

УДК 537.811.57

**ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, ОБРАБОТАННОЙ НИЗКОЧАСТОТНЫМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, НА РАЗВИТИЕ ИКРЫ И РОСТ
МОЛОДИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ¹**

*Пашков А. Н.², Джимаков С. С.³, Мелихова А. И.⁴, Крымов В. Г.⁵, Егоров А. О.⁶,
Барышев М. Г.⁷*

INFLUENCE OF WATER TREATED WITH LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE
DEVELOPMENT OF EGGS AND GROWTH OF SOME FISH JUVENILE SPECIES

Pashkov A. N., Dzhimak S. S., Melihova A. I., Krimov V. G., Egorov A. O., Barishev M. G.

The features of eggs development and growth of juvenile fish in the water exposed by a weak electromagnetic field (EMF) of different frequencies are studied. Found that treatment of water on studied frequencies EMF does not accelerate the pace of development and does not cause an increase in the size of the developing embryo starlet. But the water treatment by frequencies 6, 25 and 50 Hz results in a significant increase in the number of pre-larvae hatched. Pronounced positive effect on the basic characteristics of juvenile hatchery tiger barbs has only water exposed by EMF with frequency of 16 Hz.

Keywords: electromagnetic field, hatching, waste, stage of development, growth, body weight, eggs, pre-larvae, juvenile, sturgeon, tiger barbs.

Один из важнейших антропогенных факторов — электромагнитное поле техногенных источников. Наиболее остро проблема последствий воздействия электромагнитного поля на биологические объекты встала в середине XX в. В настоящее время количество техногенных источников, генерирующих электромагнитное поле (ЭМП) и негативно воздействующих на окружающую среду только возрастает. Это связано с постоянным развитием радиосвязи, радиолокации, радионавигации, телевидения и других средств коммуникации. Поэтому перед человечеством стоит проблема «электромагнитного загрязнения» окружающей среды.

В течение последних 30 лет в результате работ ряда исследователей установлена высокая чувствительность биологических систем к действию на них ЭМП слабой интенсивности — низкочастотного диапазона (НЧ). Использование ЭМП НЧ для регуляции активности биологических объектов является перспективным направлением. При рассмотрении вероятных механизмов воздействия ЭМП на биологические системы исходят из того, что одними из наиболее чувствительных к внешним воздействиям процессов являются переходы различных белков, в частности периферических, из связанного на мембранах состояния в водную сре-

¹Работа выполнена в рамках ГЗ Министерства образования и науки Российской Федерации «Оценка воздействия воды с изменёнными физико-химическими характеристиками на ранние стадии развития рыб» (4.849.2011).

²Пашков Андрей Николаевич, канд. биол. наук, заведующий кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры Кубанского государственного университета; e-mail: apashkov@mail.ru.

³Джимаков Степан Сергеевич, канд. биол. наук, доцент кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: jimack@mail.ru.

⁴Мелихова Алла Игоревна, лаборант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры Кубанского государственного университета; e-mail: alla1989@mail.ru.

⁵Крымов Владимир Григорьевич, младший научный сотрудник Кубанского государственного университета; e-mail: ottokriss1@rambler.ru.

⁶Егоров Артём Олегович, лаборант НИЧ Кубанского государственного университета; e-mail: dodger1508@mail.ru.

⁷Барышев Михаил Геннадьевич, д-р биол. наук, профессор кафедры радиофизики и нанотехнологий Кубанского государственного университета; e-mail: science-pro@kubsu.ru.

ду. Такие переходы из-за роста числа степеней свободы для белковых групп в водной среде и соответственно энтропии системы должны быть связаны с малым изменением свободной энергии. Они могут быть вызваны чувствительными к влиянию ЭМП локальными изменениями рН или ионной силы, или концентрации ионов Ca^{2+} , причем данные моделирования показывают, что эффекты ЭМП в области низких частот (от 0,1 до 102 Гц) могут быть существенно усилены за счет нелинейных процессов в примембранном слое [1, 2].

Одной из возможных причин неадекватного ответа биологических объектов на действие слабого ЭМП низких частот может быть наличие собственных частот колебаний проводимости в воде, лежащих в этом диапазоне. Большинство биополимеров функционируют в водной среде, взаимодействие составляющих их мономеров определяет пространственную конфигурацию макромолекул. В связи с этим эффекты изменения структуры воды вблизи молекул растворенных веществ существенным образом должны отражаться на конфигурации макромолекул в процессах активного транспорта крупных молекул через мембрану посредством пермиаз, а также пассивного транспорта ионов через мембрану [3, 4].

Основными объектами исследования биологических эффектов при воздействии ЭМП НЧ являлись микроорганизмы [5–8], семена растений [9, 10] и лабораторные мыши [11, 12]. Гидробионты изучены в этом плане значительно хуже. В качестве примера можно привести эксперименты по исследованию регенерации планарий рода *Dugesia* в условиях влияния слабых и сверхслабых магнитных полей [13, 14].

Цель работы — изучение особенностей развития икры и роста молоди некоторых видов рыб в воде, обработанной ЭМП НЧ, а также оценка перспектив использования электромагнитных полей в рыбоводстве.

Исследования проведены на базе экспериментального комплекса аквакультуры бизнес-инкубатора ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет».

В качестве экспериментальных объектов были использованы два вида рыб: представитель отряда осетрообразных (*Acipenseriformes*) — стерлядь (*Acipenser ruthenus*) и представитель отряда карпообразных (*Cypriniformes*) — суматранский барбус (*Barbus tetrazona*).

В ходе проведенных опытов изучено влияние воды, обработанной ЭМП НЧ, на икру и предличинок стерляди, а также на молодь суматранского барбуса.

Воздействие на воду ЭМП НЧ производили с помощью установки, схема которой приведена в [15]. Данная установка позволяет генерировать синусоидальные колебания крайне низкочастотного диапазона.

Статистическая обработка результатов экспериментов проведена с помощью пакета компьютерных программ Statistica 6.0.

Стерлядь. Для эксперимента использовали оплодотворенную икру стерляди, отобранную к концу вторых суток развития. Икру помещали в чашки Петри (по 50 шт. в каждую). Контролем служила обычная отстоянная вода (минерализация 314–382 мг/л: гидрокарбонаты — 144–180 мг, сульфаты — менее 1 мг, хлориды — 60–76 мг; кальций — 6 мг, магний — 3 мг, натрий — 50–58 мг, калий — 50–58 мг). Для эксперимента использовали аналогичную воду (по минеральному составу), которую предварительно обрабатывали ЭМП с частотами 6, 10, 16, 25, 50, 70 или 90 Гц в течение 15 мин. Все эксперименты были проведены в двукратной повторности

Чашки Петри с развивающейся икрой просматривали дважды в день, убирая из них погибшие икринки и просчитывая их количество. Ежедневно в период инкубации из каждого варианта опыта и контроля отбирали по две икринки для определения особенностей их развития.

По итогам эксперимента были изучены следующие показатели: динамика стадий развития икры, выклев предличинок, отход предличинок в первые сутки после выклева, общая выживаемость за опыт.

Суматранский барбус. Для эксперимента использовали молодь этого вида. Рыбы примерно равной средней массы были посажены в количестве по 15 экз. в два аквариума объемом по 50 л. Один служил в качестве контрольного, второй — опытного. В опытный аквариум заливали воду, предварительно обработанную в течение 30 мин. ЭМП с частотами 6, 16, 26, 36, 50 Гц. В дальнейшем дважды в неделю в аквариумах заменяли по 50% от общего объема воды. При этом в контрольную ёмкость заливали отстоянную воду, а в опытную — воду, обработанную ЭМП НЧ. Длительность каждого этапа эксперимента составляла три десятидневки, после чего частоту меняли. Раз в 10 дней

Таблица 1. Динамика развития эмбрионов стерляди в воде, обработанной электромагнитным полем разной частоты

| Частота, Гц | Стадия развития | | |
|-------------|-----------------|---------|---------|
| | 1 сутки | 2 сутки | 3 сутки |
| 6 | 25 | 31–32 | 34–35 |
| 10 | 24–25 | 31–32 | 34 |
| 16 | 24–26 | 31–32 | 33–34 |
| 25 | 25–26 | 31–32 | 35 |
| 50 | 25–26 | 31 | 33–34 |
| 70 | 25 | 29–30 | 33–34 |
| 90 | 24–25 | 31–32 | 33–35 |
| контроль | 24–25 | 31–32 | 33–35 |

Примечание: Показан диапазон стадий развития на основе ежесуточного анализа четырёх икринок из каждого опыта

Таблица 2. Результаты инкубации икры стерляди в воде, обработанной электромагнитным полем низких частот

| Частота, Гц | Выклев предличинок, % | Отход предличинок в первые сутки после выклева | | Общая выживаемость за весь опыт, % |
|-------------|-----------------------|--|------|------------------------------------|
| | | экз. | % | |
| 6 | 67 ± 25,0 | 0 | 0,0 | 67 |
| 10 | 30 ± 8,0 | 8 | 26,7 | 22 |
| 16 | 33 ± 21,0 | 2 | 6,1 | 31 |
| 25 | 62 ± 8,0 | 2 | 3,2 | 60 |
| 50 | 77 ± 5,0 | 7 | 9,1 | 70 |
| 70 | 27 ± 27,0 | 2 | 7,4 | 25 |
| 90 | 40 ± 40,0 | 2 | 5,0 | 38 |
| контроль | 4 ± 0,0 | 0 | 0,0 | 4 |

каждую из рыб и в опыте, и в эксперименте взвешивали.

По итогам эксперимента были изучены следующие показатели: отход, прирост средней индивидуальной массы, общий прирост массы рыб.

Стерлядь. В первые сутки эксперимента (соответствовали третьим суткам после оплодотворения) в опытных емкостях икра находилась на стадиях 24–26, а в контрольных — на стадиях 24–25. На вторые сутки эксперимента в опытных емкостях стадии развития эмбрионов колебались с 29 по 32, а в контрольных — с 31 по 32. На третьи сутки стадии развития эмбрионов в опытных и контрольных емкостях также практически не отличались (табл. 1).

Выклев в воде, обработанной ЭМП частотой 6 Гц, начался на четвертые сутки эксперимента, а через несколько часов — в остальных вариантах опытных и контрольных емкостей. Завершение выклева произошло на пятые сутки. Существенной разницы в сро-

ках завершения выклева между контрольным и различными вариантами опытных емкостей не наблюдалось. Таким образом, обработка воды ЭМП различных частот не привела к заметному ускорению эмбрионального развития.

Однако был отмечен выраженный положительный эффект влияния обработки воды ЭМП НЧ на результаты инкубации икры (табл. 2). Во всех вариантах опытных емкостей выклев предличинок оказался значительно выше, чем в контрольных емкостях. Достоверные отличия выявлены для следующих пар: контрольная емкость (25 Гц): $t_{\text{ф.}} = 7,3$; $p = 0,018$; контрольная емкость (50 Гц): $t_{\text{ф.}} = 14,6$; $p = 0,005$.

В воде, обработанной ЭМП частотой 6 и 90 Гц, средний выклев был высоким, но его значения сильно варьировали в зависимости от повторности, что привело к увеличению стандартных ошибок средних значений (табл. 2). В вариантах обработки воды ЭМП с частотами 10, 16 и 70 Гц выход предличи-

Таблица 3. Размеры развивающейся икры стерляди в воде, обработанной электромагнитным полем низких частот

| Частота, Гц | Средний диаметр икринки, единиц окуляр-микрометра | | |
|-------------|---|------------|------------|
| | 1 сутки | 2 сутки | 3 сутки |
| 6 | 5,8 ± 0,08 | 6,0 ± 0,05 | 5,8 ± 0,06 |
| 10 | 5,8 ± 0,04 | 5,9 ± 0,04 | 6,0 ± 0,11 |
| 16 | 5,8 ± 0,03 | 5,9 ± 0,04 | 5,9 ± 0,06 |
| 25 | 6,1 ± 0,04 | 5,7 ± 0,05 | 5,8 ± 0,06 |
| 50 | 5,8 ± 0,06 | 5,7 ± 0,04 | 5,7 ± 0,06 |
| 70 | 5,5 ± 0,00 | 5,8 ± 0,05 | 5,8 ± 0,08 |
| 90 | 5,9 ± 0,15 | 5,7 ± 0,06 | 5,8 ± 0,06 |
| контроль | 5,8 ± 0,03 | 5,7 ± 0,05 | 5,7 ± 0,08 |

нок также значительно превышал контрольный, но был существенно ниже, чем в других опытах (6, 25, 50 и 90 Гц).

Отхода предличинок в первые сутки после выклева в контрольной емкости не наблюдалось. В различных вариантах опыта он изменялся от 0% (6 Гц) до 26,7% (10 Гц) (табл. 2).

Таким образом, наиболее высокие результаты общей выживаемости стерляди за весь эксперимент были достигнуты при обработке воды ЭМП частотами 6, 25 и 50 Гц (табл. 2).

Существенной разницы в размерах икры, развивающейся в воде, обработанной ЭМП, и в отстоянной воде, не наблюдалось (табл. 3). Парные сравнения среднего диаметра икры в контрольной и разных вариантах опытных емкостей на третьи сутки эксперимента с помощью *t*-критерия Стьюдента не выявили статистически достоверных отличий.

Суматранский барбус. В опытных группах рыбы последовательно содержались в воде, обработанной ЭМП с частотами 6, 10, 16, 26, 36 и 50 Гц (табл. 4).

Из всех протестированных вариантов выраженный положительный эффект на рост молоди рыб наблюдали только в воде, обработанной ЭМП частотой 16 Гц. В этом случае в опыте в сравнении с контролем были выше все четыре анализируемых показателя: средняя индивидуальная масса в конце опыта, прирост средней индивидуальной массы за опыт (в граммах и процентах), общий прирост массы рыб.

Выраженный негативный эффект наблюдали в воде, обработанной ЭМП частотой 50 Гц (табл. 3). В остальных вариантах опыта (6, 26 и 36 Гц) основные анализируемые показатели были незначительно хуже, чем в контрольной емкости.

Таким образом:

1. Обработка воды ЭМП исследованных частот (6, 10, 16, 25, 50, 70 и 90 Гц) не ускоряет темпы развития и не вызывает увеличение размеров развивающихся эмбрионов стерляди в сравнении с контролем.

2. Обработка воды ЭМП частотой 6, 25 и 50 Гц приводит к существенному увеличению количества выклюнувшихся предличинок стерляди в сравнении с контролем и другими вариантами опыта (10, 16, 70 и 90 Гц).

3. Выраженный положительный эффект на основные рыбоводные характеристики молоди суматранского барбуса в сравнении с контрольной емкостью оказывает только вода, подвергнутая воздействию ЭМП частотой 16 Гц.

Одним из основных показанных эффектов является увеличение процента выклева предличинок стерляди в воде, обработанной ЭМП НЧ. Указанный факт может быть обусловлен следующими причинами:

1. Положительное воздействие ЭМП НЧ наиболее выражено на критических стадиях развития рыб, к числу которых относится эмбриональный период. В результате обработки воды ЭМП НЧ улучшаются основные биохимические и физиологические показатели развивающихся эмбрионов, в т.ч. — их устойчивость к воздействию патогенных факторов.

2. Воздействие ЭМП НЧ на воду оказывает угнетающий эффект на развитие патогенной микрофлоры, прежде всего — грибов рода сапролегния (*Saprolegnia*).

Но, учитывая тот факт, что разницы в сроках завершения выклева и размерах икры на поздних стадиях развития между контрольной емкостью и различными вариантами опытных емкостей не наблюдалось, наи-

Таблица 4. Результаты подращивания молоди суматранского барбуса в воде, обработанной электромагнитным полем низких частот

| Показатель | Контроль | Опыт |
|--|--------------|--------------|
| 16 Гц | | |
| Средняя индивидуальная масса в начале опыта, г | 0,43 ± 0,021 | 0,44 ± 0,025 |
| Средняя индивидуальная масса в конце опыта, г | 0,57 ± 0,023 | 0,71 ± 0,033 |
| Прирост средней индивидуальной массы, г | 0,14 | 0,27 |
| Прирост средней индивидуальной массы, % | 32,6 | 61,4 |
| Общий прирост массы рыб, г/аквариум | 2,1 | 4,1 |
| 6 Гц | | |
| Средняя индивидуальная масса в начале опыта, г | 0,57 ± 0,023 | 0,71 ± 0,033 |
| Средняя индивидуальная масса в конце опыта, г | 0,65 ± 0,031 | 0,77 ± 0,037 |
| Прирост средней индивидуальной массы, г | 0,08 | 0,06 |
| Прирост средней индивидуальной массы, % | 14,0 | 8,5 |
| Общий прирост массы рыб, г/аквариум | 1,2 | 0,9 |
| 26 Гц | | |
| Средняя индивидуальная масса в начале опыта, г | 0,65 ± 0,031 | 0,77 ± 0,037 |
| Средняя индивидуальная масса в конце опыта, г | 1,03 ± 0,049 | 1,11 ± 0,061 |
| Прирост средней индивидуальной массы, г | 0,38 | 0,34 |
| Прирост средней индивидуальной массы, % | 58,5 | 44,2 |
| Общий прирост массы рыб, г/аквариум | 5,7 | 5,1 |
| 36 Гц | | |
| Средняя индивидуальная масса в начале опыта, г | 1,19 ± 0,032 | 1,29 ± 0,064 |
| Средняя индивидуальная масса в конце опыта, г | 1,44 ± 0,034 | 1,53 ± 0,044 |
| Прирост средней индивидуальной массы, г | 0,25 | 0,24 |
| Прирост средней индивидуальной массы, % | 21,0 | 18,6 |
| Общий прирост массы рыб, г/аквариум | 3,8 | 3,6 |
| 50 Гц | | |
| Средняя индивидуальная масса в начале опыта, г | 1,44 ± 0,034 | 1,53 ± 0,044 |
| Средняя индивидуальная масса в конце опыта, г | 1,77 ± 0,099 | 1,66 ± 0,046 |
| Прирост средней индивидуальной массы, г | 0,33 | 0,13 |
| Прирост средней индивидуальной массы, % | 22,9 | 8,5 |
| Общий прирост массы рыб, г/аквариум | 5,0 | 2,0 |

более вероятной представляется вторая причина.

Авторы благодарят директора ГБУ КК «Кубаньбиоресурсы» д-ра биол. наук, профессора М.С. Чебанова за предоставление для экспериментов оплодотворённой икры стерляди.

Литература

- Белова Н. А., Леднев В. В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений // Биофизика. 2001. Т. 46. Вып. 1. С. 112–125.
- Барышев М. Г., Касьянов Г. И., Джимаков С. С. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007. №3. С. 44–48.
- Аксенов С. И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2004. 212 с.
- Барышев М. Г., Васильев Н. С., Куликова Н. Н., Джимаков С. С. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. 288 с.
- Лехтлаан-Тыниссон Н. П., Шапошникова Е. Б., Холмогоров В. Е. Действие сверхслабого поля на культуры бактерий *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* // Биофизика. 2004. Т. 49. Вып. 3. С. 519–523.
- Новоселова Е. Г., Глушкова О. В., Синотова О. А., Фесенко Е. Е. Стрессовый ответ клетки на воздействие сверхслабого электромаг-

- нитного излучения // ДАН. 2005. Т. 401. № 1. С. 117–119.
7. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Джимаков С. С. О корреляции между временем спин-спиновой релаксации магнитообработанной воды и выживаемостью микроорганизмов // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2010. № 1. С. 26–29.
 8. Барышев М. Г., Васильев Н. С., Джимаков С. С., Кадамши А. М. Исследование влияния магнитообработанной воды на *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 2. С. 22–25.
 9. Аксенов С. И., Грунина Т. Ю., Горячев С. Н. О механизмах стимуляции и торможения при прорастании семян пшеницы в электромагнитном поле сверхнизкой частоты // Биофизика. Т. 52. Вып. 2. 2007. С. 332–338.
 10. Барышев М. Г., Джимаков С. С., Кадамши А. Н. Исследование влияния магнитообработанной воды на биологические объекты // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 69–74.
 11. Темурьянц Н. А., Макеев В. В., Малыгина В. Н. Влияние слабых ПЕМП КНЧ на инфранианную ритмику симпатoadреаловой системы крыс // Биофизика. 1992. Т. 37. № 4. С. 653–655.
 12. Темурьянц Н. А., Грабовская Е. Ю. Реакция крыс с разными конституциональными особенностями на действие слабых переменных магнитных полей крайне низких частот // Биофизика. 1992. Т. 37. № 4. С. 817–820.
 13. Новиков В. В., Шейнман И. М., Фесенко Е. Е. Влияние слабых и сверхслабых магнитных полей на интенсивность бесполого размножения планарий *Dugesia tigrina* // Биофизика. 2002. Т. 47. Вып. 1. С. 125–129.
 14. Новиков В. В., Шейнман И. М., Клобин А. В., Фесенко Е. Е. Влияние слабых и сверхслабых комбинированных постоянного и переменного магнитных полей и миллиметровых волн низкой интенсивности на регенерацию планарий *Dugesia tigrina* // Биофизика. 2007. Т. 52. Вып. 2. С. 372–375.
 15. Пашков А. Н., Крымов В. Г., Егоров А. О., Джимаков С. С., Барышев М. Г. Возможности использования установок замкнутого водоснабжения для выращивания осетровых рыб в Краснодарском крае // Естественные и технические науки. 2013. № 5. С. 102–112.

Ключевые слова: электромагнитное поле, выклев, отход, стадия развития, прирост, масса тела, икра, предличинки, молодь, стерлядь, суматранский барбус.

Статья поступила 21 ноября 2013 г.

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

© Пашков А. Н., Джимаков С. С., Мелихова А. И., Крымов В. Г., Егоров А. О., Барышев М. Г., 2013