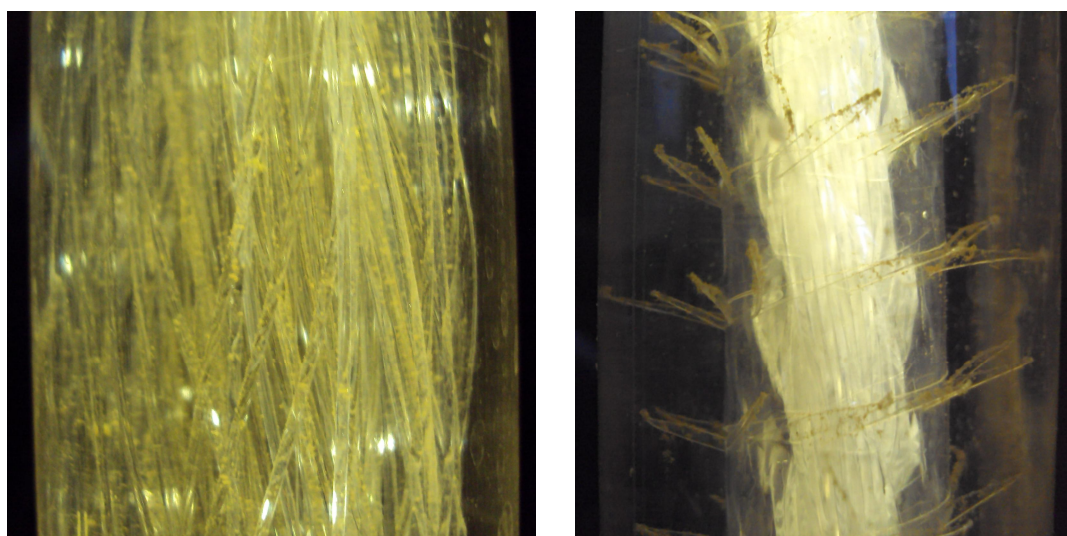
Для повышения вероятности формирования более разнообразного и устойчивого микробиологического сообщества на 60-е сутки был проведён дополнительный засев опытных аппаратов.

Около 1 г соскобленного микроводорослевого налёта с поверхности влажной почвы было диспергировано в 50 см<sup>3</sup> воды. Полученную суспензию ввели в каждый опытный аппарат по 20 см<sup>3</sup>. В течение 3-х последующих месяцев наблюдалось повышение эффективности работы опытных биофильтров до 50-60 %.



**Рис. 4.** Изменение эффективности работы биофильтров в зависимости от возраста биообращения

1 – биофильтр с оптическими волокнами, 2 – биофильтр с оптическим кабелем, 3 – отстаивание в покое (контроль), 4 – изменение температуры



*a*

*б*

**Рис. 5.** Оптические волокна (*a*) и оптический кабель (*б*) после внесения посевного материала

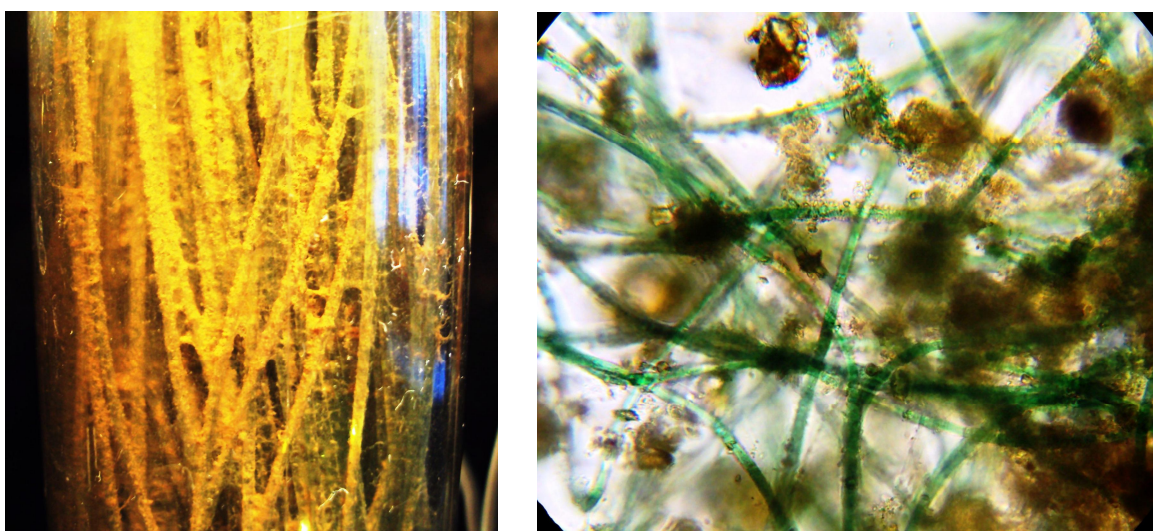
На 196 сутки исследования был проведён эксперимент по влиянию процедуры промывки аппаратов на эффективность их работы. Для этого перед началом очередной заливки суспензии воду из аппарата слили и промыли носители (кабель или волокна) сильной струёй воды в течение нескольких секунд. После чего провели обычный опыт по осветлению суспензии.

Совершенно чёткую и ожидаемую реакцию на промывку дал аппарат с оптическими волокнами. Его эффективность упала с 61 % до 41 %. За следующую неделю эффективность восстановилась до 57 %.

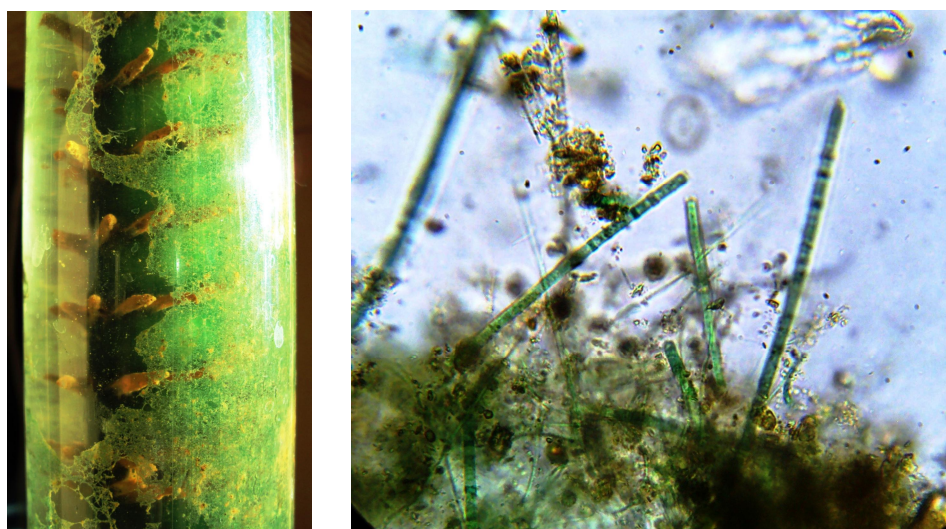
Почти никак не среагировал на промывку аппарат с оптическим кабелем. Только через неделю после промывки он показал снижение эффекта с 49 % до 43 % с последующим медленным повышением в течение 2-х месяцев до 58 %.

В целом, после достижения эффективности 50-60 % к 4-му месяцу исследований, опытные аппараты в оставшееся время имели среднюю эффективность  $57,1 \pm 0,67$  % (26 замеров) для аппарата с оптическими волокнами и  $50,7 \pm 0,7$  % (27 замеров) для аппарата с оптическим кабелем. При этом средний эффект контрольного варианта составил  $35,9 \pm 0,8$  % (27 замеров).

Через 6 месяцев культивирования были отобраны пробы биомассы и проведён микроскопический анализ (рис. 6, 7), который показал, что характер биообращения в обоих биофильтрах не имеет принципиальных отличий. И в том, и в другом случае биообращение представлено скоплением нитчатых водорослей с абсорбированными дисперсными примесями.



*a* *б*  
**Рис. 6.** Внешний вид биообращения оптических волокон (*a*)  
и микрофотография при увеличении  $16 \times 40$  (*б*)



*a* *б*  
**Рис. 7.** Внешний вид биообращения в биофильтре с оптическим кабелем (*a*)  
и микрофотография при увеличении  $16 \times 40$  (*б*)

## Выводы

1. Применение оптических волокон и оптического кабеля в качестве носителей биомассы показало принципиальную возможность создания микроводорослевого (фотоавтотрофного) биофильтра.

2. Испытанные лабораторные биофильтры при продолжительности обработки 1 час позволили получить эффект осветления тонкодисперсной глинистой суспензии в пределах 50-60 %. Затраты электроэнергии на освещение составили  $0,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ .

3. Выпускаемые в настоящее время оптические волокна предназначены для рекламных и декоративных целей и не в полной мере удовлетворяют условиям работы биофильтров.

4. Для создания высокоэффективных промышленных фотоавтотрофных биофильтров требуется разработать специальные оптические волокна, обладающие более интенсивным и более равномерным свечением. Волокна должны обладать также поверхностью с особыми геометрическими параметрами, позволяющими более эффективно удерживать слой биообрастания.

5. Должна быть разработана специальная конструктивная компоновка фильтрующего блока, в котором оптические волокна располагались бы преимущественно в горизонтальном положении.

## Литература

1. *Золотухин И.А.* Световод как источник света для микроводорослевых биофильтров // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. № 4 (38). 2011. <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. <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). 2013. <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-4>.

4. [www.aaa.ru](http://www.aaa.ru), [www.aswaro.ru](http://www.aswaro.ru), [www.aswaroshop.ru](http://www.aswaroshop.ru).

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