

И.А. Золотухин

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

ОПТИКО-ВОЛОКОННЫЙ ФОТОАВТОТРОФНЫЙ БИОФИЛЬТР С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВОЛОКОН

В лабораторных условиях исследован процесс обработки загрязнённой воды на оптико-волоконных фотоавтотрофных биофильтрах. Дана сравнительная оценка фильтров с горизонтальным и вертикальным расположением оптических волокон. Результаты исследований 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, оптические волокна.

I.A. Zolotukhin

OPTIC-FIBER FOTOAUTOTROFIC BIOFILTER WITH A HORIZONTAL ARRANGEMENT OF THE FIBERS

In the laboratory investigated the processing of contaminated water by the op-optical-fiber photoautotrophic biofilters. Was made comparative evaluation of the filters with a horizontal and vertical arrangement of optical fibers. 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, optical fibers.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 1 февраля 2015 г.

Предыдущими исследованиями [1] была показана принципиальная возможность разработки фотоавтотрофного биофильтра с фильтрующей загрузкой из оптических волокон, которые позволяют очищать сточные воды горнодобывающих предприятий при низкой или даже нулевой концентрации растворимых органических веществ. Эффект биофильтрации при отсутствии органического питания создаётся за счёт развивающихся микро водорослей. Но при этом возникает проблема оптимального размещения, закрепления и обеспечения оптических волокон световой энергией.

В частности, в упомянутом выше исследовании был использован вариант с вертикальными свободно висящими волокнами, верхние концы которых собраны в пучки и освещены светодиодами. Эта конструкция отличается относительной простотой и позволяет легко осуществлять такую важную для фильтров технологическую процедуру как промывка фильтрующей загрузки.

Но имеются и некоторые недостатки. Так, например, ограничена возможность принудительного управления распределением волокон в объёме аппарата. В идеале такое распределение должно быть равномерным, что позволяет избежать шунтирующих эффектов, при которых потоки (струи) очищаемой воды обходят участки тесно расположенных волокон. В результате этого уменьшает-

ся коэффициент полезного использования фильтрующей загрузки и снижается эффективность фильтрования. Кроме того, вертикальное расположение каналов перемещения жидкости почти полностью исключает эффект тонкослойного отстаивания, которое может значительно влиять на процесс выведения из потока тонкодисперсных взвешенных частиц.

В связи с этим в настоящем исследовании была поставлена задача, создать и испытать в лабораторных условиях оптоволоконный фотоавтотрофный биофильтр с горизонтальным расположением волокон и с заданной фиксированной плотностью их размещения.

Методика

Лабораторная модель биофильтра представляла собой цилиндрический сосуд из полиэтилена вместимостью 850 см^3 (рис. 1а,б). В средней части сосуда размещали фильтрующую загрузку из горизонтально расположенных оптических волокон [2] (рис. 1в).

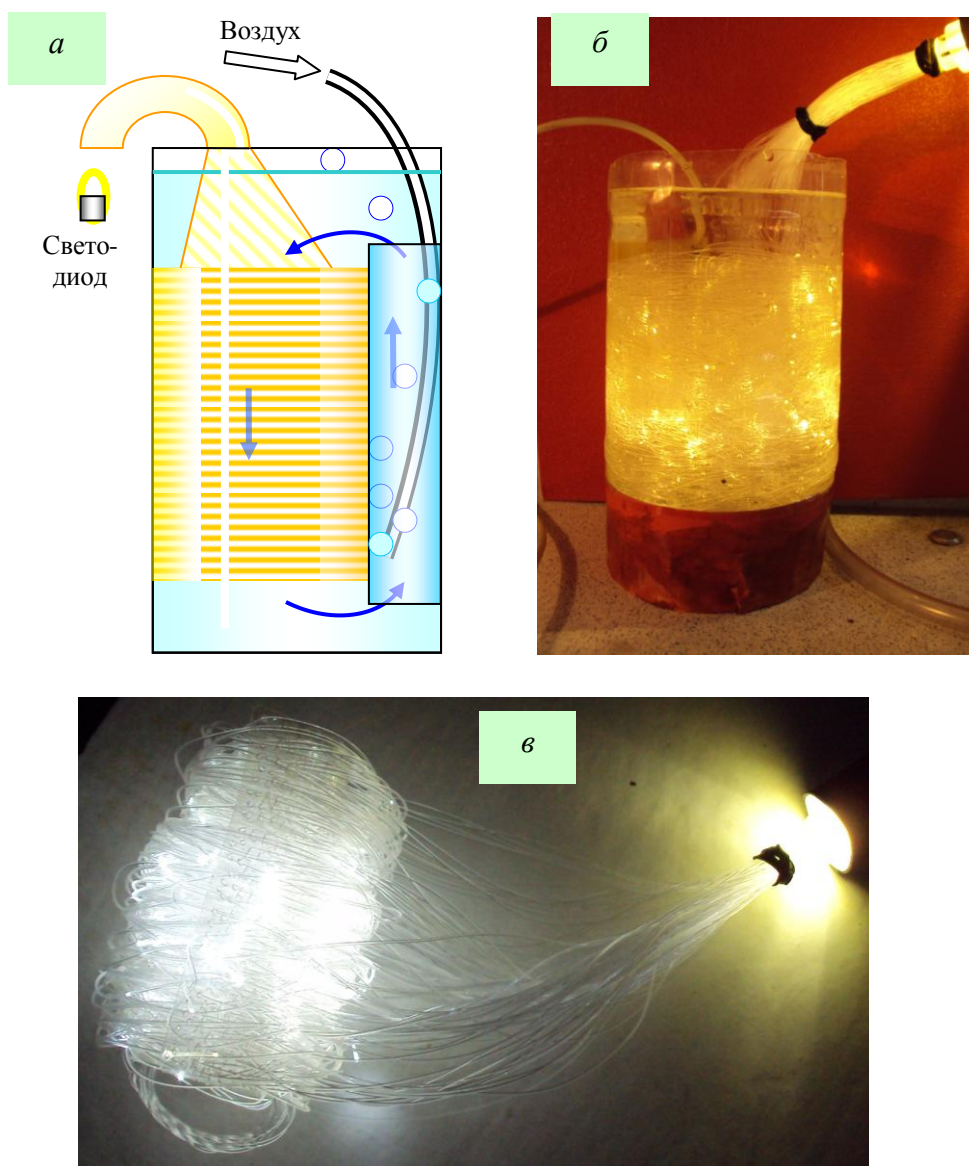


Рис. 1. Схема (а) и фотография (б) биофильтра, блок фильтрующей загрузки (в)

При изготовлении фильтрующих блоков старались по возможности соблюдать принцип равномерного распределения волокон в объёме рабочей зоны. Фактическое расстояние между волокнами находилось в основном в пределах от 1 до 5 мм. Диаметр волокна 0,75 мм, длина 1 м. Общее количество волокон 126. Объём, охватываемый загрузкой, составлял 600 см^3 , пористость 92 %. Удельная поверхность, с учётом рабочей поверхности волокон, внутренней поверхности аппарата и его рабочего объёма, составляла $3,8 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

Концы волокон были собраны в пучок, на который направлялся луч света от светодиода белого тёплого свечения марки **OSM5XZE3E** (3000 K, 180 lm, 140°). Сила тока составляла 0,25 А, напряжение – 3,5 В, мощность – 0,875 Вт. Затраты электроэнергии – $1,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$. Предварительно замеренная освещённость на поверхности фильтрующего блока в самых ярких участках составляла 150 люкс.

В качестве модели обрабатываемой воды использовали суспензию глины в водопроводной воде. Исходное содержание твёрдой фазы составляло $100\pm 5 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Каждый аппарат был оборудован аэратором, обеспечивающим непрерывную циркуляцию обрабатываемой воды через фильтрующую загрузку (рис. 1а). Скорость подачи воздуха $50\pm 10 \text{ см}^3/\text{мин}$.

В исследовании использовали два идентичных аппарата, из которых первый (№ 1) работал в описанном режиме фотоавтотрофной биофильтрации (с подачей света). Второй аппарат (№ 2 контрольный) работал точно в таком же режиме, но без подачи света.

Аппараты работали непрерывно в течение 10 месяцев и были постоянно закрыты светонепроницаемыми чехлами. Чехлы снимали только на один час во время замены суспензии. Суспензию заменяли 1 раз в неделю. При этом старый раствор сливали сифоном, не повреждая слой биообрастания, и осторожно заливали свежую порцию суспензии. Через 1 час после заливки из каждого сосуда отбирали пробу воды, измеряли концентрацию взвешенных веществ и определяли эффект их удаления. Одновременно с заменой суспензии проводили дополнительный контрольный опыт по осветлению суспензии методом отстаивания (сосуд № 3). Для этого отдельную порцию суспензии отстаивали в течение 1 часа в стеклянном цилиндре с отбором проб с глубины 12 см и определением эффективности осветления.

После осуществления первого эксперимента с определением эффективности удаления взвешенных веществ в аппараты 1 и 2 были внесены одинаковые порции посевного материала в виде суспензии микроводорослей. Водоросли получали путём соскоба зелёного налёта со дна и стенок лабораторного аквариума. Около $0,5 \text{ см}^3$ такого соскоба размешивали в 50 см^3 воды и полученную суспензию вводили в аппараты 1 и 2 по 15 см^3 .

Результаты

Результаты экспериментов представлены на рис. 2 в виде графика, показывающего изменение эффекта осветления глинистой суспензии в зависимости от возраста биообрастания.

В момент запуска аппаратов в режиме простого фильтрования без водорослей, аппараты 1 и 2 продемонстрировали эффективность осветления, соответственно, 64 % и 69 %. Разницу в 5 % можно объяснить существующей погрешностью измерений. Но частично причиной различия может являться и не полная идентичность свойств фильтрующих блоков из-за высокой сложности и трудоёмкости их ручного изготовления.

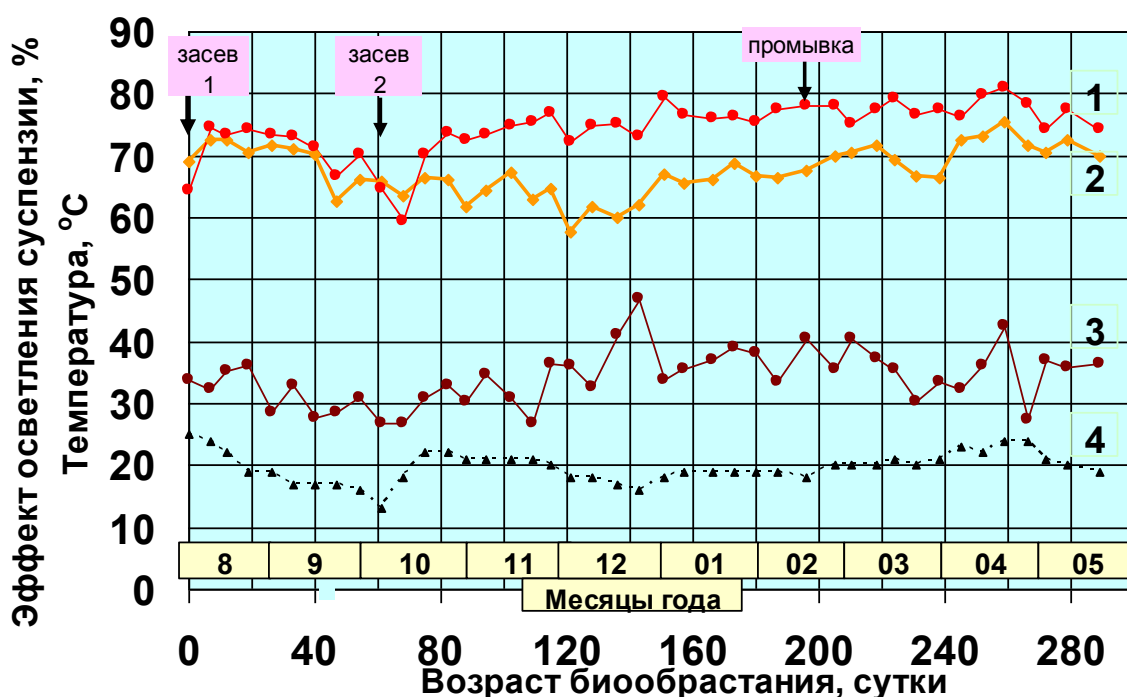


Рис. 2. Эффективность осветления суспензии в зависимости от возраста микробиоценоза:

- 1 – с освещением, 2 – без освещения,
3 – отстаивание в покое, 4 – изменение температуры

Скачок эффективности в обоих аппаратах в первую неделю культивирования обусловлен введением посевного материала, который вполне способен создавать некоторый абсорбирующий, биофлокулирующий и биофильтрующий эффекты. Следует отметить, что увеличение эффекта оказалось заметно больше в 1-м экспериментальном аппарате, что полностью соответствует теории процесса, поскольку при наличии света должна увеличиваться биомасса. Однако в последующие 2 месяца оба аппарата заметно снизили эффективность, что для 2-го аппарата вполне естественно, поскольку при отсутствии света биомасса нарастать не может. Для 1-го аппарата снижение эффективности предположительно можно объяснить тем, что в составе посевного материала не оказалось нужного количества видов водорослей, достаточно адаптированных к данным

конкретным условиям культивирования. Причинами снижения эффекта могли быть также межвидовая конкуренция на первом этапе формирования микробиоценоза и естественное сезонное (сентябрь-октябрь) снижение биологической активности.

В связи с этим, на 60-е сутки был осуществлён повторный засев обоих аппаратов посевным материалом из нового источника и в более высокой концентрации. Материал предварительно был подвергнут микроскопическому анализу на наличие нитчатых водорослей (рис. 3). В образце достаточно чётко просматривались по 2-3 вида одноклеточных и нитчатых водорослей без существенных различий в доминировании.

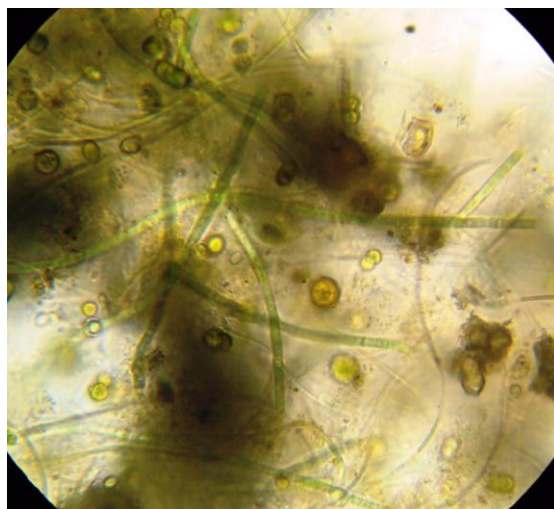


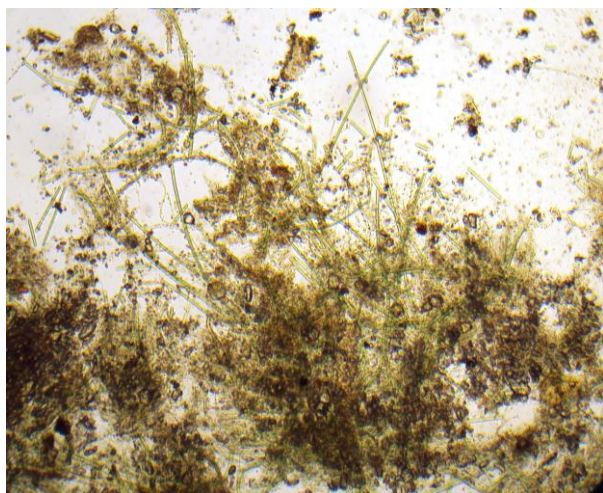
Рис. 3. Микрофотография посевного материала при увеличении 16×40

После второго засева в первом аппарате в течение 3-х недель произошло относительно быстрое увеличение эффективности, с последующим длительным периодом медленного роста до величины 76-80 % к 7 месяцу культивирования. При этом во 2 аппарате эффект осветления в указанном интервале времени не превышал 70 %.

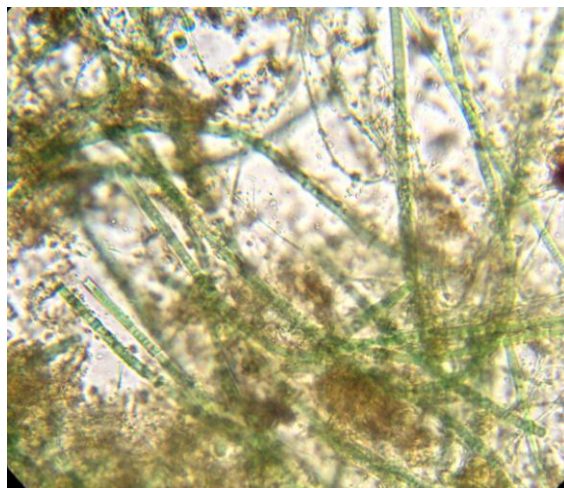
На 7 месяце культивирования была проведена промывка фильтров. При этом воду из аппаратов слили, а фильтрующие блоки промыли в течение нескольких секунд струёй водопроводной воды.

На рис. 2 видно, что промывка никак не повлияла на работу биофильтров. Это можно объяснить тем, что фильтрующие блоки представляли собой жёсткие не деформирующиеся системы с не смещаемыми относительно друг друга оптическими волокнами, на которых слой биообрастания был достаточно прочно закреплён.

Осадок, полученный в результате промывки, был подвергнут микроскопическому анализу (рис. 4). По сравнению с исходным посевным материалом, в аппарате №1 при относительно большом обилии биомассы её видовой состав был менее разнообразным и в основном представлен одним доминирующим видом сине-зелёной нитчатой водоросли из рода *Lyngbia*. Осадок из аппарата №2 был представлен в основном глинистыми частицами, без каких-либо заметных скоплений водорослей.



Увеличение 16×10



Увеличение 16×40

Рис. 4. Микрофотографии биологического обрастания в аппарате № 1

Из данных рис. 2 возникает необходимость объяснения постоянного медленного и относительно стабильного повышения эффективности 2-го биофильтра с 60 до 75 % в промежутке между 120 и 260 сутками культивирования. Можно предположить, что из-за наличия в глинистых частицах небольших следовых количеств органики (зольность глины 96,5 %) на поверхности волокон медленно развивалась гетеротрофная, преимущественно бактериальная, микрофлора. В результате проявился слабый эффект классического гетеротрофного биофильтра. Небольшая часть органики могла попасть в аппараты и с пылью за счёт работы аэраторов или просто через прямой контакт водной поверхности с окружающим воздухом.

Некоторые полезные выводы можно получить при сопоставлении полученных данных с результатами синхронно проведенных экспериментов в аналогичных условиях, но в аппарате с вертикальным расположением оптических волокон [1]. Результаты такого сравнения показаны на рис. 5 в виде кривой 5.

Сразу следует обратить внимание на низкую исходную (без водорослей) эффективность аппарата с вертикальными волокнами, которая составила величину 35 %. Это почти в два раза ниже эффективности аппаратов с горизонтальными волокнами. Наиболее вероятной причиной такого различия является влияние выше упомянутого эффекта тонкослойного отстаивания. Таким образом, аппарат с горизонтальными волокнами уже сам по себе оказался весьма эффективным средством осветления мутных вод.

Заметно отличается также и реакция вертикальных волокон на воздействие промывки, после которой эффективность аппарата резко упала из-за разрушения слоя биообрастания. Лёгкая промываемость данного фильтра является следствием подвижности и возможного взаимного трения волокон в процессе промывки, а также их вертикальным расположением. Биослой и эффект осветления воды относительно быстро восстановились примерно через 10 суток после промывки.

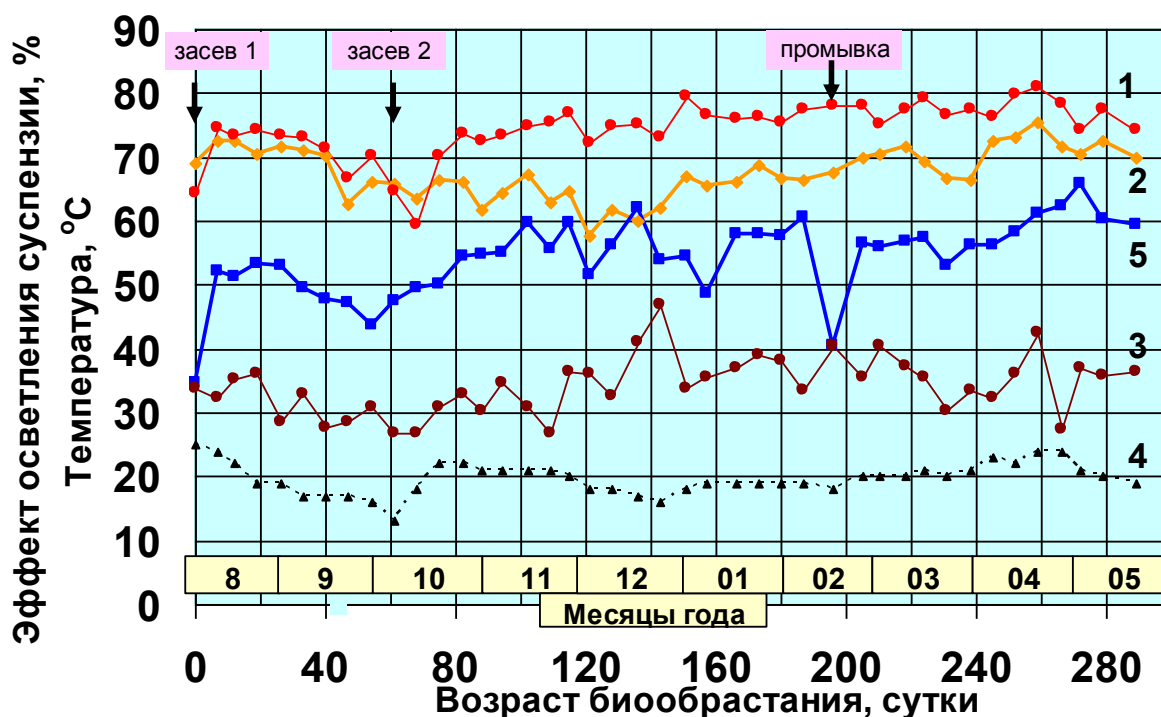


Рис. 5. Изменение эффективности осветления суспензии в аппаратах различного типа:
 1 – горизонтальные волокна с освещением,
 2 – горизонтальные волокна без освещения,
 3 – отстаивание в покое, 4 – изменение температуры,
 5 – вертикальные волокна с освещением

Выводы

1. Сравнительные исследования лабораторных фотоавтотрофных оптико-волоконных биофильтров показали, что при прочих равных условиях горизонтально расположенные волокна позволяют получить существенно более высокую эффективность, чем вертикально расположенные. Первоначальный эффект осветления тонкодисперсной глинистой суспензии при отсутствии биообрастания и при продолжительности обработки 1 час составил в варианте с горизонтальными волокнами около 70 %, а в аппарате с вертикальными волокнами 35 %. Причиной высокого эффекта в первом варианте предположительно является наличие условий для тонкослойного отстаивания.

2. В процессе биообрастания эффективность возрастает и через 4-5 месяцев достигает максимума, который для горизонтальных волокон был равен 80 %, а для вертикальных волокон 60 %. В контрольных опытах по отстаиванию суспензии в покое эффективность находилась в пределах 30-40 %.

3. Существенным недостатком аппарата с горизонтальными волокнами является невозможность эффективной промывки фильтрующего блока, что обусловлено жёсткостью и неподвижностью оптических волокон.

4. Для практического внедрения оптико-волоконных фотоавтотрофных биофильтров необходимо разработать конструкцию фильтрующих элементов из оптических волокон, которая позволяла бы осуществлять их эффективную промывку. Необходима также новая технология производства экономичных оптических волокон бокового свечения с существенно улучшенными свойствами светорассеивания. Понадобятся и светодиоды с особыми специфическими свойствами.

Литература

1. *Золотухин И.А., Опарина С.С.* Оптический кабель как носитель биомассы и источник света в лабораторном микроводорослевом биофилтре // Технологии техносферной безопасности. Вып. № 3 (55), 2014. <http://ipb.mos.ru/ttb>.

2. *Интернет-ресурсы* <http://www.aaa.ru>, <http://www.aswaro.ru>, <http://www.aswaroshop.ru>.

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