

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СООТВЕТСТВУЮЩИХ МАГНИТНОЙ БУРЕ В НАПРАВЛЕНИИ Н-КОМПОНЕНТЫ НА РАННИЙ ОНТОГЕНЕЗ *DAPHNIA MAGNA* STRAUS И *RUTILUS RUTILUS* (L.)

В.В. Крылов¹, О.Д. Зотов², Ю.В. Чеботарева¹, Ю.Г. Изюмов¹,
Е.А. Осипова¹, А.В. Знобищева³, Н.А. Демцун⁴

¹ Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
Борок, Россия

kryloff@ibiw.yaroslavl.ru

² Геофизическая обсерватория «Борок», филиал ИФЗ РАН, Борок, Россия

³ Учреждение Российской академии наук Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
Пушино, Россия

⁴ Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина

Накоплено огромное количество информации о связи магнитных бурь, вызванных вспышкой активности Солнца, с различными физическими, биологическими и социальными явлениями. Публикации по этой тематике сводятся к обнаружению корреляций между случившейся магнитной бурей и наблюдаемым явлением. Отсутствие синхронного контроля не позволяет уверенно говорить о принципах действия магнитных бурь на биологические системы.

Мы провели экспериментальное исследование влияния модели Н-компоненты типичной магнитной бури (ММБ) на раннее развитие *Daphnia magna* Straus и плотвы *Rutilus rutilus* (L.) в сравнении с синхронным контролем.

Эксперименты проводились во время спокойной геомагнитной обстановки (по данным, представленным на сайте ИЗМИРАН <http://forecast.izmiran.ru>). ММБ создавалась в рабочем объеме пары колец Гельмгольца. Реальный сигнал Н-компоненты магнитной бури воспроизводился в диапазоне частот 0–5 Гц. Направление магнитного поля ММБ совпадало с направлением Н-компоненты, а величина складывалась с соответствующей компонентой естественного магнитного поля Земли. В качестве модели была использована запись типичной магнитной бури в Киото 28–30 декабря 1976 года.

Опыты проводили в 2009–2010 годах. Объектом экспозиции в ММБ была икра плотвы и развивающиеся *in vitro* партеногенетические яйца *D. magna* (Krylov, Ecotoxicology and Environmental Safety, 2010). У плотвы оценивали выживаемость икры, скорость выклева предличинки, морфологические и морфометрические показатели сеголеток. У *D. magna* оценивали темпы выхода развивающихся эмбрионов из яйцевых оболочек, выживаемость и размеры новорожденных особей.

Действие ММБ на плотву *R. rutilus*. Действие ММБ на икру плотвы продолжалось с момента оплодотворения до органогенеза. Разница в выживаемости икры между контрольным и экспериментальными вариантами была незначима. Вылупление предличинки, экспонировавшихся в ММБ, проходило более интенсивно по сравнению с контролем, где этот процесс был более растянут во времени. Смертность вылупившихся предличинки в обоих вариантах была минимальной.

Действие ММБ в раннем онтогенезе приводило к снижению размерно-весовых показателей ($p < 0.001$), уменьшению числа лучей в анальном плавнике ($p < 0.01$) и к увеличению их количества в брюшных плавниках ($p < 0.001$) у сеголеток из экспериментального варианта по сравнению с контролем. Были обнаружены достоверные различия между экспериментальным и контрольным вариантами по дисперсиям флуктуирующей асимметрии числа лучей в брюшных плавниках ($0.14 \sigma_s^2$ в контроле, $0.24 \sigma_s^2$ в опыте, $p < 0.05$) и числа прободенных чешуй в боковой линии ($1.27 \sigma_s^2$ в контроле, $0.87 \sigma_s^2$ в опыте, $p < 0.05$).

У рыб из экспериментального варианта число позвонков в хвостовом отделе позвоночника было достоверно больше, а число позвонков в переходном отделе позвоночника было достоверно меньше по сравнению с контрольными. Разнообразие сочетаний числа позвонков в отделах, Va-Vi-Vc у сеголеток, раннее развитие которых прошло в ММБ, было ниже, чем в контроле. Формирование различных позвонковых фенотипов напрямую связано со скоростью раннего развития. Более растянутое во времени вылупление предличинки в контрольном варианте приводило к большему внутривидовому разнообразию.

В экспериментальном варианте было обнаружено меньше рыб с различными аномалиями осевого скелета, чем в контроле (17.52% и 35.06% соответственно). Корреляционный анализ показал

достоверную положительную связь между длиной тела и числом аномалий в хвостовом отделе позвоночника ($R=0.45$) у рыб, раннее развитие которых прошло в ММБ.

Действие ММБ на *D. magna*. Изучение действия ММБ на ранний онтогенез *D. magna* проводилось в серии экспериментов при температурах 21°C и 23°C. Начало экспозиции развивающихся эмбрионов приходилось на время соответствующее фазе внезапного начала (1-е сутки) и фазе восстановления (2-е сутки) ММБ.

Для оценки влияния действия ММБ, фазы ММБ на момент начала экспозиции, температурного режима, и взаимодействия этих факторов на темпы выхода эмбрионов из первой яйцевой оболочки был проведён многофакторный дисперсионный анализ. Установлено влияние фазы ММБ на момент начала экспозиции ($F=4.66$, $p<0.05$), температуры ($F=437.28$, $p<0.001$), взаимодействия температуры и фазы ММБ на момент начала экспозиции ($F=6.53$, $p<0.05$), а также взаимодействия трёх изучаемых факторов ($F=11.13$, $p<0.01$) на темпы выхода эмбрионов из первой яйцевой оболочки. Развитие эмбрионов дафний при 23°C проходило быстрее, чем при 21°C. Наблюдалась зависимость темпов выхода развивающихся эмбрионов из первой яйцевой оболочки от той фазы ММБ, на которую пришлось начало экспозиции.

Эмбрионы, развивавшиеся в ММБ, отличались повышенной смертностью по сравнению с контролем. После экспозиции рачки развивались до дефинитивного состояния и производили потомство, размеры которого также зависели как от температурных условий, так и от той фазы ММБ, на которую пришлось начало экспозиции.

Таким образом, биологическая эффективность типичной магнитной бури подтверждена экспериментально. Действие ММБ приводило как к эффектам, сходным с теми, что были получены ранее в экспериментах с искусственными магнитными полями с интенсивностью на порядок выше, так и к противоположным эффектам. Причина расхождений может крыться в сложной комбинации сменяющих друг друга факторов флуктуирующего магнитного поля в ММБ. Кроме того, экспериментально установлены различия в биологической эффективности различных фаз ММБ.

Работа поддержана Советом по грантам Президента РФ. Грант МК-239.2009.4.

EFFECTS OF TYPICAL MAGNETIC STORM ON THE EARLY ONTOGENESIS OF *DAPHNIA MAGNA* STRAUS *RUTILUS RUTILUS* (L.)

V.V. Krylov¹, O.D. Zotov², Yu.V. Chebotareva¹, Yu.G. Izyumov¹,
E.A. Osipova¹, A.V. Znobisheva³, N.A. Demtsun⁴

¹ Institute of Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

² Borok Geophysical Observatory Institute of Physics of the Earth RAS, Borok, Russia

³ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Pushchino, Russia

⁴ Taurida National V.I. Vernadsky University, Simferopol, Ukraine

The action of the model of the magnetic storm, created in a confined volume, on the early ontogenesis of *Rutilus rutilus* and *Daphnia magna* was studied. The biological efficiency of the magnetic storm was confirmed in experiment. Dependence of biological effects on phases of the magnetic storm was shown. Study was supported by grant MK-239.2009.4.

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ПЕЧЕНИ РЫБ ПОСЛЕ ТОКСИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

В.Н. Крючков

Астраханский государственный технический университет

В обычных условиях для печени характерен высокий уровень резистентности в поддержании нормальной морфологической структуры. Закономерно возникает вопрос, какова степень морфологической адаптации ткани печени при токсических поражениях.