

Дослідження впливу мікрохвильового опромінення на деякі гідробіонти

О. О. Григор'єва, О. В. Вакулєнко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Вул. Володимирська, 64, Київ, 01033, Україна

E-mail: grygorjeva@ukrpost.net

*Вивчено вплив мікрохвильового опромінення дециметрового діапазону з частотою 2450 МГц (довжина хвилі 12 см) на деякі гідробіонти тваринного та рослинного походження. Проаналізовано виживаність пуголовків жаби ставкової *Rana esculenta* і личинок комарів *Culex pipiens molestus* Forskal, а також швидкість руху протоплазми клітин *Vallisneria spiralis* L. під впливом електромагнітної радіації.*

Вступ. Науково-технічний прогрес, що надає людству великі можливості для застосування високих технологій та користування найсучаснішими приладами, не лише відкриває перед ним широкі перспективи для розвитку, а й змушує враховувати наслідки, спричинені впливом новоз'явлених згубних факторів на довкілля.

Зокрема, забруднення навколишнього середовища електромагнітним опроміненням, рівень якого невинно зростає, має розглядатися як фактор, не менш небезпечний, аніж забруднення повітря, погіршення якості питної води тощо [1]. У зв'язку з цим вивчення впливу мікрохвильової радіації на різноманітні біологічні об'єкти є вкрай важливим і необхідним.

У даній роботі представлено результати дослідження реакції пуголовків жаби ставкової *Rana esculenta*, комарів *Culex pipiens molestus* Forskal та протоплазми клітин *Vallisneria spiralis* L. на надвисокочастотне (НВЧ) випромінювання з частотою 2450 МГц, що відповідає діапазону частот деяких антропогенних джерел (радіолокаційних систем та ін.) [2].

Матеріали і методи. Дослідні пуголовки *R. esculenta* отримано з ікри в лабораторних умовах і на час експерименту вони проходили 39-у стадію свого розвитку [3]. Їх утримували при середній температурі води 22 °С та годували вареним жовтком курячого яйця. Воду міняли через день, зливаючи 2/3 від усього об'єму.

Личинки комарів *C. pipiens molestus* Forskal також одержано в лабораторних умовах з автогенних кладок і на період дослідження вони перебували на першій стадії розвитку. Утримували їх у скляних посудинах (по 50 особин у кожній) при середній температурі води 18,5 °С. Кількість води в посудині становила 450 мл. Воду брали відстояну з крану, доливаючи з часом до потрібного об'єму. Годували личинок лабораторним кормом.

Проведені на зоологічних об'єктах експерименти були спрямовані на дослідження безпосереднього впливу НВЧ опромінення на живі організми, у тому числі опромінення при попередньому охолодженні, та з'ясування накопичувального ефекту, а також опосередкованого впливу радіації (через опромінену воду).

Безпосередній вплив вивчали, опромінюючи тварин, які знаходилися у воді. Опромінення при попередньому охолодженні здійснювали, поміщаючи їх безпосередньо перед обробкою в охолоджену до 0 °С воду і відразу опромінюючи протягом певного відрізка часу. Для дослідження власне теплового ефекту об'єкти пересаджували у воду, підігріту звичайним способом, на той же час і при тій же температурі, за яких вони перебували під дією мікрохвиль. В усіх цих випадках відразу після закінчення процесу температуру води знову доводили до 18,5 °С (доливаючи холодну воду) для припинення впливу високої температури.

Опосередкований вплив НВЧ випромінювання досліджували на личинках комарів, пересаджуючи

їх у шойно опромінену воду, початкова температура якої була 0 °С, а надалі за допомогою мікрохвиль доведена до 18,5 °С. Наявність чи відсутність накопичувального ефекту встановлювали, щоденно опромінюючи личинок (20 днів по 44 кГр), причому воду в посудині не міняли протягом усього експерименту.

Для дослідів з валісерією відбирали подібні за розміром і зовнішнім виглядом рослини з широкими напівпрозорими листками. З кожної рослини брали по одному листку, використовуючи в експерименті його частину біля основи, де розташовані молоді клітини, які зберігають рух протоплазми [4]. Цю частину розрізали поперек стебла на три ділянки довжиною 1 см таким чином, що ділянка *a* знаходилася біля самого кореня, ділянка *b* — далі за нею і ділянка *c* — була найдистальнішою.

Опромінення проводили за такою схемою: 1-й листок: ділянка *a*₀ — контроль; ділянка *a*₁ — опромінення 1-ю дозою; ділянка *a*₂ — опромінення 2-ю дозою; 2-й листок: ділянка *a*₁ — опромінення 1-ю дозою, ділянка *a*₂ — опромінення 2-ю дозою, ділянка *a*₀ — контроль; 3-й листок: ділянка *a*₂ — опромінення 2-ю дозою, ділянка *a*₀ — контроль, ділянка *a*₁ — опромінення 1-ю дозою.

Застосовування такої схеми, яку формально можна означити як схему циклічної перестановки індексів при символах *a*, *b* і *c*, давало змогу виключити вплив відмінностей у швидкостях руху протоплазми в клітинах різних рослин або ділянок однієї і тієї ж рослини. Інакше в ході експерименту важко визначити, з чим пов'язана різниця в швидкості руху протоплазми контрольних і експериментальних груп — з опроміненням чи з первинними фізіологічними особливостями рослини. Для більшої точності в кожному експерименті чергували контрольні та опромінені ділянки. З них готували тимчасові препарати, які вивчали під світловим мікроскопом «Carl Zeiss» з об'єктивом 50-разового і окуляром-мікрометром 7-разового збільшення.

Швидкість руху протоплазми визначали за швидкістю руху хлоропластів, які переміщувалися з її потоком і були зручним об'єктом для спостереження. Швидкість руху вимірювали за допомогою секундоміра і окуляра-мікрометра, засікаючи, за скільки секунд хлоропласт проходить 10 поділок мікрометра, що відповідало переміщенню *s** зображення хлоропласта у площині зображення об'єктива, рівному *s** = 1 мм, та реальному переміщенню *s* об'єкта спостереження, рівному *s* = *s**/50 = 20 мкм. Швидкість *v* руху хлоропластів обчислювали за формулою: $v = s/t$, де *t* — час, за який хлоропласт проходить 20 мкм реального шляху, тобто 10 поділок мікрометричної шкали.

Враховуючи малі розміри організмів, а також те, що вони містять у собі до 95—98 % води, їхню температуру і поглинальну здатність електромагнітної радіації оцінювали за відповідними показниками води, в якій перебували підослідні гідробіонти. Таким чином, дозу поглиненої радіації *D*, тобто кількість теплової енергії, яка виділилася в одиниці об'єму води за час опромінення, визначали за величиною $\Delta t = t_2 - t_1$, де *t*₁ — температура води до опромінення; а *t*₂ — після опромінення. Якщо врахувати, що теплоємність води *c* приблизно дорівнює 4,2 Дж·г⁻¹·°С⁻¹, то $D = 4,2\Delta t$.

Обробку дослідних даних проводили за стандартними математичними методами [5].

Результати і обговорення. Результати експериментів з *R. esculenta* та *C. pipiens*, отримані на наступний день після опромінення, наведено в табл. 1. В обох випадках відмічено явне зростання смертності із збільшенням дози мікрохвильової радіації. Щоправда, комарі краще витримують нагрівання середовища до високих температур, ніж пуголовки, але закономірності реакції на опромінення зберігаються ті ж самі. Це підтверджують і дані табл. 2, в якій представлено результати опромінення личинок комарів 1-го віку, доведених в подальшому до стадії імаго.

Як видно з цієї таблиці, просте нагрівання води до 40 °С фактично ніяк не впливає на життєздатність підослідних об'єктів. Водночас опромінення мікрохвилями, яке нагріває воду до такої ж температури, призводить до високої смертності, підтверджуючи наявність радіаційного ефекту. З іншого боку, при опроміненні з попереднім охолодженням, коли процес тривав не менше, ніж у попередньому випадку, відхід дуже незначний або і взагалі нульовий.

Це, можливо, пов'язано з локальними перегріваннями, які можуть на кілька порядків перевищувати середні величини підвищення температури в усьому об'ємі і виникають внаслідок гетерогенності біологічних тканин за діелектричною проникністю та електропровідністю, що призводить до нерівномірного поглинання енергії [6].

Таку особливість впливу мікрохвильового випромінювання на біооб'єкти можна пояснити тим, що водні системи живих організмів неоднорідні за станом води. Так, внутрішньоклітинна рідина містить лише «зв'язану» воду гідратних оболонок компонентів клітини і на відміну від міжклітинної рідини не містить «вільної» води. Біологічні і фізіологічні функції біосубстратів і органодів залежать від структурних властивостей як їхніх гідратних оболонок, так і біорідини, що їх оточує. НВЧ опромінення, на нашу думку, може безпосередньо

Таблиця 1

Результати дослідів опромінення пуголовків жаби ставкової *Rana esculenta* і личинок *Culex pipiens molestus* Forskal 2-го віку електромагнітною радіацією з частотою $\nu = 2450$ МГц

Тип впливу	t_1 , °C	t_2 , °C	t , с	D , кГр	Відхл., %
<i>Rana esculenta</i> ¹					
Контроль	18,5	18,5	—	0	0
Контроль з попереднім охолодженням	3,0	16,5	—	0	0
Пряме опромінення	18,5	28,0	30	40	0
Пряме опромінення	18,5	33,5	45	63	23±2
Опромінення з попереднім охолодженням	3,0	24,5	60	90	0
Пряме опромінення	18,5	38,0	60	82	96±2
Просте нагрівання	18,5	38,0	—	0	11±1
<i>Culex pipiens molestus</i> Forskal ²					
Контроль 1	26,0	26,0	—	0	0
Пряме опромінення	26,0	40,0	45	58,8	4±1
Пряме опромінення	26,0	44,0	60	75,6	35±4
Контроль 2	33,0	21,5	60	0	2±2
Опромінена вода	0	33,0	60	90	1±1
Контроль 3	0	33,0	30	0	5±3
Опромінення з попереднім охолодженням	0	33,0	90	138,6	5±2

П р и м і т к а. Кількість досліджених особин становила 26¹ та 100². Тут і в табл. 2—4 t_1 і t_2 — температура води до і після опромінення відповідно; t — час, протягом якого відбувалося опромінення; D — доза поглиненої радіації.

Таблиця 2

Результати дослідів опромінення личинок *Culex pipiens molestus* Forskal 1-го віку електромагнітною радіацією з частотою $\nu = 2450$ МГц

Тип впливу	t_1 , °C	t_2 , °C	t , с	D , кГр	Відхл., %
Контроль 1	18,5	18,5	0	0	86±1
Пряме опромінення	18,5	49,0	30	128	0
Пряме опромінення	18,5	40,5	25	92	52±5
Опромінення з попереднім охолодженням	0	36,0	45	151	83±3
Опромінена вода	0	18,5	55	78	81±1
Просте нагрівання	18,5	45,0	30	0	0
Просте нагрівання	18,5	40,0	30	0	86±1
Контроль 2	21,5	21,5	0	0	0
Багаторазове опромінення	21,5	32,0	30 ^x 20	44 ^x 20	76±3

П р и м і т к а. Кількість досліджених особин становила 50.

впливати на ці структури і, таким чином, посилювати тепловий ефект руйнації організмів [7].

Потрібно також зауважити, що найбільша загибель спостерігається на наступний день після опромінення.

Досліди з *Vallisneria spiralis* показали, що рослини більш витривалі до мікрохвильової радіації у порівнянні із тваринами. Так, із даних табл. 3 випливає, що при опроміненні дозою 109 кГр, яка відповідає температурі нагрівання води до 52 °C,

Таблиця 3

Результати дослідів опромінення *Vallisneria spiralis* L. електромагнітною радіацією з частотою $\nu = 2450$ МГц

Тип впливу	t ₁ , °C	t ₂ , °C	t, с	D, кГр	Швидкість, мкм/с
Контроль	25,0	25,0	0	0	11,7±0,6
Пряме опромінення	25,0	45,0	30	84	12,1±0,5
Пряме опромінення	25,0	48,0	45	97	11,6±0,5
Пряме опромінення	26,0	52,0	50	109	5,6±0,6
Пряме опромінення	26,0	55,0	55	122	0

Примітка. Кількість вимірів становила 30.

протоплазма деяких клітин все ще зберігає рух, хоча у багатьох клітинах хлоропласти кучкуються і руху взагалі не відбувається. Доза 122 кГр (55 °C) виявляється вже летальною для рослин: відсутність руху спостерігається в усіх клітинах валіснерії. У роботі [8] детально описано зміни, які відбуваються у протоплазмі як рослинних, так і тваринних об'єктів при підвищенні температури. Це, по-перше, зменшення ступеня дисперсності, яке при наближенні до летальних температур призводить до коацервації, що виражається появою в клітині тих чи інших структур, по-друге, зміна в'язкості, яка спочатку зменшується, а надалі (у сублетальній області) швидко зростає і, по-третє, зміна вмісту води у протоплазмі. Всі згадані викликані температурою колоїдні зміни врешті-решт спричиняють зупинку руху протоплазми.

Таким чином, ефект дії мікрохвильової радіації на організми має сукулний ефект — температурний і радіаційний — і найвиразніше проявляється у перші дні після опромінення. В умовах проведених експериментів не виявлено дії накопичувального ефекту мікрохвильового випромінювання дециметрового діапазону. Попереднє опромінення води не впливає на життєздатність піддослідних тварин. Летальна доза опромінення досліджених рослин перевищує таку опромінення тварин.

О. О. Grygor'jeva, O. V. Vakulenko

Investigation of results of microwave irradiation of some hydrobionts

Summary

In this paper, the influence of microwave irradiation of decimeter range with the frequency 2450 MHz (wavelength 12 cm) on some hydrobionts including objects of animal and vegetable origin, was investigated. We studied the vitality of tadpoles of *Rana esculenta*, gnats of *Culex pipiens molestus* Forskal, and movement velocity of protoplasm of cells of *Vallisneria spiralis* L. under influence of electromagnetic radiation. It was shown that radiation has mainly thermal influence on the vitality of animals, though the critical temperature of radiation heating is lower than that of ordinary heating. The cumulative effect of the microwave radiation of the decimeter range was not observed. The vegetables displayed more stability to radiation than the animals.

О. О. Григор'єва, О. В. Вакулєнко

Исследование влияния микроволнового облучения на некоторые гидробионты

Резюме

Изучено влияние микроволнового облучения дециметрового диапазона (длина волны 12 см) с частотой 2450 МГц на некоторые гидробионты животного и растительного происхождения. Интенсивность влияния электромагнитного облучения определяли по жизнестойкости головастиков *Rana esculenta*, личинок комаров *Culex pipiens molestus* Forskal и по скорости движения протоплазмы клеток *Vallisneria spiralis* L. Показано, что сверхвысокочастотное облучение имеет преимущественно тепловое действие. Накопительный эффект радиации в данном диапазоне не обнаружен. Растительные объекты оказались более стойкими к облучению по сравнению с животными.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Контарь А. А., Марков Д. В., Терещенко А. И. О воздействии СВЧ-излучения на некоторые биологические объекты // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.—1999.—Вып. 111.—С. 68—70.
2. Коротков Ю. С., Буренков М. С., Буренкова Л. А., Пичугин В. Ю., Чунихин С. П., Энгельтов В. В. Реакция клеща *Hyalomma asiaticum* (Acarina, Ixodidae) на микроволны 1—4 ГГц // Мед. паразитология и паразитар. болезни.—1996.—№ 4.—С. 28—31.
3. Объекты биологии развития / Под ред. Т. А. Детлафа.—М.: Наука, 1975.—579 с.
4. Смирнова Н. Н., Сиренко Л. Я. Цитофизиологический метод экспресс-оценки токсичности природных вод // Гидробиол. журн.—1993.—29, № 4.—С. 95—101.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия.—М.: Высш. шк., 1990.—352 с.
6. Большаков М. А., Евдокимов Е. В., Маненко О. В., Плеханов Г. Ф. О влиянии ЭМИ дециметрового диапазона на морфогенез дрозофил // Радиаци. биология. Радиоэкология.—1996.—36, № 5.—С. 676—680.
7. Слесарев В. И. Химия: основы живого.—Санкт-Петербург: Химиздат, 2000.—212 с.
8. Насонов Д. Н., Александров В. Я. Реакция живого вещества на внешние воздействия. Денатурационная теория повреждения и раздражения.—М., Л.: Изд-во АН СССР, 1940.—252 с.

УДК 577.4:538.56

Надійшла до редакції 19.04.04