

**КРУТИК СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ**

**Особенности роста, развития и резистентности  
гидробионтов под воздействием низкоинтенсивного  
когерентного инфракрасного излучения**

Специальность 03.00.18 – Гидробиология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук



Москва, 2006

Работа выполнена в Московском государственном университете технологий и управления (МГУТУ)

Научный руководитель:

кандидат биологических наук,  
Фельдман Марк Геннадьевич

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор  
Московского Государственного  
Университета им. М.В. Ломоносова  
Филенко Олег Федорович

Кандидат биологических наук,  
с.н.с Межведомственной  
ихтиологической комиссии  
Ананьев Валентин Илларионович

Ведущая организация - Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

Защита состоится "29" авг 2006 г. в "12" часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.122.06 при Московском государственном  
университете технологий и управления по адресу: 117149, г. Москва ул.  
Болотниковская, дом 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского  
государственного университета технологий и управления.

Автореферат разослан "29" авг 2006 г

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор биологических наук, доцент



Никифоров-Никишин А.Л.

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** В настоящее время в связи с широким применением низкоинтенсивных лазеров в медицине и ветеринарии остро стоит проблема определения оптимальных параметров излучения.

Частота импульса, при импульсном воздействии, является наиболее слабо изученным параметром. В связи с чем представляет интерес исследование биологического действия различных частот импульса при различных экспозиционных дозах.

При искусственном воспроизводстве гидробионтов разрабатываются различные методы интенсификации производства. Однако в этих условиях возрастают экстремальные воздействия на культивируемые организмы, так как по мере повышения продуктивности уменьшается их резистентность к неблагоприятным факторам внешней среды. В таких условиях, облучение низкоинтенсивными лазерами может способствовать решению этой проблемы.

**Целью данного исследования** — являлось выявление эффективности воздействия низкоинтенсивным импульсным лазерным излучением (НИЛИ) на динамику численности и выживаемость гидробионтов в зависимости от экспозиционной дозы и частоты импульсов, а так же на их резистентность к неблагоприятным факторами внешней среды.

Для выполнения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить закономерности динамики численности ряски малой *Lemna minor* при воздействии низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения с вариациями экспозиционной дозы и частоты импульсов.
2. Изучить влияние низкоинтенсивного инфракрасного лазера на динамику смертности ряски малой *Lemna minor* находящейся под воздействием токсиканта.
3. Изучить закономерности воздействия низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения с вариациями экспозиционной дозы и частоты импульсов на выживаемость эмбрионов тетры-плотвички *Hemigrammus caudovittatus*.
4. Изучить влияние низкоинтенсивного инфракрасного лазера на регенерацию вкусовых усиков мешкожаберных сомов *Heteropneustes fossilis*.
5. Провести анализ результатов исследований, построить модель, описывающую полученные зависимости.

**Научная новизна.** Разработана модель, описывающая действие НИЛИ с учетом двух факторов экспозиционной дозы и частоты импульсов. Показано, что НИЛИ способно снимать стимуляцию регенерации, вызванную токсичным веществом (нитратом свинца).

**Практическое значение.** Предлагается новый способ интенсификации воспроизводства гидробионтов за счет использования низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения. Применение низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения при инкубировании икры, способствует ее выживаемости, и дает дополнительную возможность увеличения производительности инкубационных цехов рыбзаводов. Облучение гидробионтов в низкоинтенсивными лазерами повышает их сопротивляемость к токсикантам. Полученные данные могут также учитываться в медицине и ветеринарии при подборе оптимальных параметров воздействия НИЛИ.

**Апробация.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на IX Международной научно-практической конференции «Стратегия развития пищевой промышленности» (Москва, 2003), а также на расширенных коллоквиумах кафедры биоэкологии и ихтиологии МГУТУ (2003-2006); опубликованы: в «Сб. трудов молодых ученых МГУТУ», (Москва, 2005), «Объединенном научном журнале», (Москва, 2006), «Рыбное хозяйство» (Москва, 2006).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 6 работ.

**Объем и структура работы.** Диссертация изложена на 110 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4-х глав, заключения, выводов, списка литературы. Список литературы включает 168 наименования, из которых 64 иностранных. Работа иллюстрирована 17 рисунками и 10 таблицами.

## **Содержание работы**

### **Глава 1. Обзор литературы**

В настоящее время существует обширное количество литературы, в которой изложены различные аспекты механизмов воздействия лазерного излучения на биологические объекты (Рубин и др., 1971; Belkin et al., 1988; Berns et al., 1988;

Basford, 1989; Karu, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991a, 1991b, 1992, 1996a, 1996b; Smith, 1991; Мантейфель и др., 1996; Бахрамов, 1999).

В литературе показано, что низкоинтенсивное лазерное излучение ультрафиолетового, видимого и инфракрасных спектров обладает выраженным терапевтическим эффектом.

Однако, одной из основных проблем в понимании действия низкоинтенсивного лазерного излучения является определение акцепторов лазерного излучения. На сегодняшний день общей теории, всесторонне описывающей биологическое действие низкоинтенсивного лазерного излучения не существует.

При анализе литературы можно выделить два типа гипотез:

- 1) Гипотезы о специфическом действии НИЛИ (Itzkan 1988; Горбатенюва и др., 1989; Karu, 1989; Жуманкулов, 1989; Владимиров и др 1994; Schaffer et al., 1997; Haas et al., 1998; Karu, 1999; Кару, 2001; Filippin L. et al., 2003).
- 2) Гипотезы о неспецифическом действии НИЛИ (Лисиенко и др., 1989, Рубин 1987; Загускин и др., 2005; Захаров и др., 1989).

Первые увязывают действие НИЛИ и других лазеров с наличием специфического акцептора и производными от него фотохимическими реакциями. Вторые – специфического акцептора не выделяют, а объясняют действие НИЛИ сложным синергетическим эффектом от множества акцепторов, либо вообще не касаются первичного взаимодействия лазера с веществом.

К достоинствам первых можно отнести более высокую верифицируемость. К недостаткам сильную односторонность, поскольку конечный эффект НИЛИ является комплексным, и проявляющимся на всех уровнях организации от клеточного до организменного и на организмах разного систематического уровня. Акцептора, объясняющего весь комплекс конечного биологического действия НИЛИ найти не удалось. Хотя отдельные аспекты биологического действия НИЛИ хорошо объясняются тем или иным хромофором.

Вторые же базируются на исследованиях где организмы (и соответственно детальный механизм действия НИЛИ) на них представляется в виде черного ящика. Зато конечный эффект исследуется комплексно (т.е. НИЛИ изучается как абиотический аутоэкологический фактор) Наше исследование относится именно к этому типу.

## **Глава 2. Материал и методика**

В качестве источника низкоинтенсивного инфракрасного лазерного

излучения и использовался аппарат Мустанг-2000 и излучатель ЛО-2.

Энергия фотонов лазерного излучения аппарата Мустанг-2000 менее 1,5 эВ и она слишком мала для того, чтобы вызвать ионизацию (диссоциацию) органических молекул, нарушить естественные процессы, разорвать биополимерные связи.

Глубину проникновения в ткани определяют параметры аппарата, в частности, длина волны импульсного лазера 890 нм. В диапазоне, соответствующем ближнему инфракрасному излучению (740-3000 нм), биологические ткани оптически прозрачны (Евстигнеев, 1987), что неоднократно подтверждено в работах отечественных и зарубежных ученых.

Экспозиционная доза определяется выбором частоты повторения лазерных импульсов, а также временем воздействия.

Мощность импульса лазерного излучения аппарата составляет не менее 4 Вт (при постоянном, не импульсном излучении такой мощности речь шла бы о высокоэнергетическом воздействии). Продолжительность каждого отдельного импульса составляет приблизительно 100 наносекунд. Объекты исследования и распределение материала представлены в таблице 1.

Таблица. 1

Объекты исследования и распределение материала.

| Объекты исследований                                |                        | Кол-во особей | Виды исследований |                 |                                 |
|-----------------------------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|
|                                                     |                        |               | Воздействие НИЛИ  | НИЛИ+токсиканты | Методы                          |
| Ряска малая<br><i>Lemna minor</i>                   | динамика численности   | 1640*         | +                 | +               | статистические, морфологические |
| Тетра-плотвичка<br><i>Hemigrammus Caudovittatus</i> | эмбрионы и предличинки | 480*          | +                 | -               | статистические, морфологические |
| Мешкожаберный сом<br><i>Heteropneustes fossilis</i> | вкусовые усики         | 12            | +                 | +               | статистические, морфологические |

\* на начало экспериментов

Для практического использования аппарата и подсчета параметров экспозиций имеют значение следующие величины:

$P_{имп}$  — мощность импульса, Вт.

Показывает мощность одного импульса.

$F$  — частота импульсов, Гц.

Показывает количество импульсов за одну секунду воздействия.

**I** – длительность импульса, с.

Показывает время действия одного импульса. На аппарате Мустанг-2000 оно является неизменяемым параметром, и во всех исследованиях составляло 100 наносекунд.

**T** – время экспозиции, с.

Показывает время одного сеанса облучения.

**P<sub>сред</sub>** – средняя мощность НИЛИ, Вт.  $P_{\text{сред}} = P_{\text{имп}} * F * I$

Показывает мощность НИЛИ. Может задаваться как частотой импульсов, так и мощностью импульса.

**D**-экспозиционная доза, Дж.  $D = P_{\text{сред}} * T$ ,  $D = P_{\text{имп}} * F * I * T$ .

Показывает количество энергии сгенерированной аппаратом за один сеанс облучения (экспозиции).

Одна и та же экспозиционная доза может задаваться как частотой импульсов, так и временем экспозиции, что может оказывать различный биологический эффект. Большинство экспозиционных доз задавались в наших исследованиях различным количеством частот импульса. Таким образом, каждый сеанс облучения характеризовался не только энергией воздействия, но и той частотой импульсов, на которой она достигалась. Общее число сеансов облучений (экспозиций) равно количеству опытных групп.

В таблице 2 показано изменение экспозиции в зависимости от экспозиционной дозы и частоты импульсов в опытных группах рыбки малой

Таблица 2

Изменение экспозиции в зависимости от экспозиционной дозы и частоты импульсов.

| Доза       | Частота импульса |         |         |        |        |        |         |         |         |         |
|------------|------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|            | 1 Гц             | 10 Гц   | 100 Гц  | 250 Гц | 500 Гц | 750 Гц | 1000 Гц | 1500 Гц | 2000 Гц | 3000 Гц |
| 0,00015 Дж | 1000 с           | 100 с   | 10 с    | 4 с    | 2 с    | -      | 1 с     | -       | -       | -       |
| 0,0015 Дж  | 10000 с          | 1000 с  | 100 с   | 40 с   | 20 с   | 13 с   | 10 с    | 6 с     | 5 с     | -       |
| 0,015 Дж   | -                | 10000 с | 1000 с  | 400 с  | 200 с  | 130 с  | 100 с   | 60 с    | 50 с    | 33      |
| 0,075 Дж   | -                | -       | 5000 с  | 2000 с | 1000 с | 650 с  | 500 с   | 300 с   | 250 с   | 165     |
| 0,15 Дж    | -                | -       | 10000 с | 4000 с | 2000 с | 1300 с | 1000 с  | 600 с   | 500 с   | 330     |

Для оценки воздействия низкоэнергетического инфракрасного излучения на динамику численности рыбки малой *Lemna minor* был выбран двухфакторный дисперсионный анализ, показывающий значимость таких факторов, как экспозиционная доза и частота импульсов. Длительность эксперимента

составила 12 дней. Подсчет количества листцов проводился на третий, седьмой и двенадцатый день эксперимента. В каждой чашки подсчитывалось общее количество листцов.

Объекты каждой опытной группы рыбки малой помещались в специальную колбу, плотно прикрепляющуюся и полностью накрывающуюся излучателем ЛО-2. Расстояние от объектов до излучающего светодиода составляло 2-3 мм. Объекты размещались по всей поверхности облучения относительно плотно, что позволяло свести к минимуму потери энергии.

Для изучения закономерностей динамики смертности рыбки малой, в качестве токсикантов были выбраны соли металлов. Все опытные группы облучались с частотой импульса 500 Гц. В качестве токсикантов были выбраны следующие соли металлов: купорос медный  $\text{CuSO}_4$ , кобальт хлористый  $\text{CoCl}_2$ , нитрат свинца  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .

В основном методика была идентичной случаю рыбки без токсикантов. В опытных группах подсчитывалось как общее количество листцов, так и количество выживших. Выжившими считались листцы, не имеющие обширных хлорозов и некрозов.

У тетры-плотвички *Hemigrammus Caudovittatus* эксперимент проводился по стандартной методике для эмбрионов и личинок рыб. При реализации этого метода после воздействия излучения контролировалось эмбриональное развитие рыб, выклев свободных эмбрионов (предличинок) и выживаемость предличинок после выклева.

Подопытные группы эмбрионов облучались однократно при следующих частотах импульса: 150 Гц, 300 Гц, 450 Гц, 600 Гц, 1200 Гц; и экспозиционных дозах: 0,006 Дж, 0,009 Дж, 0,0144 Дж. Таким образом, нами изучалось пятнадцать подопытных групп. Как контрольная, так и все опытные группы состояли из трех повторностей, по десять эмбрионов на повторность. В каждой группе подсчитывалось количество выживших свободных эмбрионов.

Для оценки воздействия низкоэнергетического инфракрасного излучения на выживаемость тетры-плотвичка был выбран двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями.

При исследовании влияния НИЛИ на регенерацию вкусовых усиков мешкожаберных сомов *Heteropneustes fossilis*, эксперимент состоял из трех опытных групп и одной контрольной, в каждой группе по три сома. Каждой особи, как в контрольной, так и в опытных группах, отсекалось по 50% каждого вкусового усика и производился их предварительный подсчет их длины.

Опытные группы состояли из особей находящихся под воздействием:



нитрата свинца в концентрации 1 мг/л, трехкратного облучения НИЛИ (300Гц, 5,4мДж), совместного воздействия НИЛИ и нитрата свинца. Подсчет результатов производился на 5-ый, 12-ый и 18-ый день эксперимента. Для оценки воздействия НИЛИ и нитрата свинца на регенерацию вкусовых усиков был выбран двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями.

При разработке модели, описывающей закономерности действия низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения с вариациями экспозиционной дозы и частоты импульсов проводился нелинейный регрессионный анализ.

### Глава 3. Результаты исследований

В ходе проведенных исследований влияния низкоинтенсивного инфракрасного лазера на динамику численности ряски малой были получены следующие результаты.

Исследования показали, что НИЛИ оказало стимулирующее действие на скорость роста и размножения ряски малой. Изменение численности показано на рисунках 1, 2, 3.

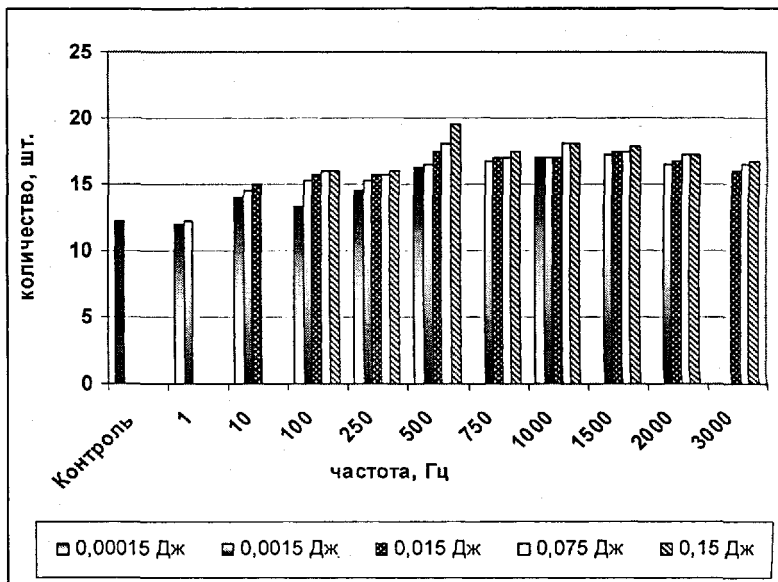


Рис. 1. Численность ряски на третий день.

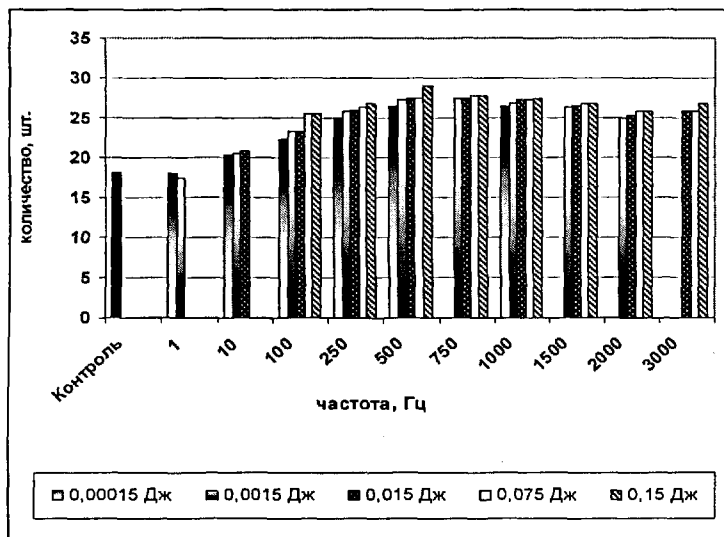


Рис. 2 Численность ряски на седьмой день.

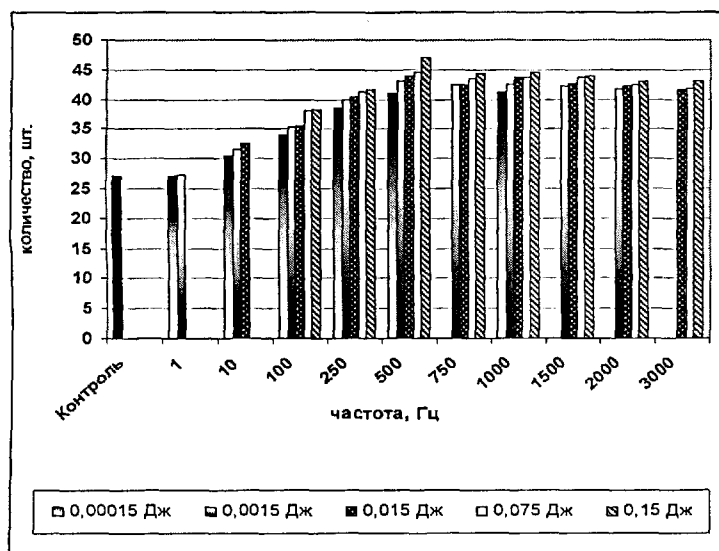


Рис. 3 Численность ряски на двенадцатый день.

Почти во всех опытных группах численность нарастала быстрее, чем в контрольной. Исключение составляют группы, облучавшиеся излучением с частотой импульса 1 Гц и дозами 0,00015 и 0,015 Дж

Статистическая обработка методом подсчета реализации репродуктивного потенциала выявила достоверные различия между облученными и контрольными растениями. На рисунке 4 представлены окончательные результаты статистической обработки – изменение времени удвоения численности  $Dt$  по отношению к контролю в группах с разными экспозиционными дозами облучения и в зависимости от частоты импульса и времени.

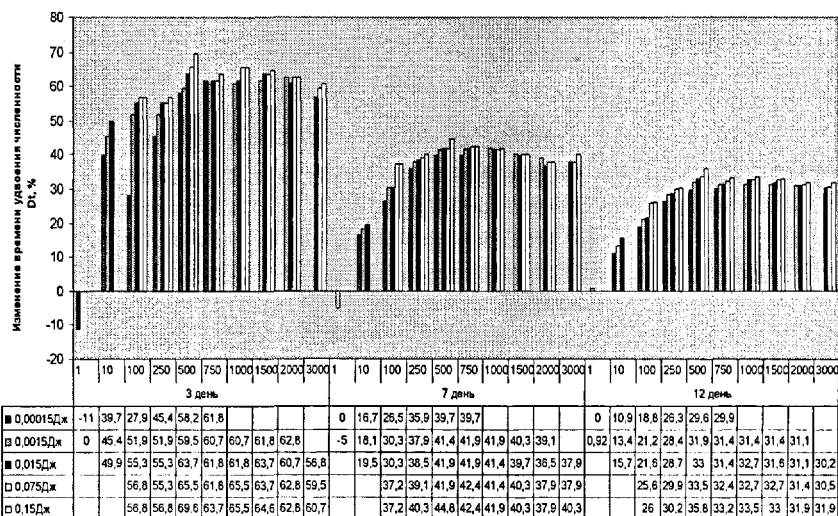


Рис. 4. Изменения времени удвоения численности ряски в опытных группах, по отношению к контрольной.

Видно, что стимулирующий эффект зависит не столько от экспозиционной дозы, сколько от частоты импульса, так например на седьмой день эксперимента в группах с одинаковой дозой воздействия 0,015 Дж, но с разной частотой импульса – 100 и 500 Гц, время удвоения численности различается в 12 %. Наибольший эффект на всех этапах наблюдения, а также при всех исследуемых экспозиционных дозах, отмечается при частоте импульса 400-500 Гц. При частоте импульса 1 Гц стимуляция не наблюдается, на промежутке от

10 до 500 Гц эффект стимулирования быстро нарастает. После 500 Гц эффект немного снижается (750 Гц), при 1000 Гц снова возрастает и при более высоких частотах медленно снижается

В связи с этим возникла необходимость проверки значимости таких факторов как частоты импульса и экспозиционной дозы излучения. Для этого мы использовали двухфакторный дисперсионный анализ. Результаты этого анализа (таблица 3) показывают высокую значимость обоих факторов,

Таблица 3

Проверки значимости частоты импульса и экспозиционной дозы излучения с помощью двухфакторного дисперсионного анализа\*.

| <i>Источник вариации</i> | <i>F</i> | <i>P-Значение</i> | <i>F критическое</i> |
|--------------------------|----------|-------------------|----------------------|
| <b>Двенадцатый день</b>  |          |                   |                      |
| Частота                  | 71,65    | 0,000             | 4,18                 |
| Доза                     | 16,78    | 0,000             | 5,94                 |
| Взаимодействие           | 0,80     | 0,698             | 2,74                 |
| <b>Седьмой день</b>      |          |                   |                      |
| Частота                  | 28,31    | 0,000             | 2,21                 |
| Доза                     | 7,16     | 0,000             | 2,71                 |
| Взаимодействие           | 0,98     | 0,486             | 1,73                 |
| <b>Третий день</b>       |          |                   |                      |
| Частота                  | 6,46     | 0,000             | 2,21                 |
| Доза                     | 2,19     | 0,096             | 2,71                 |
| Взаимодействие           | 0,85     | 0,638             | 1,73                 |

\* $\alpha=0,05$

Таким образом, частота импульса и экспозиционная доза излучения являются весьма значимыми факторами. Взаимодействие этих факторов не достоверно, хотя и вероятно.

Результаты исследований показали, что частота импульса низкоинтенсивного инфракрасного лазера имеет высокую значимость. При этом имеется максимум (около 400-500 Гц).

В ходе исследований по влиянию излучения на резистентность ряски к токсикантам выяснилось, что облученные группы живут несколько дольше контрольных. Результаты представлены на рисунках 5,6,7. Контрольными считались растения, не подвергавшиеся воздействию как токсикантов, так и излучения. Контролем 1 считалась группа, подвергавшаяся воздействию токсикантов без излучения. Опытные группы подвергались воздействию как токсикантов так и излучения.

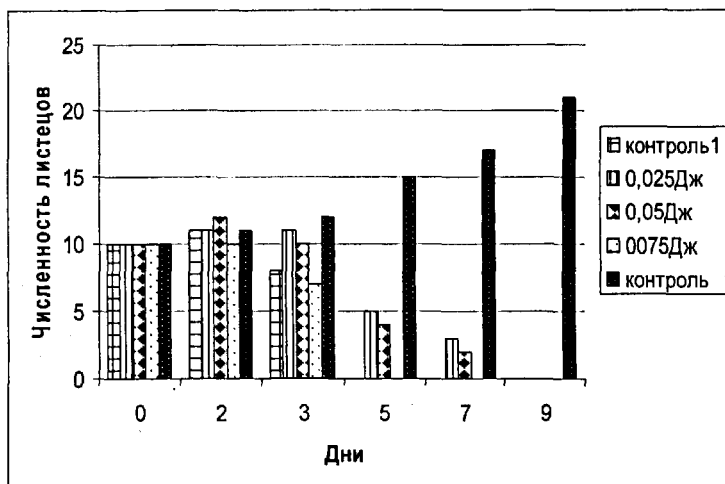


Рис. 5. Динамика численности ряски малой в присутствии хлористого кобальта в концентрации 2000 мг/л.

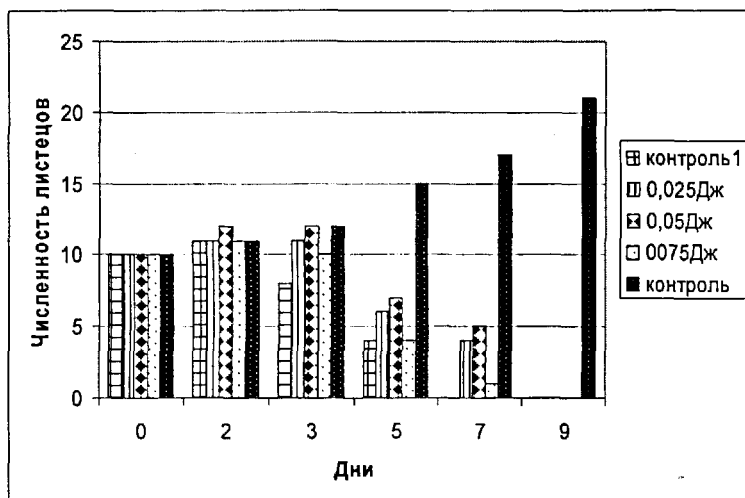


Рис. 6. Динамика численности ряски малой в присутствии нитрата свинца в концентрации 100 мг/л.

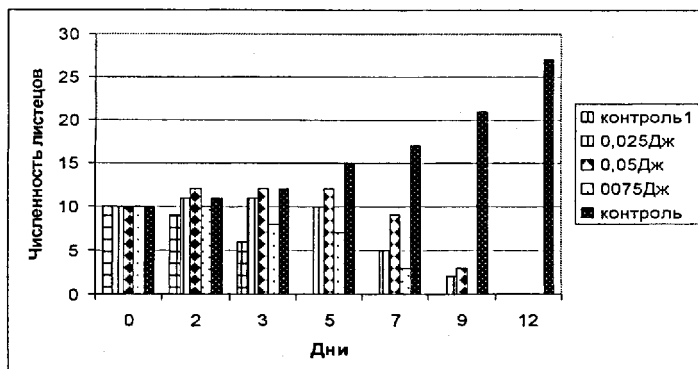


Рис. 7. Динамика численности рыбки малой в присутствии медного купороса концентрации 100 мг/л.

Как показано на рисунках, облученные группы живут в среднем дольше, это подтверждают и данные дисперсионного анализа.

Исследование развития икры тетры-плотвички при действии лазерного инфракрасного луча позволило установить следующие.

В ходе исследования выяснилось, что выклев эмбрионов в контрольной группе составил в среднем 70%, в опытных результат сильно разнился. Выклев эмбрионов по каждой из опытных групп представлен в процентах от посадки на рисунке 8.

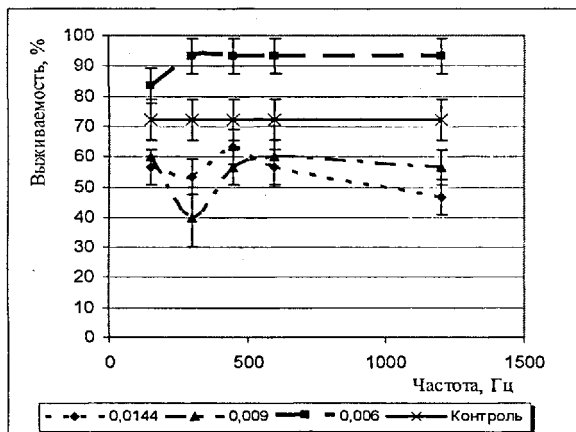


Рис. 8. Количество выживших эмбрионов в % от посадки.

Данные двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями показали достоверность расхождения математических ожиданий между группами выборок, что говорит о статистической значимости результатов воздействия НИЛИ для каждой пары частота импульсов/экспозиционная доза.

В ходе исследования влияния НИЛИ и нитрата свинца на регенерацию вкусовых усиков в мешкужаберных сомов, удалось установить следующие:

1) На 5-ый, 12-ый и 18-ый день эксперимента длина вкусовых усиков в группы сомов, находящихся под воздействием нитрата свинца, была длиннее контрольных соответственно на 20%, 16% и 14%. Достоверность разницы подтвердил дисперсионный анализ.

2) Различия между контролем, группой подвергшейся совместному воздействию НИЛИ и нитрата свинца, а также группой подвергшейся воздействию только НИЛИ. Статистически достоверных различий не обнаружено.

#### Глава 4. Обсуждение результатов

Результаты исследований показали, что частота импульса низкоинтенсивного инфракрасного лазера имеет высокую значимость. Так в экспериментах с рыской малой нами был обнаружен максимум (около 500 Гц). Мы предположили, что здесь имеет место явление резонанса. Резонанс наступает вследствие воздействия вынуждающей силы. При резонансе на определенной частоте амплитуда достигает максимума. Зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты (или амплитудно-частотная характеристика – АЧХ) описывается следующей закономерностью:

$$A = (F_0/m)/((\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2)^{1/2},$$

где:  $F_0$  – амплитуда вынуждающей силы,

$m$  – масса осциллятора,

$\omega_0$  – собственная частота колебаний осциллятора,

$\omega$  – частота вынуждающей силы,

$\beta$  – коэффициент затухания.

В нашем случае мы имеем зависимость прироста численности рыски ( $N/t$ ) от частоты импульса излучения. Такая зависимость аналогична первой производной АЧХ по времени и называется резонансом скорости. Резонанс скорости описывается следующим уравнением:

$$v_{\max} = (F_0 \cdot w/m) / ((\omega_0^2 - w^2)^2 + 4 \cdot b^2 \cdot w^2)^{1/2}$$

Также, согласно литературным данным (Москвин, 2003), частота импульсов несет в себе еще один фактор воздействия, а именно среднюю мощность зависимость эффекта который описывается S-образной логистической кривой.

Таким образом, для описания зависимости прироста листцов от экспозиционной дозы и частоты импульсов нами была предложена модель, являющаяся интегральной зависимостью резонанса скорости изменения амплитуды и S-образной логистической кривой – зависимости эффекта от средней мощности импульсного излучения. Получившаяся теоретическая кривая коррелирует с экспериментальной кривой (Рис. 9).

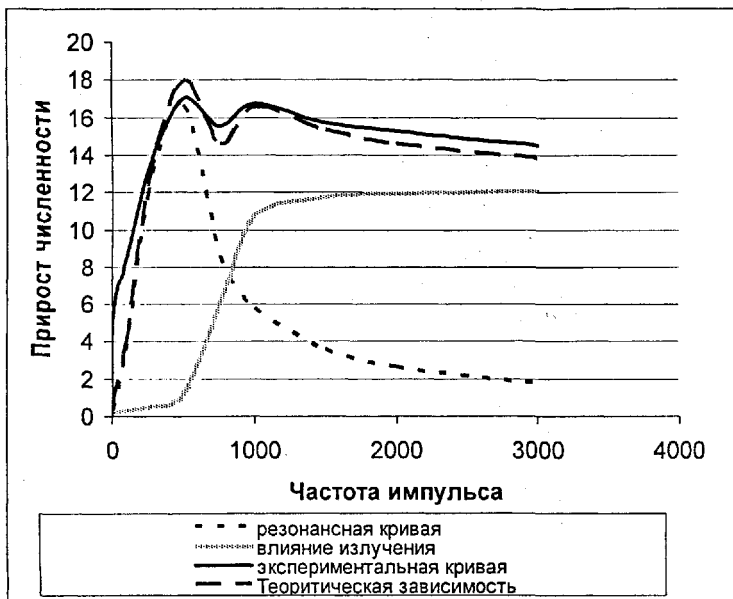


Рис. 9. Схема модели, описывающей зависимость прироста растений от двух факторов: частоты импульсного воздействия и энергии воздействия.

Для описания кривых зависимостей выживаемости эмбрионов от энергии воздействия и частоты импульсов нами была предложена модель, сходная с такой для ряски. Она являющаяся совокупностью зависимостей резонанса амплитуды (в этом ее отличие) и S-образной логистической кривой – зависимости эффекта от средней мощности импульсного излучения.



Кривые резонанса, S-образная и теоретическая для доз 0,006 Дж и 0,009 Дж, показаны на рисунках 10, 11.

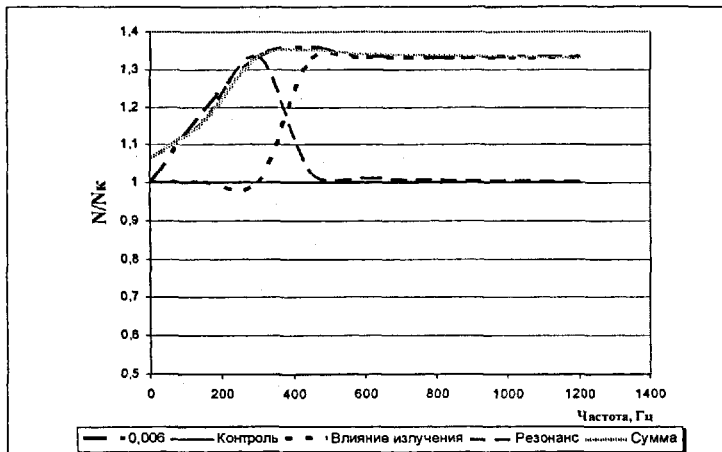


Рис. 10. Выживаемость эмбрионов в тетры-плотвички по отношению к контролю при экспозиционной дозе 0,006 Дж. Сумма квадратов отклонений по данным регрессионного анализа  $S=0,0052$ .

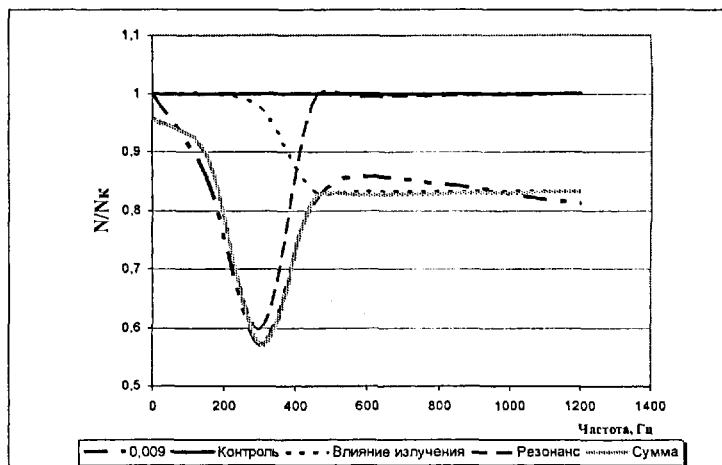


Рис. 11. Выживаемость эмбрионов в тетры-плотвички по отношению к контролю при экспозиционной дозе 0,009 Дж. Сумма квадратов отклонений по данным регрессионного анализа  $S=0,0049$ .

Эксперименты с совместным воздействием НИЛИ и токсикантов позволило установить, что НИЛИ является существенным фактором повышения резистентности организмов к токсикантам. Снятие эффекта стимуляции регенерации вкусовых усиков также можно отнести к повышению резистентности. Так как индуцированная токсикантами стимуляция может приводить к раку (Мэттсон, 1982).

Вопрос о частоте при импульсном режиме лазерного воздействия остается наиболее сложным. Его решение лежит пока в плоскости эмпирического поиска наиболее эффективных частот импульсного воздействия. Использование импульсного режима НИЛИ позволяет создать более эффективные и оптимальные условия для лазерного воздействия, по сравнению с непрерывным излучением, за счет высокой концентрации световой энергии в импульсе и возможности добиться хорошего терапевтического эффекта при меньших экспозиционных дозах и более кратко временным воздействием на организм.

Частотная характеристика НИЛИ важна по двум основным причинам. Во-первых, посредством подбора необходимой частоты можно регулировать величину средней выходной мощности лазерного излучения, а через нее и дозу воздействия. Во-вторых, частота излучения (особенно в области относительно небольших частот от 1 до 500 Гц) несет информационную компоненту, так как она может оказаться резонансной к частотам тех или иных изменений функциональной активности структур или процессов в организме (Москвин, 2003).

Излучение с частотой свыше 1000 Гц обычно рассматривается как квазинепрерывное, так как в этом диапазоне частот организм чувствителен только к энергетической составляющей лазерного воздействия (Козлов, 2001).

Другой автор (Загускин, 2005) также отмечает, что импульсный режим оказывается предпочтительнее воздействия с постоянной плотностью мощности, так как биосистемы реагируют на производную, а к постоянному уровню воздействия быстро адаптируются. Он объясняет это тем, что при импульсном режиме больше тепловая диссипация энергии в клетке и температурные градиенты в участках поглощения акцепторами лазерного излучения соответствующих длин волн и, следовательно, больше переход геля в золь и снижение концентрации кальция в цитозоле. Там же утверждается, что импульсный режим с частотой больше 1 кГц воспринимается клеткой как воздействие непрерывным лазером, различие эффектов разных частот воздействия меньше 1 кГц определяется различием средней плотности мощности.

Мы же, однако, считаем что, во-первых – различие эффектов разных частот воздействия определяется наличием резонанса биологической системы с воздействующей энергией. Во-вторых, утверждение о том, что биосистемы «быстро адаптируются к постоянному воздействию» – спорно, хотя бы потому, что имеющееся здесь в виду непрерывное воздействие монохроматичным лазером также имеет свою собственную частоту, связанную с длиной волны. В-третьих, по результатам наших экспериментов, можно говорить о том, что после частоты импульса в 1000 Гц наблюдается постепенное снижение эффективности, которая стремится к значению оной при непрерывном лазерном воздействии.

Вполне вероятно предположить, что один и тот же организм может иметь несколько резонансных частот, причем, чем выше собственная частота осциллятора, тем меньше его размер и тем больше появится самих осцилляторов, действующих как положительно, так и отрицательно на развитие организма. Поэтому положительный эффект должен будет скрадываться, и тем больше, чем выше частота импульса. Таким образом, на роль вероятного осциллятора претендуют сравнительно крупные объекты, это могут быть:

- сам организм целиком,
- биологические жидкости,
- надмолекулярные комплексы,
- клеточные органеллы,
- биологические мембраны и клеточные стенки.

Причем первые два варианта для мелких организмов можно считать тождественными, так как жидкость является основным компонентом любого живого существа. Для организмов, обитающих в водной среде, этот факт является весьма существенным. Можно предположить, что облучение только лишь одной воды на определенной частоте, сделает ее наиболее оптимальной для выращивания гидробионтов.

Рассматривая другие варианты, следует выделить те клеточные компоненты, от которых зависит клеточный рост и пролиферация. Из клеточных органелл это могут быть ядро и митохондрии, а также хлоропласты у растений или их мембраны. С другой стороны все эти органеллы имеют важный отличительный признак – все они имеют молекулы ДНК.

Таким образом, ДНК как крупный надмолекулярный комплекс может выступать и акцептором излучения, так и его резонатором. Некоторые авторы придерживаются именно такой точки зрения (Гаряев, 1997), более того они

утверждают, что ДНК после лазерного воздействия способно перизлучать волны и тем самым передавать информацию как соседним клеткам, так и соседним организмам.

Вариант воздействия излучения на биологические мембраны подробно рассматривается в литературном обзоре и также представляется одним наиболее вероятных. Также вероятно и то, что НИЛИ оказывает воздействие на все вышеперечисленные объекты. И тогда резонансной частотой будет являться суперпозиция нескольких различных резонансных частот.

### Заключение

В данной работе рассматривались закономерности воздействия низкоинтенсивного инфракрасного лазера с вариациями экспозиционной дозы и часты импульсов. Построены резонансные модели, описывающие рост, развитие и выживаемость высших водных растений и эмбрионов рыб под воздействием инфракрасного лазера. Показана высокая значимость частоты импульсов инфракрасного импульсного лазера.

Вскрытые в работе закономерности воздействия низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения на рост и выживаемость гидробионтов могут найти практическое применение в области культивирования водных организмов. Использование низкоинтенсивной лазерной стимуляции в рыбоводстве, согласно полученным данным, может значительно повысить выклев предличинки икры и выживаемость рыб в процессе эмбрионального развития.

Лазерная стимуляция должна применяться с осторожностью, так как воздействия на высоких экспозиционных дозах и на отрицательно резонирующих частотах импульсов может привести к обратному эффекту и вызвать угнетение роста, развития и выживаемости гидробионтов.

### Выводы

1. Низкоинтенсивное инфракрасное лазерное излучения стимулирует рост и размножение рыбки малой во всех исследуемых частотах импульсов и экспозиционных доз.
2. Низкоинтенсивное инфракрасное лазерное излучения увеличивает резистентность рыбки малой к токсическим воздействиям.

3. Эффект от воздействия импульсного низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения отличается от неимпульсного из-за наличия резонанса.
4. Резонанс может проявляться как в стимуляции так и в угнетении.
5. Предложена модель, описывающая эффект стимуляции с помощью двух составляющих лазерного воздействия: частоты импульса и энергии инфракрасного света.
6. С помощью предложенной модели можно объяснить сходный эффект от воздействия низкоинтенсивного импульсного излучения на разной длине световой волны; предсказать на основе экспериментов оптимальную резонансную частоту.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Фельдман М.Г., Крутик С.Ю. Симаков Ю.Г. Низкоинтенсивное инфракрасное лазерное излучение в гидробиологии // Стратегия развития пищевой промышленности – М.: МГТА, 2003, С.218-224.
2. Крутик С.Ю. Фельдман М.Г. Влияние низкоинтенсивного инфракрасного лазера на биосистемы // Вестник Московского Государственного университета Технологий управления, Сер. «Биология», Вып. 5-М.: МГУТУ, 2005, С.49-56.
3. Фельдман М.Г. Крутик С.Ю. Аспекты совместного воздействия низкоинтенсивного лазера и токсикантов// Сб. трудов молодых ученых МГУТУ -М.: МГУТУ, 2005, С.24-29.
4. Крутик С.Ю. Фельдман М.Г. Влияние когерентного инфракрасного излучения с вариациями экспозиционной дозы и частоты импульсов на рост и развитие ряски малой (*Lemna minor*) // Объединенный научный журнал, N 14, Москва, Тезарус, 2006. С. 61-66.
5. Крутик С.Ю. Влияние когерентного инфракрасного излучения с вариациями экспозиционной дозы и частоты импульсов на выживаемость эмбрионов *Hemigrammus Caudovittatus* (тетра-плотвичка) // Объединенный научный журнал, N 14, Москва, 2006, Тезарус. С. 67-70.
6. Фельдман М.Г., Крутик С.Ю. Лазерная стимуляция как способ повышения производительности инкубационных цехов рыбоводных заводов // Рыбное хозяйство, N 5, Москва, 2006, С.78-79.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*



