

УДК 595.123:591.17+615.849.11

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ДИНАМИКУ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНАРИЙ *DUGESIA TIGRINA* С РАЗЛИЧНЫМИ ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

Ярмолюк Н.С., Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: nat_yarm@mail.ru*

Изучено влияние электромагнитного экранирования на скорость движения планарий *Dugesia tigrina* с различными индивидуальными особенностями. Под влиянием электромагнитного экранирования происходило изменение динамики скорости движения планарий, которое было более выражено в группах с низкой двигательной активностью.

Ключевые слова: скорость движения, двигательная активность, электромагнитное экранирование, *Dugesia tigrina*.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современной экологической физиологии является исследование индивидуальной чувствительности и устойчивости человека и животных к действию разнообразных факторов, приспособленности и жизнеспособности при изменении условий обитания, а также экстремальных ситуациях [1-4]. Накапливается все больше данных о том, что факторы различной природы, но малой интенсивности (микродозы) также обладают выраженным биологическим действием [5], вызывая наиболее яркие ответные реакции у особей с определенными индивидуальными особенностями [6], так называемых сенситивов. В связи с широким распространением таких факторов, изучение индивидуальной чувствительности к их действию представляет значительный интерес.

Изучение природы повышенной чувствительности, а также выделение сенситивов привлекает внимание различных исследователей. Одним из критериев повышенной чувствительности к действию различных факторов у крыс является их поведение в «открытом поле» (ОП). В зависимости от ГДА и ВерДА, определенных в этом тесте, выделяют животных с НДА, СДА и ВДА. Оказалось, что животные с ВДА более чувствительны к стресс-факторам, а животные с НДА – наоборот, чувствительны к действию факторов низкой интенсивности. При этом различная двигательная активность определяется уровнем возбудимости ЦНС.

В современных исследованиях многих авторов широко используются беспозвоночные, в том числе – планарии, так как параметры регенерации у этих животных связаны со многими процессами, которые изменяются под влиянием различных экологических факторов, в том числе электромагнитных полей [7-11].

Среди этих факторов особое внимание в настоящее время привлекает изучение действия ослабленного магнитного поля (МП). Это связано с тем, что такие поля широко распространены, но их действие не исследовано, кроме того, изучение их биологической активности позволяет расширить представления об экологической значимости этих факторов.

В связи с изложенным, задачей исследования явилось изучение реакции на электромагнитное экранирование (ЭМЭ) планарий с различными индивидуальными особенностями. По аналогии с позвоночными, животных делили на три группы по скорости движения (СД), полагая, что она определяется функциональными особенностями ЦНС и сенсорных систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использована лабораторная бесполовая раса планарий *Dugesia tigrina*, условия ее содержания и кормления описаны ранее [12].

Для экспериментов использовали животных длиной $\approx 9 \pm 1$ мм, у которых движение осуществлялось за счет ресничек, а не мускулатуры [13].

Планарий отбирали для опыта через три-четыре дня после кормления. У всех животных определяли скорость движения, она колебалась от $1,4183 \pm 0,05$ до $2,0196 \pm 0,02$ мм/с. Все планарии по уровню двигательной активности были распределены на три группы: с низкой (НДА), средней (СДА) и высокой (ВДА) двигательной активностью (табл. 1). Полученные данные позволяют судить о том, что животные со СДА преобладают в популяции.

Таблица 1
Распределение планарий по уровню скорости движения ($\bar{x} \pm S \bar{x}$).

Группы животных	Число животных (%)	Скорость движения, мм/с
НДА (1)	31	$1,4183 \pm 0,05$
СДА (2)	43	$1,7501 \pm 0,02$ $P_{1,2} < 0,001$
ВДА (3)	26	$2,0196 \pm 0,02$ $P_{1,3} < 0,001$ $P_{2,3} < 0,001$

Животных каждой из выделенных групп рассаживали в три стаканчика по 50 мл воды. В дальнейшем из каждой выделенной группы формировали две подгруппы. Животные группы А служили контролем, группы Б – подвергались воздействию ЭМЭ. При этом каждая планария помещалась в отдельный флакон с 20 мл. воды. Изолированное содержание каждого животного позволило изучить индивидуальные особенности СД, её изменения во времени, а также инфрадианную ритмику этого показателя.

Контрольные животные находились в обычных лабораторных условиях и не подвергались какому-либо дополнительному воздействию. Планарий

экспериментальной группы содержали в экранирующей камере на протяжении 27-и дней по 23 часа в сутки. Ежедневно в течение одного часа (всегда в одно и то же время с 10 до 11 час.) проводили фиксацию СД планарий.

Для определения СД применяли компьютерные технологии анализа изображений [14]. Для этого видеоизображения движущихся в воде червей регистрировались с частотой 30 кадров в одну секунду. СД планарии вычислялась отношением пройденного ею пути (мм) ко времени в одну секунду. Путь измерялся наложением двух участков одного видеоряда с соответствующей разницей во времени. Контрастирование проводилось при помощи стандартной операции «вычитания» для двух изображений [15].

Ослабление электромагнитного поля достигалось применением экранирующей камеры, которая представляет собой комнату размером 2х3х2 метра, изготовленную из железа «Динамо». Коэффициент экранирования постоянной составляющей магнитного поля, измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составлял по вертикальной составляющей 4,4, по горизонтальной – 20. Измерялась также спектральная плотность магнитного шума в камере как в области ультранизких (от 2·10⁻⁴Гц до 0,2 Гц), так и в области радиочастот (от 15 Гц до 100 кГц). В области сверхнизких частот измерения производились с помощью феррозондового магнитометра в паре со спектроанализатором, в области радиочастот – индукционным методом. Внутри камеры для частот выше 170 Гц и в области частот от 2·10⁻³ до 0,2 Гц уровень спектральной плотности магнитного шума ниже 10 нТл/Гц^{0.5}. Магнитное поле существенно проникает внутрь камеры на частотах 50 и 150 Гц и ниже 2·10⁻³Гц. Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц порядка 3. В области частот от 150 Гц до 100 кГц происходит слабое экранирование, тогда как частоте больше 1 МГц имела место тенденция к ослаблению.

Проверка полученных данных на закон нормального распределения позволила применить параметрический метод в статистической обработке и анализе материала исследования, поэтому вычисляли среднее значение исследуемых величин и ошибку средней. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента. За достоверную принимали разность средних при $p < 0,05$. Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета «STATISTICA – 6.0» [16, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате экспериментального тестирования, проведенного на протяжении 27-и дней, можно отметить некоторые сходства и различия в динамике СД планарий с различными индивидуальными особенностями в условиях ЭМЭ. У всех животных отмечены двухфазные изменения СД. I фаза – увеличение СД, II фаза – ее снижение. Отмечена неодинаковая степень выраженности фаз у планарий с различными индивидуальными особенностями.

Анализ СД животных с различной двигательной активностью показал, что в первой половине эксперимента происходит увеличение значений изучаемого показателя интактных животных и групп, содержащихся в условиях ЭМЭ. У

животных со СДА наблюдается увеличение СД в группе ЭМЭ относительно контрольных значений, которое колебалось от $1,7793 \pm 0,06$ мм/с на четвертые сутки эксперимента до $2,4447 \pm 0,12$ мм/с ($p < 0,01$) на девятые сутки, когда и отмечено максимальное возрастание (рис. 1, А). В группе с НДА возрастание СД наблюдается в тот же период, что и в группе со СДА. Так, значения показателя варьируются от $1,6951 \pm 0,05$ мм/с ($p < 0,05$) на четвертые сутки до $2,4182 \pm 0,09$ мм/с ($p < 0,01$) на восьмые сутки (рис. 1, Б). Таким образом, в группе с НДА, содержащейся в условиях ЭМЭ, в первой половине эксперимента возрастание значения изучаемого показателя наблюдается также на четвертые сутки, но максимальные значения характерны на одни сутки раньше, чем в группе со СДА. У животных с ВДА возрастание СД наблюдается на пятые сутки, что на одни сутки позже, чем в группах с НДА и СДА. Так, значения возрастают от $1,7821 \pm 0,11$ мм/с на пятые сутки до $2,6052 \pm 0,04$ мм/с ($p < 0,01$) на девятые сутки эксперимента (рис. 1, В). Таким образом, максимальное значение СД в группе с ВДА наблюдается в те же сроки, что и в группе со СДА, но в тоже время это на одни сутки позже, чем у животных с НДА.

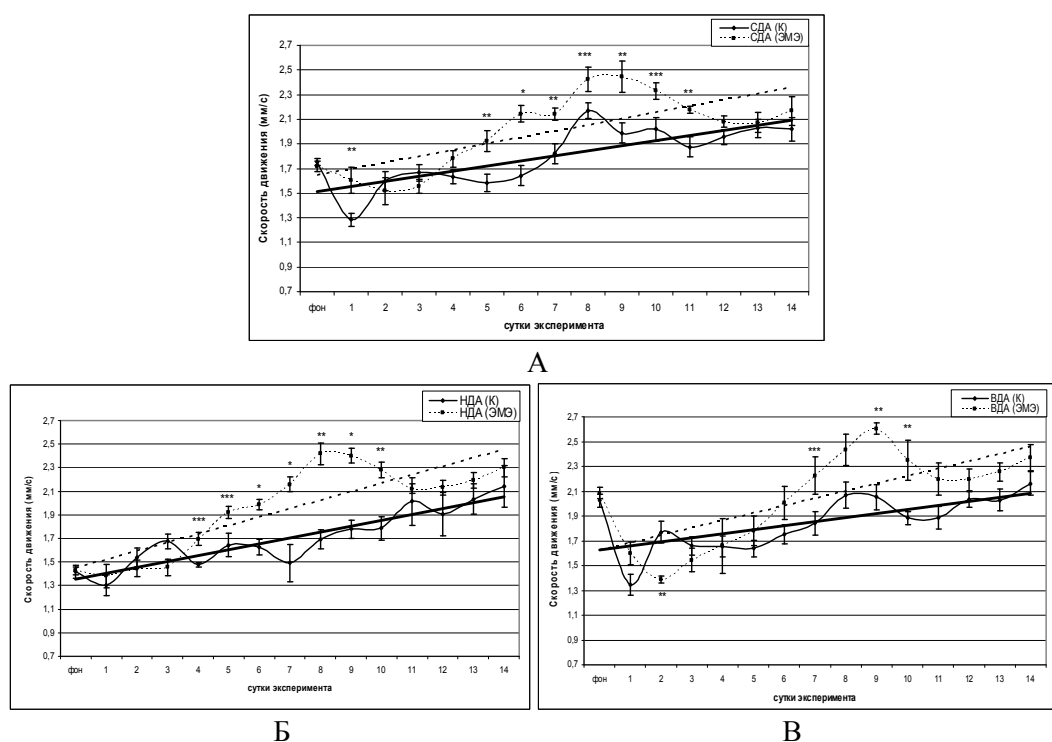


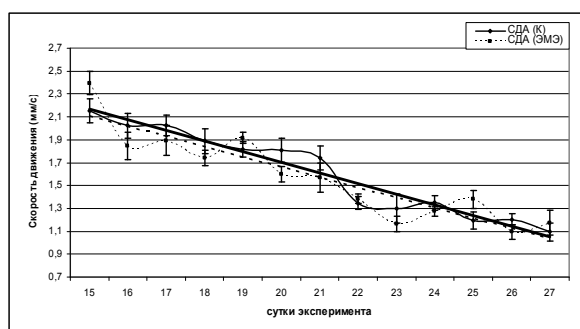
Рис. 1. Динамика и экспоненциальная модель СД контрольных и экспериментальных групп животных с различной двигательной активностью в первой половине эксперимента: А – СДА; Б – НДА; В – ВДА

Примечание: Р – достоверность различий при сравнении значений контрольной и экспериментальной групп животных:

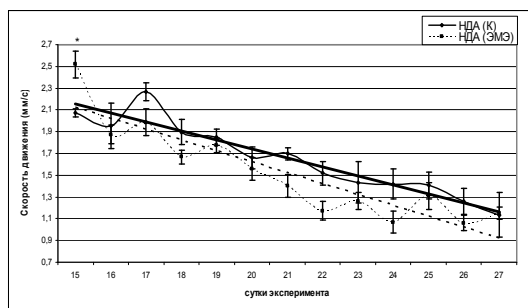
* – ($p < 0,001$); ** – ($p < 0,01$); *** – ($p < 0,05$)

Экспоненциальная модель данных, представленная на Рис. 1 и позволяющая определить основные направления сдвигов динамики СД, в первой половине эксперимента позволила выявить у животных с различными индивидуальными особенностями тенденцию к возрастанию СД как в контрольных, так и в экспериментальных группах. При этом возрастание СД было более выражено в группах, содержащихся в условиях ЭМЭ.

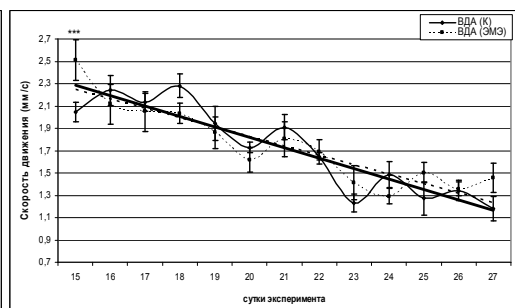
Литературные данные свидетельствуют о том, что выраженные различия скорости угашения компонентов двигательной активности, вероятно, можно объяснить тем, что различный уровень двигательной активности обуславливается различной возбудимостью в ЦНС. В работах Д.А. Кулагина с соавт. (1986) показано, что между НДА в ОП и силой возбуждительного процесса существует достоверная корреляционная связь, а уровень горизонтальной и вертикальной двигательной активности зависит от общего уровня возбудимости животного. Как свидетельствуют литературные данные, НДА в «открытом поле» в значительной степени связана с высокой активностью серотонинэргической системы головного мозга [18]. Наши данные позволяют расширить эти сведения о повышенной чувствительности и беспозвоночных животных с НДА.



А



Б



В

Рис. 2. Динамика и экспоненциальная модель СД контрольных и экспериментальных групп животных с различной двигательной активностью во второй половине эксперимента: А – СДА; Б – НДА; В – ВДА

Примечание: Р – достоверность различий при сравнении значений контрольной и экспериментальной групп животных:

* – ($p < 0,001$); ** – ($p < 0,01$); *** – ($p < 0,05$)

Динамика СД во второй половине эксперимента поменялась в противоположную сторону. Начиная с 15-х суток наблюдения, происходит снижение уровня изучаемого показателя, при этом в группах, содержащейся в условиях ЭМЭ, оно более выражено.

Экспоненциальная модель данных, представленная на Рис. 2, в последующие 13 суток наблюдения позволяет выявить тенденцию к снижению СД животных с различными индивидуальными особенностями как в контрольных, так и в экспериментальных группах. При этом более выражено снижение в группе с НДА.

В пользу представления об индивидуальных особенностях реагирования различных систем организма животных, обладающих неодинаковыми типологическими особенностями при различных воздействиях можно привести работу Е. Sajtı и соавт. [19], выявивших большую степень разрушений кости при артрите у менее подвижных животных. Также Л.М. Ливановой с соавт. были получены интересные данные в лабораторных экспериментах, проведенных на животных [20-22]. Было выявлено, что при моделировании гипокинезии у животных с активным и пассивным типами поведения, определенными в тесте ОП, значение АД выше, чем у животных со средним типом поведения. Однако существуют данные, свидетельствующие о том, что АД и частота сердечных сокращений у крыс с ВДА при воздействии гипокинетического стресса не изменяются. У крыс с НДА, в тех же условиях, наблюдаются преходящие гипертензивные и гипотензивные реакции, после чего АД возвращается к исходному уровню, а часть животных данной группы погибает [23]. В свою очередь в условиях иммобилизационного стресса у крыс-самок с активным типом поведения в тесте ОП не наблюдалось изменений в ауторегуляции коронарного потока в отличие от животных пассивного типа. У этих животных чувствительность коронарных сосудов к монооксиду азота была выше, чем у активных крыс [24]. Приведенные результаты исследований согласуются с данными о том, что ЭС вызывает отчетливую перестройку ультраструктуры эндотелиоцитов и базальной мембраны восходящей части дуги аорты только у крыс с НДА [25]. Эти животные, в условиях мозговой ишемии при двусторонней окклюзии каротидных артерий, характеризуются более интенсивным мозговым кровооток и более высокой частотой летальных исходов. Стрессорное воздействие вызывает инволюцию тимуса у этих крыс на 25-30 % [26-27]. У низкоподвижных животных при воздействии стресс-фактора, несмотря на повышение скорости локального кровотока, уровень напряжения кислорода в мозге снижается, а у крыс с активным типом повышается.

Исследование динамики СД планарий *Dugesia tigrina* с различными индивидуальными особенностями позволяет значительно расширить литературные данные и сведения о биологических эффектах экранирования на животных с различными индивидуальными особенностями.

ВЫВОДЫ

1. В первой половине эксперимента ЭМЭ приводит к увеличению СД планарий с различными индивидуальными особенностями. Более выраженные изменения наблюдаются в группе животных с НДА.

2. Начиная с 15-х суток эксперимента характерно снижение уровня изучаемого показателя, как в контрольной, так и экспериментальной группах. При этом более выраженные изменения характерны для группы животных с НДА.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А. Влияние инфранизкочастотного магнитного поля на ритмику нервных клеток и их устойчивость к гипоксии / Н.А. Агаджанян, И.Г. Власова // *Биофизика*. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 681–689.
2. Виру А.А. Гормональные механизмы адаптации и тренировки / Виру А.А. – Л.: Наука, 1981. – 155 с.
3. Семагин В.Н. Тип нервной системы. Стрессоустойчивость и репродуктивная функция / Семагин В.Н., Зухарь А.В., Куликов М.А. – М.: Наука, 1988. – 133 с.
4. Слоним А.Д. Учение о физиологической адаптации / А.Д. Слоним // *Экологическая физиология животных*. – Л.: Наука, 1979. – С. 79–183.
5. Лиманский Ю.П. Возможные механизмы взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных излучений с организмом человека / Ю.П. Лиманский, Н.Д. Колбун // *Теория и практика информационно-волновой терапии* / Под ред. Н.Д. Колбуна. – К., 1996. – С. 30–42.
6. Грабовская Е.Ю. Реакция крыс с различными индивидуальными особенностями двигательной активности на действие слабого ПемП СНЧ: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13 / Грабовская Е.Ю. – СГУ. – Симферополь, 1992. – 23 с.
7. Goodman R. Pulsing electromagnetic fields induce cellular transcription / R. Goodman, C. Bassett, A. Henderson // *Science*. – 1983. – Vol. 222. – P. 1283–1285
8. Liboff A.R. Cyclotron resonance in membrane transport / A.R. Liboff // *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*, 1985. – P. 281–296.
9. Marron M.T. Mitotic delay in the slime mold *Physarum polycephalum* induced by low intensity 60- and 75-Hz electromagnetic fields / M.T. Marron, E.M. Goodman, B.B. Greenebaum // *Nature*. – 1975. – Vol. 254. – P. 66–67.
10. Modulation of the effect of pharmacological agents by weak and extremely weak alternating magnetic fields on a model of regeneration of the planarian *Girardia tigrina* / V.V. Lednev, A.M. Ermakov, O.N. [et al.] // *Biophysics*. – 2005. – Vol. 50, № 1. – P. 130–133.
11. Pulse shape of magnetic fields influences chick embryogenesis / A. Ubeda, J. Leal, M.A. Trillo [et al.] // *J Anat*. – 1983. – Vol. 137. – P. 513–536.
12. Демцун Н.А. Динамика скорости движения планарий, регенерирующих в условиях электромагнитного экранирования / Н.А. Демцун, Н.А. Темуриянц, М.М. Баранова // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия»*. – 2009. – Т. 22 (61), № 2. – С. 24–32.
13. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных: приспособление и среда / К. Шмидт-Ниельсен – М: «Мир», 1982. – Т.2. – С. 555–643.
14. Wever R.A. The circadian system of man: Results of experiments under temporal isolation / Wever R.A. // *New-York: Springer*, 1979. – 276 p.
15. Патент № 98095 Украины МПК51 А 01 К 61/00. Способ определения скорости движения интактных и регенерирующих планарий / Темуриянц Н.А., Баранова М.М., Демцун Н.А.; заявитель и правообладатель Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского. – № U 200908540; заявл.: 13.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл.№5.
16. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. – К.: Модмон, 2000. – 319 с.
17. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. / Боровиков В. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
18. Кулагин Д.А. Нейрохимические аспекты эмоциональной реактивности и двигательной активности крыс в новой обстановке / Д.А. Кулагин, В.Е. Болондинский // *Успехи физиол. наук*. – 1986. – Т. 17, № 1. – С. 92–108.

19. Tumor angiogenesis and metastasis formation are associated with individual differences in behavior of inbred Lewis rats/ E. Sajti, A. Kavelaars, Nv.N. Meeteren [et al.] // Brain Behav. Immun. – 2004. – Vol. 18, № 6. – P. 497–504.
20. Нормализующее влияние аэроинов на невротизированных крыс с разными типологическими особенностями поведения / Л.М. Ливанова, Л.В. Ноздрачева, Е.В. Курочкина [и др.] // ЖВНД. – 1995. – Т. 45, № 2. – С. 402–409.
21. Ливанова Л.М. Профилактическое влияние отрицательно заряженных аэроинов при остром стрессе у крыс с разными типологическими особенностями поведения / Л.М. Ливанова, И.П. Левшина, Л.В. Ноздрачева // ЖВНД. – 1996. – Т. 46, № 3. – С. 564–570.
22. Защитное действие отрицательных аэроинов при остром стрессе у крыс разными типологическими особенностями поведения / Л.М. Ливанова, И.П. Левшина, Л.В. Ноздрачева [и др.] // ЖВНД. – 1998. – Т. 48, № 3. – С. 554–557.
23. Судаков К.В. Системные механизмы эмоционального стресса / Судаков К.В. – М.: Медицина, 1981. – 232 с.
24. Солодков А.П. К механизму развития изменений ауторегуляции коронарного кровотока у крыс с различной чувствительностью к стрессу / А.П. Солодков, И.Ю. Щербинин // Российский физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 2002. – Т. 88, № 2. – С. 166–175.
25. Изменение ультраструктуры интимы дуги аорты у крыс с различной устойчивостью к эмоциональному стрессу / В.А. Шахламов, К.В. Судаков, С.С. Перцов [и др.] // Бюллетень эксперим. биологии и медицины. – 2000. – Т. 118, № 5. – С. 25–29.
26. Прогностические поведенческие критерии и особенности мозгового кровотока у крыс с различной устойчивостью к эмоциональному стрессу / Е.В. Коплик, И.В. Ганнушкина, А.Л. Антелова [и др.] // Физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 1995. – Т. 81, № 9. – С. 35–39.
27. Коплик Е.В. Метод определения критерия устойчивости крыс к эмоциональному стрессу / Е.В. Коплик // Вестник новых медицинских технологий. – 2002. – Т. 9, № 1. – С. 16–18.

Ярмолюк Н.С. Вплив електромагнітного екранування на динаміку швидкості руху планар *Dugesia tigrina* з різними індивідуальними особливостями / Н.С. Ярмолюк, Н.А. Темур'янц, О.В. Шехоткін // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62), № 3. – С. 245-252.

Вивчено вплив електромагнітного екранування на швидкість руху планарій *Dugesia tigrina* з різними індивідуальними особливостями. Під впливом електромагнітного екранування відбувалася зміна динаміки швидкості руху планарій, яка була більш виражена в групах з низькою руховою активністю.

Ключові слова: швидкість руху, рухова активність, електромагнітне екранування, *Dugesia tigrina*.

Yarmolyuk N.S Influence of electromagnetic shielding on the dynamics speed planar *Dugesia tigrina* with different individual features/ N.S Yarmolyuk, N.A Temuryants, A.V Shehotkin // Scientific Notes OF Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – Vol. 23 (62), No 3. – P. 245-252.

The effect of electromagnetic shielding on the velocity of planarians *Dugesia tigrina* with different individual characteristics. Under the influence of electromagnetic shielding changes the dynamics of the velocity of planarians, which was more pronounced in groups with low physical activity.

Keywords: speed, motor activity, electromagnetic shielding, *Dugesia tigrina*.

Поступила в редакцію 28.11.2010 г.