

**ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНКУБАЦИИ ИКРЫ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ И
СТЕРЛЯДИ В РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

*М.С. Лиман, Н.В. Барулин, В.Ю. Плавский**

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, ул. Мичурина 5, 213407, Могилевская область, Беларусь,
barulin@list.ru*

**ГНУ «Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси».
г. Минск, пр-т Независимости, 68, Беларусь*

**LASER-OPTICAL DEVICES FOR INCREASE THE EFFICIENCY OF THE
EGGS INCUBATION OF RAINBOW TROUT AND STERLET IN FISH
INDUSTRIAL COMPLEXES**

*M.S. Liman, N.V. Barulin, V.Y. Plavskii**

*Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Michurina 5, 213407, Mogilev
region, Belarus barulin@list.ru*

**B.I.Stepanov Institute of Physics, Minsk, Belarus*

Резюме. На основании многолетних фундаментальных и прикладных исследований по изучению влияния низкоинтенсивного оптического излучения на рыбоводно-биологические и хозяйственно-полезные качества посадочного материала осетровых и лососевых рыб создан типоряд лазерно-оптических приборов на основе полупроводниковых лазеров и светодиодов, позволяющих осуществлять воздействие низкоинтенсивным излучением на икру в условиях промышленного производства. Показано, что использование разработанной технологической аппаратуры позволяет обеспечить повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания ценных видов рыб за счет увеличения выживаемости эмбрионов и личинок, стимуляции размерно-весовых показателей молоди рыб, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации.

Ключевые слова: лазерно-оптическое излучение, аквакультура, инкубационный цех, икра, радужная форель, стерлядь, осетровые, лососевые.

Abstract. On the basis of long-term basic and applied research on the effect of low-intensity optical radiation on biological and economically parameters of sturgeon and salmon aquaculture created series laser-optical devices based on semiconductor lasers and LEDs, allowing for the impact of low-intensity radiation on larvae in conditions of fish farms. It is shown that the use of the laser-optical devices allows increasing the efficiency of artificial reproduction and cultivation of fish species by

increasing the survival rate of embryos and larvae, stimulate size and weight parameters of juvenile fish.

Keywords: laser and optical radiation, aquaculture, hatchery, eggs, rainbow trout, sterlet, sturgeon, salmon.

Введение

Воспроизводство ценных видов рыб – это сложный технологический процесс, включающий в себя работу с производителями, получение посадочного материала, формирование ремонтного и маточного стада. В этой технологической цепочке наиболее слабым и уязвимым звеном является получение посадочного материала из-за высокой чувствительности эмбрионов к индустриальным условиям выращивания [1].

В настоящее время в Беларуси активно развивается аквакультура рыбоводных индустриальных комплексов, работающих по технологии установок замкнутого водоснабжения (УЗВ). Так, только за последние годы в стране реализовано 13 проектов, направленных на создание УЗВ по выращиванию осетровых, лососевых, клариевых, угревых рыб [2]. УЗВ позволяют повысить уровень интенсификации технологии воспроизводства большинства объектов аквакультуры.

С целью решения задачи по разработке новой эффективной технологии выращивания жизнестойкого посадочного материала ценных видов, в рыбоводных индустриальных комплексах нами в результате многолетних фундаментальных и прикладных исследований научно обоснованы подходы, обеспечивающие реализацию стимулирующего действия низкоинтенсивного оптического излучения на рыбоводно-биологические и хозяйственно-полезные качества посадочного материала осетровых и лососевых рыб за счет воздействия оптического излучения на эмбрионы (оплодотворенную икру) и сперму рыб [3-6]. Показано, что величина эффекта сильно зависит от поляризации излучения и практически не зависит от степени его монохроматичности, что свидетельствует о возможности использования в технологии искусственного воспроизводства и выращивания ценных видов рыб воздействия на икру излучением как полупроводниковых лазеров, так и

светодиодных источников, после предварительной поляризации излучения последних.

Проведенные исследования послужили основой для создания типоряда лазерно-оптических приборов на основе полупроводниковых лазеров и светодиодов для облучения икры ценных видов рыб, инкубирующейся в неподвижном положении, и в аппаратах Вейса.

Развитие технологии форелеводства и осетроводства является актуальным для Беларуси. В технологической цепочке выращивания товарной рыбы наиболее ответственным является этап получения рыбопосадочного материала. Индустриальные методы выращивания, интенсификация производства и искусственные условия являются сильнейшими стрессовыми факторами для эмбрионального развития, приводя к снижению основных физиологических показателей, выживаемости и жизнестойкости на протяжении всей жизни рыбы, в т.ч. к появлению морфологических аномалий [7].

Поэтому, в период эмбрионального развития в условиях индустриальной аквакультуры, необходимо осуществлять коррекцию развития, с использованием различных факторов воздействия на организм.

Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение, которое с успехом используется в медицине для лечения, коррекции и терапии в различных направлениях. Как показали наши многолетние исследования, лазерное излучение, а также излучение сверхярких светодиодов оказывает стимулирующее воздействие на осетровых рыб и их половые продукты (икру и сперму), а также на развитие жаброногих рачков [8,9]. Однако, наши исследования основывались на однократном воздействии оптического излучения на биообъекты, т.к. кратность воздействия лимитировалась технологией культивирования биообъекта. Открытым остается вопрос о наиболее благоприятных режимах периодичности (кратности) воздействия оптического излучения на объекты аквакультуры, технология культивирования которых это позволяет.

Цель наших исследований заключалась в изучении влияния разработанных лазерно-оптических приборов на эмбриональное и постэмбриональное развитие радужной форели и стерляди.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнялись в 2012 – 2016 годах на рыбноводном индустриальном комплексе УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Горки, Могилевская обл.), а также в осетровом хозяйстве фермерского хозяйства «Василек» (Дзержинский р-н, Минская обл.). Данные хозяйства работают по технологии УЗВ. Объектом исследований являлись эмбрионы, предличинки и личинки радужной форели и стерляди. Оплодотворенную икру рыб (осетровых и лососевых) получали заводским методом воспроизводства с искусственным регулированием условий выращивания. Полученную икру помещали в инкубационные аппараты Вейса или в инкубаторы лоткового типа, в зависимости от используемой технологии, и подвергали световому воздействию с использованием разработанных лазерно-оптических приборов (опытная группа) или не подвергали такому воздействию (контрольная группа). Внешний вид технологических установок для светового воздействия на икру в инкубаторе лоткового типа и в инкубационном аппарате Вейса представлен на рисунках 1 и 2.

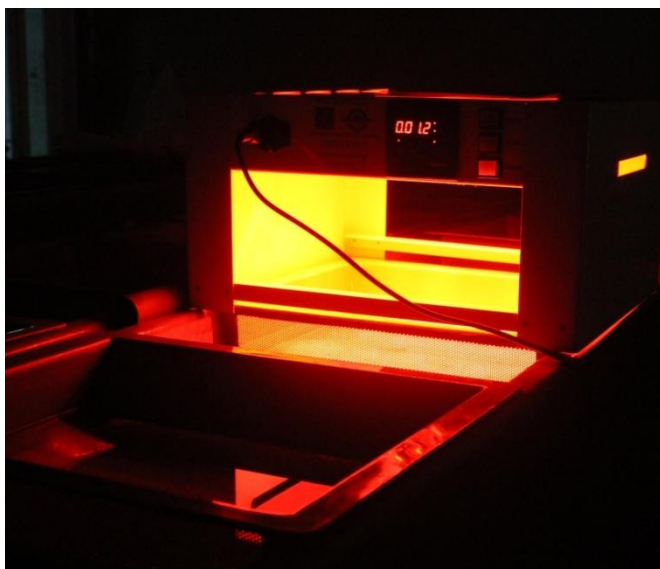


Рисунок 1. – Внешний вид лазерно-оптического прибора «Стронга»



Рисунок 2. – Внешний вид лазерно-оптического прибора «Sturgeon»

Инкубирование эмбрионов, выдерживание предличинок и личинок форели осуществлялось в чашках Петри (диаметр 8,5 см) при температуре + 5 °С. Температура была одинаковой для всех исследуемых групп. Высота слоя воды в чашке Петри была 5 см. Ежедневно в чашках Петри менялась вода, которая бралась из артезианской скважины, предварительно подвергаясь оксигенация и ультрафиолетовой дезинфекции. Дополнительные аэрация, оксигенация и кормление в период инкубации икры и выдерживания личинок в чашках Петри не проводилась. В течение эксперимента осуществлялась регистрация таких параметров как: выживаемость эмбрионов, предличинок и личинок, начало единичного и массового выклева предличинок, синхронизация выклева предличинок, длина предличинок и личинок и их относительный и абсолютный приросты, размеры желточного мешка и скорость его утилизации, продолжительность выживания личинок в условиях *in vitro*. Все эксперименты были проведены в трехкратной повторности.

Фиксирование показателей осуществлялось ежедневно при помощи цифровой камеры Cyber - Shot DSC-P200 с последующей обработкой результатов при помощи программы ImageJ.

Для статистической обработки полученных результатов использовали программную среду R, включая пакеты R Commander, PMCMR, MASS, corrplot и др. Для определения уровня статистической достоверности использовали параметрические тесты: тест Стьюдента (только для двух исследуемых групп) и тест Тьюки (для трех и более исследуемых групп). Параметрические тесты использовали при условии соблюдения нормальности распределения данных (квантильный график, тест Шапиро-Уилка) и однородности групповых дисперсий (тест Ливина). При несоблюдении указанных условий использовали непараметрические тесты: U-критерий Манна-Уитни (для двух исследуемых групп) и тест Ньюмена (для трех и более исследуемых групп).

Результаты исследований и их обсуждение

Лазерно-оптический прибор для инкубации икры, включает открытую сверху, прозрачную герметичную емкость, выполненную в форме перевернутой

бутылки без дна, с нижним патрубком для подачи воды и патрубком в виде сливного носика для ее сброса, расположенным вблизи верхней кромки емкости, над открытой герметичной емкостью расположен модуль оптического излучения, обращенный излучающей частью к воде, заполняющую емкость, таким образом, что диаграмма направленности излучения перпендикулярна плоскости поверхности воды, и электрически связанный с модулем питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью. Модуль оптического излучения механически связан с герметичной емкостью.

Модуль оптического излучения выполнен на базе полупроводникового лазера с оптическим преобразователем пучка лазерного излучения, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости, а также на базе матрицы полупроводниковых лазеров с оптическими преобразователями пучка лазерного излучения, формирующими на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру. Конструктивно светодиодный источник оптического модуля обеспечивает получение поляризованного излучения. Прозрачная герметичная емкость заполняется водой с помощью нижнего патрубка. Сброс воды из емкости осуществляется через сливной носик, расположенный вблизи верхней кромки емкости. Над открытой герметичной емкостью располагается модуль оптического излучения на базе полупроводниковых лазеров и/или светодиодных источников для воздействия на икру и личинок рыб, электрически связанный с модулем питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью. В герметичную емкость загружается икра рыб. Расход подаваемой воды и её качество зависят от рыбоводно-технологических параметров, предъявляемых в конкретному виду рыб. За счет того, что икра тяжелее воды, нормативный поток воды создает благоприятные условия для водо- газообмена, но не допускает выброс икры за пределы емкости. Модуль оптического излучения может быть как механически связан с корпусом герметичной емкости, так и выполнен отдельно от него. В первом случае модуль оптического излучения

механически фиксируют к корпусу герметичной емкости; во втором случае – модуль оптического излучения фиксируют в специальном держателе. При фиксации модуля оптического излучения к корпусу герметичной емкости обеспечивается неизменность условий воздействия излучения на икру и личинок рыб в процессе фотовоздействия. Во втором случае, когда модуль оптического излучения механически не связан с герметичной емкостью, легко реализуется поочередное воздействие оптическим излучением на икру и личинок рыб в различных герметичных емкостях путем перемещения модуля оптического излучения от одной емкости к другой.

Конструктивно лазерно-оптический прибор для инкубации икры и, в частности, модуль оптического излучения выполняют в различных вариантах:

а) модуль оптического излучения выполнен на базе полупроводникового лазера с оптическим преобразователем пучка лазерного излучения, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. В этом случае излучатель полупроводникового лазера с оптическим преобразователем пучка лазерного излучения располагают вдоль оси симметрии герметичной емкости на таком расстоянии от поверхности воды, чтобы размер светового пятна на поверхности воды соответствовал внутреннему диаметру герметичной емкости. При этом расстояние от поверхности излучателя до поверхности воды определяется расходимостью излучения. Поскольку излучение полупроводникового лазера является поляризованным, то такое воздействие на биообъекты при соответствующем выборе параметров оптического излучения обеспечивает стимулирующее влияние на эмбриональное и постэмбриональное развитие особей;

б) Следующий вариант исполнения модуля оптического излучения основан на использовании матрицы одинаковых полупроводниковых лазеров (лазеров одной длины волны), которая может быть сформирована отдельно расположенными лазерными излучателями, каждый из которых содержит оптические преобразователи пучка лазерного излучения, формирующие на

поверхности воды перекрывающиеся световые пятна. При этом суммарное световое пятно, сформированное матрицей полупроводниковых лазеров с оптическими преобразователями пучка, соответствует внутреннему диаметру герметичной емкости. Наряду с этим матрица лазерных излучателей может быть выполнена путем объединения в единый излучатель отдельных лазерных диодов или их линеек с общим для целой матрицы оптическими преобразователями пучка, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости;

в) Следующий вариант исполнения модуля оптического излучения основан на использовании матрицы полупроводниковых лазеров различных длин волн с оптическими преобразователями пучка лазерного излучения, формирующими на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости, при этом модуль питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью обеспечивает комбинированное последовательное воздействие излучением различных длин волн и регулирование длительности паузы между воздействиями. Данный вариант исполнения установки для инкубации икры обеспечивает возможность комбинированного воздействия на гидробионты лазерным излучением различного спектрального диапазона, что значительно усиливает стимулирующее действие физического фактора;

г) Следующий вариант исполнения лазерно-оптического прибора для инкубации икры основан на использовании в модуле оптического излучения светодиодного источника, который совместно с оптическим преобразователем пучка излучения формирует на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. В этом случае светодиодный излучатель с оптическим преобразователем пучка оптического излучения располагают вдоль оси симметрии герметичной емкости на таком расстоянии от поверхности воды, чтобы размер светового пятна на поверхности воды соответствовал внутреннему диаметру герметичной емкости. При этом

расстояние от поверхности светодиодного излучателя до поверхности воды определяется расходимостью излучения;

д) Для повышения интенсивности светового воздействия на гидробионты модуль оптического излучения одного спектрального диапазона выполняют на базе матрицы светодиодных источников с оптическими преобразователями пучка излучения, формирующими на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. Матрица светодиодных источников может быть сформирована отдельно расположенными светодиодными излучателями, каждый из которых содержит оптические преобразователи пучка оптического излучения, формирующие на поверхности воды перекрывающиеся световые пятна. При этом суммарное световое пятно, сформированное матрицей светодиодных излучателей с оптическими преобразователями пучка, соответствует внутреннему диаметру герметичной емкости. Наряду с этим матрица светодиодных излучателей может быть выполнена путем объединения в единый излучатель отдельных светодиодов или их линеек с общим для целой матрицы оптическими преобразователями пучка, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру емкости;

е) Следующий вариант исполнения модуля оптического излучения основан на использовании матрицы светодиодных излучателей различного спектрального диапазона формирующими совместно с оптическими преобразователями пучка излучения, на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. При этом модуль питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью обеспечивает комбинированное последовательное воздействие излучением различного спектрального диапазона и регулирование длительности паузы между воздействиями. Данный вариант исполнения установки для инкубации икры обеспечивает возможность комбинированного воздействия на гидробионты оптическим излучением различного спектрального

диапазона, что значительно усиливает стимулирующее действие физического фактора.

Поскольку, как правило, излучение светодиодных источников является неполяризованным, а биологическое действие оптического излучения зависит от степени его поляризации, то следующий вариант исполнения лазерно-оптического прибора для инкубации икры предполагает расположение на выходе светодиодного источника или на выходе оптического преобразователя пучка оптического излучения поляризационной пленки таким образом, чтобы плоскость поляризационной пленки была перпендикулярна диаграмме направленности излучения светодиодного источника. Это позволяет обеспечить воздействие на гидробионты линейно поляризованным излучением.

Поскольку использование поляризационной пленки повышает регуляторное действие оптического излучения, то данный вариант исполнения лазерно-оптического прибора для инкубации икры на базе светодиодных излучателей представляется наиболее целесообразным. Однако в этом случае более половины мощности излучения светодиодных источников поглощается самой пленкой, что приводит к дополнительным энергозатратам. По этой причине один из вариантов исполнения установки для инкубации икры предполагает, что конструктивно светодиодный источник оптического модуля обеспечивает получение поляризованного излучения без использования поляризационной пленки. Светодиодные устройства для получения поляризованного излучения активно разрабатываются в последние годы.

Воздействие излучением полупроводниковых лазеров или излучением светодиодных источников осуществляли на определенных стадиях онтогенеза, в рекомендуемых дозировках, в зависимости от конкретного вида рыб.

В таблице 1 приведены значения выхода 1-дневных личинок из оплодотворенной икры стерляди для контрольной и опытной группы.

Таблица 1. – Выживаемость 1-дневных личинок из оплодотворенной икры стерляди под воздействием поляризованного излучения лазерно-оптического прибора «Sturgeon» (n = 100)

Группы	Процент выживших личинок на стадии выклева	Достоверность отличий от контроля
Контрольная	69±2,7	-
Опытная	85,4±4,3	P< 0,001

Из представленных данных следует, что воздействие на икру стерляди поляризованным излучением приводит с высокой степенью достоверности к повышению (по сравнению с контрольной группой) выхода личинок из оплодотворенной икры.

Стимулирующее действие излучения не только сказывается на выходе 1-дневных личинок из оплодотворенной икры, но и приводит к увеличению в 1,3–1,4 раза (по сравнению с контрольной группой) размерно-весовых показателей молоди стерляди, полученных из облученной икры. В таблице 2 приведены размерно-весовые показатели 50-ти дневной молоди стерляди для контрольной и опытной групп.

Таблица 2. – Размерно-весовые показатели 50-ти дневной молоди стерляди под воздействием лазерно-оптического прибора «Sturgeon» (n = 100)

Группы	Средняя масса, M, мг	Величина стимулирующего действия, γ_m %	Средняя длина, L, мм	Величина стимулирующего действия, γ_d %
Контрольная	530,3±8,2	100	44,0±0,9	100
Опытная	735,6±10,0	138,7±7,7*	58,5±0,8	132,9±0,6*

Достоверность отличий от контроля - p < 0,05*

Видно, что, инкубация оплодотворенной икры стерляди в разработанной технологической установке при периодическом воздействии оптическим излучением приводит к достоверному увеличению размерно-весовых показателей молоди рыб.

В результате проведенных исследований было установлено, что разработанный нами оптический прибор «Стронга» способен оказывать

стимулирующее воздействие на эмбриональное развитие радужной форели. При этом стимулирующий эффект зависит как от времени экспозиции, так и от периодичности воздействия.

При однократном воздействии оптического излучения на эмбрионы радужной форели время начала первого выклева и массовый выклев достоверно не отличались от контрольных значений, однако, средняя выживаемость личинок и продолжительность выживания личинок в условиях *in vitro* превысили контрольные значения на 28,1 п.п. и 4,3 %, соответственно. Максимальный стимулирующий эффект наблюдался в группе личинок, которых эмбрионами подвергали однократному воздействию в течении 1 мин.

При трехкратном воздействии оптического излучения на эмбрионы радужной форели наблюдалось увеличение времени начала первого выклева и массового выклева предличинок, периода продолжительно-сти максимальной выживаемости и периода продолжительности вы-живания личинок в условиях *in vitro* на 22,0 %, 20,6 %, 15,5 % и 16,0 %, соответственно. Максимальный стимулирующий эффект наблю-дался в группе личинок, которых эмбрионами подвергали трехкратно-му воздействию в течении 20 мин.

При четырехкратном воздействии оптического излучения на эмбрио-ны радужной форели наблюдалось увеличение средней выживаемости личинок, времени начала первого выклева и массового выклева пред-личинок, периода продолжительности максимальной выживаемости и периода продолжительности выживания личинок в условиях *in vitro* на 7,4 п.п., 5,6 %, 18,0 %, 9,7 % и 14,7 %, соответственно. Максимальный стимулирующий эффект наблюдался в группе личинок, которых эмбрионами подвергали четырехкратному воздействию в течении 10 мин.

При пятикратном воздействии оптического излучения на эмбрионы радужной форели наблюдалось увеличение средней выживаемости личинок, времени начала первого выклева и массового выклева предличинок, периода продолжительности максимальной выживаемости и периода продолжительности выживания личинок в условиях *in vitro* на 3,7 п.п., 19,7 %, 13,2 %, 10,7 % и 10,7 %, соответственно. Максимальный стимулирующий эффект наблюдался в группе личинок, которых эмбрионами подвергали пятикратному воздействию в течении 5 мин.

13,0 %, 33,9 % и 12,6 %, соответственно. Максимальный стимулирующий эффект наблюдался в группе личинок, которых эмбрионами подвергали пятикратному воздействию в течении 10 мин.

Заключение

Таким образом, разработанные нами лазерно-оптические приборы «Стронга» и «Sturgeon» для периодического светового воздействия на икру рыб в инкубаторе лоткового типа и в инкубационном аппарате Вейса обеспечивают повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания осетровых и лососевых рыб за счет увеличения выживаемости эмбрионов и личинок, стимуляции размерно-весовых показателей молоди рыб, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации. *Исследования выполнены при финансовой поддержке инновационного фонда Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.*

Список использованных источников

1. Barulin, N.V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt 1869 females and two hybrids (bester = female *Huso huso* Linnaeus, 1758 x male *Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758, and RsSs = *A. gueldenstaedtii* Brandt 1833 x *A. baerii* Brandt 1869) to hormonal stimulation for spawning induction/ N.V. Barulin.- Journal of Applied Ichthyology. - 2015 - Volume 31. – P. 2-6.
2. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук – Минск. – 2015. - № 3. – С. 107 – 111.
3. Plavskii, V. Yu. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on fish embryos. / V. Yu.Plavskii, N. V. Barulin.- J. Appl. Spectrosc. 2008. Vol. 75, No 6. P. 843–856.

4. Плавский, В.Ю. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб / В.Ю. Плавский, Н.В. Барулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2008 – Т. 75, 2 – С. 233 – 241.
5. Плавский, В.Ю. Фотофизические процессы, определяющие биологическую активность оптического излучения низкой интенсивности / В.Ю. Плавский, Н.В. Барулин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. - №6. – С. 23 – 40.
6. Plavskii, V. Yu. How the biological activity of low-intensity laser radiation depends on its modulation frequency. / V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin.- J. Opt. Technol. 2008. Vol. 75, No 9. P. 546–552.
7. Портная, Т. В. Характер эмбрионального и постэмбрионального развития радужной форели при доинкубации икры в условиях неблагоприятного повышения температуры воды / Т. В. Портная, А. И. Портной, А. А. Сопот // Животноводство и ветеринарная медицина. - 2015. - № 2(17). - С. 26-33.
8. Барулин, Н. В. Жаброногий рачок *Artemia salina* L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, В. А. Орлович // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск. - 2012. - № 28. - С. 42 - 49.
9. Плавский, В. Ю. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск. – 2009. -№ 25. - С. 56 - 63.