

УДК 577.4

И. К. Смоляренко, О. А. Шугуров, О. О. Шугуров
Днепропетровский национальный университет

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВЧ ВОЛН НА ПОДВИЖНОСТЬ ОЛИГОХЕТ

Досліджували вплив надвисокочастотних хвиль (НВЧ) (10 ГГц) на механічні параметри руху клубка олігохет *tubifex* (1300–1500 одиниць) при різному навантаженні та послідовності його механічної стимуляції. Показано, що після нетеплового НВЧ-опромінення (1 мВт/см²) на 5–10% збільшується латентність і передній фронт механограм клубка, зменшується також амплітуда і тривалість відповідей. Зменшується максимальна навантаження, що витримує клубок черв'яків, потужність окремої одиниці падає в середньому на 80%. Робиться висновок про тимчасовий негативний вплив хвиль зазначеного діапазону на прості біологічні системи.

We investigated influence of electromagnetic superhigh frequency (SHF) waves (10 GHz) on mechanical parameters of motility of bunch tubifex (1300 – 1500 units) at a different load and sequence of its mechanical stimulation. It is shown, that after a not-thermal wave-irradiation (1 mWt/sm²) latency and forward front of mechanograms is increased on 5 – 10 %, amplitude and duration of the answers simultaneously decreases. The maximal mass, which can lift single unit tubifex is decreased. The capacity of single unit is reduced on the average about 80 %. The authors make conclusion about temporary negative influence SHF-waves on simple biological systems.

Олигохеты (*tubifex*) – круглые черви, сравнительно простые организмы, нервная система которых состоит из брюшной нервной цепочки. Плотность расселения червя на дне загрязненных водоемов достигает 100000 на 1 м², поэтому

© Смоляренко И. К., Шугуров О. А., Шугуров О. О., 2005

264

Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія.
Visnik Dnipropetrovsk'kogo universitetu. Seriâ Biologiâ, ekologiâ
Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology.
Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.
2005. 13(1).

ISSN 2310-0842 print ISSN 2312-301X online
www.ecology.dp.ua

во многих местах они, соприкасаясь друг с другом, способны влиять на характер движений всего скопления [10; 12]. Наряду с простым индивидуальным поведением, эти черви способны генерировать довольно сложное групповое поведение – передачу информации об опасности, причем с большой скоростью, определяемой их сократительной способностью. При сильном раздражении олигохеты могут очень быстро свертываться в клубок, некоторые скручиваются в спираль [11]. Следовательно, трубочники – один из вариантов совокупности простых систем, образующих сравнительно сложную структуру, имеющую новые динамические свойства, и способных изменяться в зависимости от состояния окружающей среды [7].

В клубке олигохет на внешний раздражитель отвечает уже не один червь, а все сообщество. Ответом на различного рода активацию является синхронизированное сокращение тел трубочников. При внешнем воздействии физических факторов исследуемая биомасса способна давать суммарный эффект, который может быть зарегистрирован с помощью механографа.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) волны различной частоты могут оказывать на различные биологические ткани противоположное по эффекту действие, что связывают с резонансными свойствами высокочастотных полей [5; 9]. Волны длиной 3 см сравнительно мало изучены, кроме того, современные бытовые приборы уже способны генерировать частоты близкого диапазона. Поэтому в задачу исследования входило изучение параметров механического движения трубочников (*tubifex*) и оценка возбудительных свойств их совокупности как индикатора влияния СВЧ-волн на биосистему.

Методика исследований

Исследования проводились на группах червей-трубочников, в каждой из которых было около 1500 штук. Трубочники содержались в воде при температуре 10–15°C, ежедневно промывались в чистой воде, а также непосредственно перед экспериментом. Перед опытами червей помещали в стеклянный цилиндр, сверху клали пластиковый легкий поршень массой 0,5 г, подвешенный на одном из концов подвижного металлического уравновешенного коромысла. На другом конце коромысла находилась светоотражающая пластинка, которая освещалась лампочкой. Отраженный от пластины свет попадал на фотодиод, соединенный с электронным усилителем напряжения. При поднятии поршня угол падения света на коромысло изменялся, соответственно изменялось освещение фотодиода. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Для облучения использовали генератор 51И-1 (длина электромагнитной волны $\lambda = 30$ мм, частота 10 ГГц) с суммарной выходной мощностью в волноводе 30 мВт. Интенсивность облучения, приходящаяся на клубок червей, составляла 4,3 мВт/см² при экспозиции 15 мин. Облучение клубка проводили в специальной поглощающей безэховой камере.

При проведении экспериментов регистрировали передвижение поршня в результате ответной реакции червей на механическое раздражение, которое наносили на подложку стакана с помощью выдвигающегося якоря электромагнитной катушки, присоединенной к промышленному стимулятору ЕС-50-1.

В контрольных экспериментах изучались ответы (динамограммы) при одиночном раздражении под дополнительной нагрузкой (от 1 до 15 г на поршень), на парные (кондиционирующий и тестирующий) стимулы с интервалами времени

от 15 до 90 сек (шаг 5 сек), а также на ритмические раздражения. Время, отводимое на отдых между каждым экспериментом, составляло по 3 минуты.

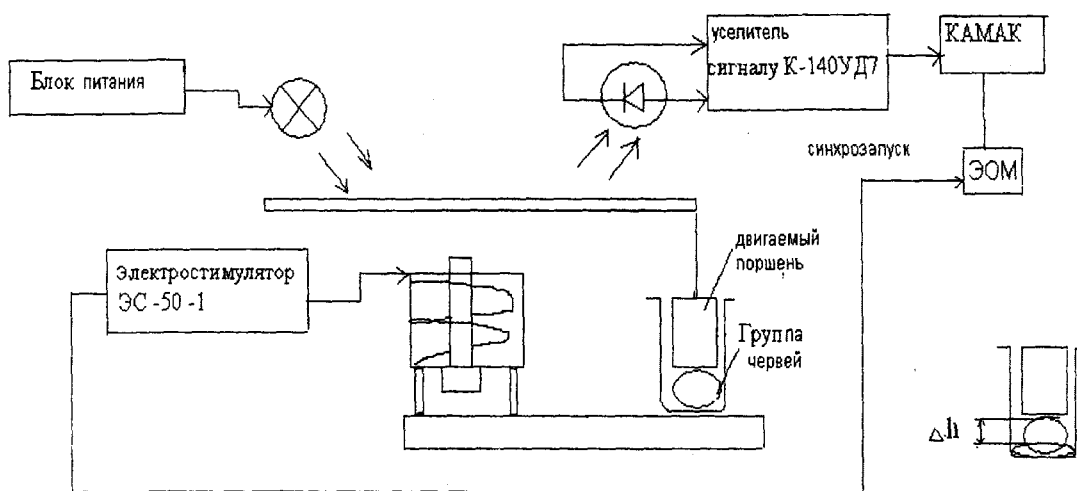


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

После этого проводили облучение клубка олигохет и далее повторяли указанные серии. Зарегистрированные механограммы оцифровывали и записывали на магнитный носитель для дальнейшего статистического анализа.

Результаты исследования

Трубочники имеют сравнительно простое строение: под кожным эпителием лежит мускулатура, составляющая по объему главную часть стенки тела. Длина тела взрослого червя 20–50 мм, поперечник – 0,4–0,8 мм, число сегментов – 36–120. Основной способ передвижения – ползание, оно осуществляется при помощи перистальтических волн сокращения, пробегающих по телу червя.

Ранее в исследованиях олигохет без облучения было отмечено [6], что в результате увеличения внешней нагрузки на клубок удлиняется латентный период возникновения волны сокращения трубочника, увеличивается фронт ответа, уменьшается величина поднятия груза.

В результате облучения СВЧ волнами клубка олигохет было показано, что уменьшается не только амплитуда ответной реакции относительно контрольных механограмм (рис. 2, а), но и увеличивалось время, за которое трубочники возвращались в исходное состояние, что непосредственно влияло на выполняемую ими работу по поднятию поршня с грузом (рис. 2, б). Время между каждым экспериментом в условиях после облучения также составляло по 3 минуты.

В норме увеличение массы груза на фоне уменьшения высоты его поднятия (рис. 2, б) ведет к росту мощности отдельной единицы клубка. После некоторой максимальной величины мощности ответа (обусловленной оптимальными параметрами жизнедеятельности), проявляющейся обычно при нагрузке 3–5 г, наблюдается снижение величины поднятия груза. Поскольку мощность определяется произведением высоты h на массу груза m в единицу времени, то при увеличении нагрузки (выше оптимума) главную роль начинает играть скорость падения амплитуды динамограммы. Поэтому суммарная мощность системы,

определяемая по величине времени поднятия груза, начинает падать. При значительных нагрузках (свыше 10–12 г) «сжатые» олигохеты уже не способны производить массовое синхронизированное сокращение своих тел.

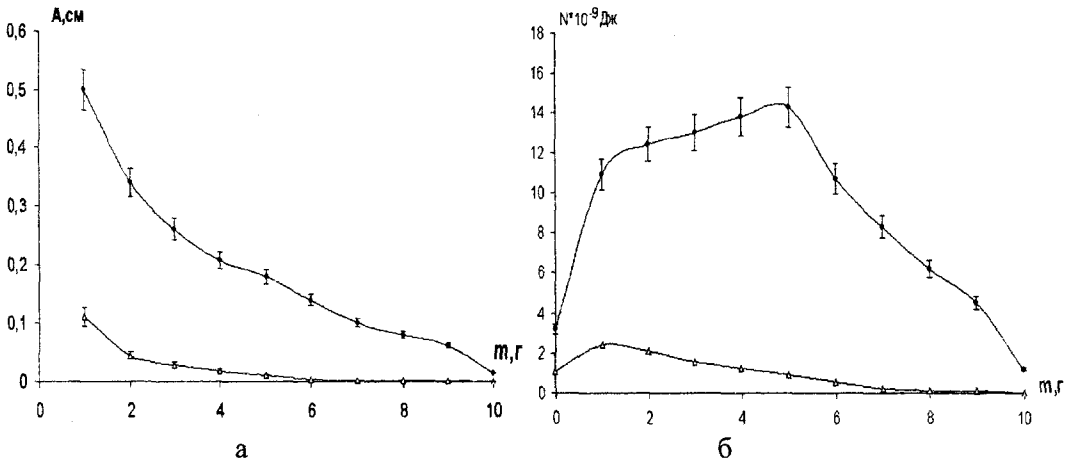


Рис. 2. Динамические параметры движения клубка олигохет до и после СВЧ-облучения. Графики зависимости высоты поднятия внешнего груза (а) и мощность отдельного червя (б) от величины массы груза. • – до облучения; Δ – после облучения. Указаны среднеквадратические отклонения

После соответствующего облучения наблюдалось как снижение высоты поднятия груза (рис. 2, а), так и снижение мощности, развиваемой исследуемой системой (рис. 2, б). При этом максимальная отдача наблюдалась при сравнительно малых грузах. Повышение нагрузки практически моментально снижало эффективность работы в десятки раз. Снижение мощности было связано не только с уменьшением величины поднимаемого груза, но также и с изменением скорости такого поднятия (рис. 3), что выражается в виде увеличения длительности переднего фронта механограммы.

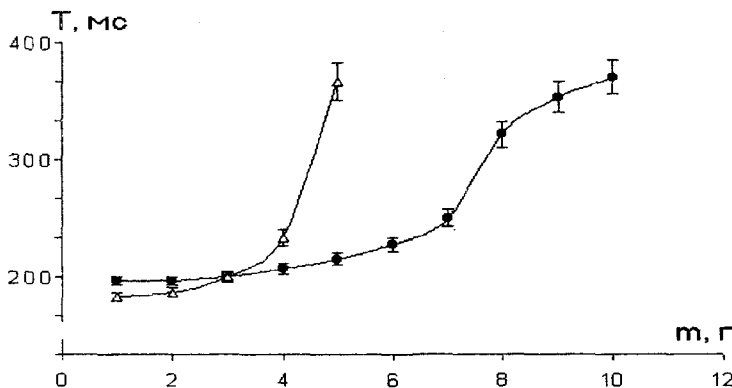


Рис. 3. График зависимости времени (Т) достижения максимальной амплитуды динамограммы от момента возникновения активности при различной нагрузке (m) на клубок олигохет. Обозначения – как на рис. 2

После облучения быстрый подъем груза может осуществляться только на малых (1–3 г) нагрузках, далее скорость поднятия стремительно уменьшается. В то

же время в норме постепенное торможение скорости выражено вплоть до 7–8 г, после чего также наблюдается стремительный рост переднего фронта динамограммы (рис. 3). На следующий день после облучения (через 24 часа) достоверных отличий в динамике подъема груза не было отмечено.

Одним из способов оценки активационных механизмов биологических систем является парная стимуляция. Первый (кондиционирующий) стимул создает условия для включения процессов восстановления энергетических ресурсов нервно-мышечной системы, эффективность которых можно определить по величине ответа на второй (тестирующий) стимул. В экспериментах с парными стимулами, найдя процентное соотношение амплитуды первого ответа ко второму, можно определить каким образом идет угнетение активности трубочников и провести оценку способности червей возобновлять свою работоспособность в контроле и после облучения. В таких исследованиях использовали «оптимальные» нагрузки.

При больших интервалах времени между двумя последовательными раздражениями амплитуда динамограммы на тестирующий стимул приближается по величине к таковой для кондиционирующего. В норме при интервалах 2,5–3 мин тестирующий ответ достигает 100% от кондиционирующего. По мере уменьшения межстимульного интервала (рис. 4, а) наблюдается последовательное снижение амплитуды тестирующего ответа, причем такое снижение идет без наличия каких-либо локальных волн. Практически к 7–10 с после кондиционирующего стимула второй ответ полностью исчезает.

Снижение амплитуды кондиционирующего стимула ведет к увеличению тестирующего ответа при том же межимпульсном интервале (рис. 4, б). Такое пассивное растормаживание связано, вероятно, с уменьшением вовлечения количества олигохет в первое сокращение, что дает прирост в величине поднятия поршня при приходе второго стимула.

После СВЧ-облучения отмечается несколько более интенсивное снижение амплитуды динамограмм на тестирующий стимул, чем в контроле (рис. 4, а). Соответственно олигохеты дольше приходят к исходному состоянию. На интервалах менее 12–15 с ответной реакции практически не видно.

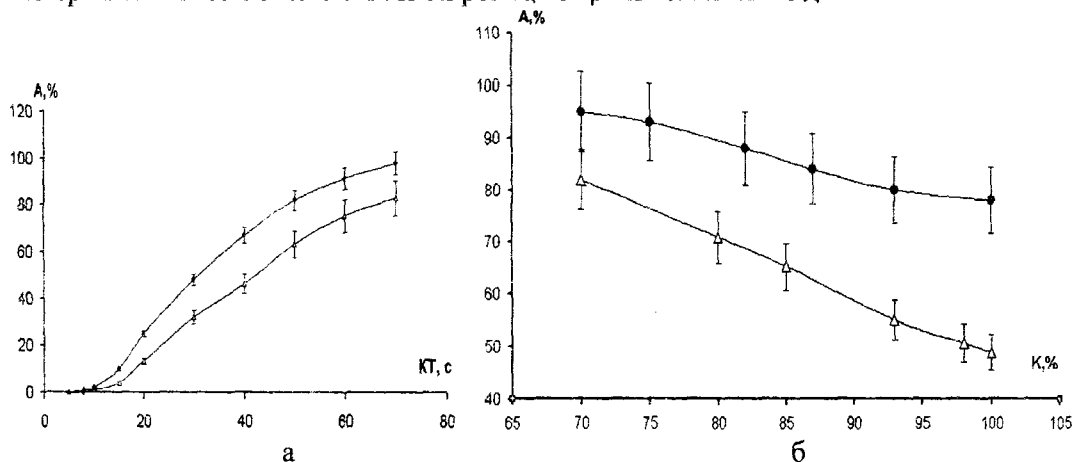


Рис. 4. Изменение амплитуды динамограмм олигохет при парной стимуляции клубка:
а – графики изменения величины тестирующего ответа (А) от межимпульсного интервала между стимулами (в % от амплитуды максимального кондиционирующего); б – изменения амплитуды (А) тестирующего ответа от величины ответа на кондиционирующий стимул (в %) при межимпульсном периоде 50 с. Обозначения – как на рис. 2

Уменьшение силы стимуляции при кондиционирующем раздражении после облучения ведет к увеличению тестирующего ответа, причем скорость

восстановления тестирующего (угол наклона кривой) в этом случае большая по сравнению с таковой для контрольного опыта. Если экстраполировать график прямой линией $y=a+bx$, то коэффициент b равен соответственно -0,61 и -1,12 для нормы и облучения. Отрицательный знак указывает на направление изменения – с ростом кондиционирующего стимула тестирующая динамограмма уменьшается.

Обсуждение и выводы

Трубочники имеют надглоточные ганглии (напоминающие по функциям зачаточный головной мозг), потому их сложная реакция тканей мозга на электромагнитные поля проявляется не только в индивидуальных, но и коллективных свойствах многоклеточных систем, состоящих из физиологически связанных элементов, которые, возможно, не могут быть найдены в поведении изолированных элементов.

В настоящее время ведутся поиски адекватных методик оценки влияния физических факторов (электромагнитных полей) на живые объекты разной сложности [1; 2]. Обычно исследования идут как на системном, так и клеточном уровнях. Во многих случаях – и при наличии сложной системы управления организма, и при отсутствии явного поражения отдельной живой клетки – эффекты слабого воздействия внешнего излучения могут быть незамеченными [4]. Однако использование организованной совокупности сравнительно простых организмов может выявить эффекты, ранее не обнаруженные в других системах [6]. Поскольку волны СВЧ влияют на катаболические процессы [3], то на уровне олигохет такие изменения могут выражаться быстрее, чем у более крупных и сложных биологических систем.

Представленные материалы исследований в целом свидетельствуют о негативном влиянии СВЧ излучения 3-сантиметрового диапазона на живой организм олигохет. Анализ графиков на рисунках 2–4 показывает, что значительно уменьшается эффективность работы системы на всем диапазоне нагрузок и частот. Так, существенно (в 2–2,5 раза) уменьшается масса, которую способны поднять олигохеты до и после облучения (рис. 2, 3). Если максимальное её значение до облучения составляло 10 г, то после – только 4 г. Одновременно снижается время удержания груза в поднятом состоянии, что отражается в снижении интегральной величины динамограммы. Также значительно изменилась высота подъема груза – после облучения она составляет 15–20% от максимальной высоты до облучения. Увеличение нагрузки на клубок приводит к уменьшению скорости поднятия груза (возрастает передний фронт динамограммы) и в конечном итоге к существенному снижению мощности системы в целом (на порядок), что и отображает график на рис. 2, б. Следовательно, после облучения уменьшается эффективность длительных трофических процессов в организме олигохет. Поскольку кровь олигохет содержит гемоглобин, возможно снижение общего количества эритроцитов и снижение процентного содержания гемоглобина в крови, что является характерным для красной крови при воздействии электромагнитного поля СВЧ диапазона [8].

Парная стимуляция (рис. 4) показала, что после облучения уменьшается возбудимость олигохет, что находит свое отражение в снижении уровня тестирующего ответа относительно кондиционирующего до и после воздействия физического фактора. Уменьшение кондиционирующего ответа стимула ведет к увеличению амплитуды динамограммы, причем такой процесс более выражен для случая после облучения. Небольшое уменьшение фронта динамограмм после облучения при малых и очень малых нагрузках также может свидетельствовать о временном повышении возбудимости после воздействия СВЧ-поля.

Поскольку олигохеты имеют довольно развитую нервную цепочку, способную

интегрировать внешние раздражители в соответствующую двигательную и сигнальную реакции, можно предположить, что действие электромагнитного поля на неё вызывает повышенную реакцию на внешний раздражитель и обеспечивает начальный ускоренный ход нервных процессов, а также нервно-мышечной передачи. Такой настрой, вероятно, требует больших энергозатрат, что в конечном итоге приводит к ослаблению физических возможностей и снижению выносливости при воздействии повышенных нагрузок.

Таким образом, исследования показали изменения, которые можно связать как с основными биохимическими реакциями, идущими при активной мышечной работе, так и с управленческими процессами на уровне нервной и нервно-мышечной системы. По-видимому разделить вклад таких процессов в общую реакцию олигохет на внешнее СВЧ-облучение вообще невозможно, поскольку такие процессы полностью взаимосвязаны и не существуют по отдельности.

Библиографические ссылки

1. Базанова Э. Б. Некоторые вопросы методики и результаты экспериментального исследования воздействия СВЧ на микроорганизмы и животных / Э. Б. Базанова, А. К. Брюхова, Р. Д. Виленский // Успехи физических наук. – 1973. – 110, вып. 3. – С. 455–456.
2. Голант М. Б. Влияние монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона малой мощности на биологические процессы // Биофизика. – 1986. – 31, № 1. – С. 139–147.
3. Девятков Н. Д. Научное обоснование возможности использования электромагнитных излучений миллиметрового диапазона малой мощности в медицине и биологии / Н. Д. Девятков, О. В. Бецкий, М. Б. Голант // Биол. эффекты электромагнитных полей. – Пушино: Научный центр биологических исследований АН СССР, 1986. – С. 75–94.
4. Перспективные исследования и методы для медицины и биологии // Электронная промышленность, 1985. – № 1. – С. 6–13.
5. Резонансный характер воздействий радиоволн миллиметрового диапазона на биологические системы / Л. А. Севастьянова, А. Г. Бородин, Э. С. Зубенкова и др. // Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты: Сб. статей / Под ред. Н. Д. Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1983. – С. 34–37.
6. Шугуров О. А. Использование червей *tubifex* для оценки влияния экологических факторов / О. О. Шугуров, О. С. Фурман // Вісник Дніпропетр. ун-ту, Серія Біологія. Екологія. – 2004. – Вип. 12, № 1. – С. 200–205.
7. Chapman P. M. Relative tolerances of selected aquatic oligochaetes to individual pollutants and environmental factors / P. M. Chapman, M. A. Farrell, R. O. Brinkhurst // Aquat. Toxicol. – 1982. – № 2. – P. 47–67.
8. Frohlich H. The biological effects of millimeter waves // Models Photorespon-siveness. Proc. NATO Adv. Study Inst. (San Moniato 29 Aug.– 8 Sept. 1982). – New York, London, 1983. – P. 30–42.
9. Grundler W., Kellmann F. Sharp resonances in yeast growth prove nont-hermal sensitivity in microwaves // Phys. Rev. Letters. – 1983. – Vol. 51, № 13. – P. 1214–1216.
10. Reynoldson T. B. A sediment bioassay using the tubificid oligochaete worm *Tubifex tubifex* / T. B. Reynoldson, S. P. Thompson, J. L. Bamsey // Environ. Toxicol. Chem. – 1991. – 10, № 5. – P. 1061–1072.
11. Verdonchot P. F. M. The role of oligochaetes in the management of waters // Hydrobiologia. – 1989. – 180, № 1. – P. 213–227.
12. Wiederholm T. Bulk sediment bioassay with five species of fresh-water oligochaetes / T. Wiederholm, A. M. Wiederholm, G. Milbrink // Water Air Soil Pollut. – 1987. – 36, № 1. – P. 131–154.

Надійшла до редколегії 12.02.05