

УДК 576.7 + 537.876

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ПРОЦЕСС МИТОЗА В РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЯХ

Лебединский И.А., Лаврский А.Ю., Четанов Н.А., Кузаев А.Ф., Артамонова О.А.

ГОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет»,
Пермь, e-mail: chetanov@yandex.ru

Вопрос опасности для здоровья человека микроволнового излучения (300 МГц – 300 ГГц) является одним из актуальных вопросов на сегодняшний день. Данное исследование посвящено воздействию излучения частот, соответствующих частотам сотовой связи стандарта GSM и близкого к ним диапазона частот. В качестве источника излучения использована радионизлучающая установка с постоянным сигналом, настроенная на обеспечение уровня сигнала на уровне мощности сотового телефона. В качестве тестового объекта использован лук *Allium cepa* для оценки митотического индекса по методике *allium test*. Эксперимент поставлен таким образом, чтобы обеспечить облучение именно анализируемых тканей корня, максимально снизив воздействие на остальные ткани тестового объекта. Выращивание тестового объекта производилось при термостатировании опытной установки, обеспечивающей постоянную температуру во всех повторностях. Анализ полученных данных позволяет говорить о существовании нелинейной зависимости между частотой электромагнитного излучения и его митотоксическом влиянии на тестовые объекты. Значительным митотоксическим эффектом обладает излучение в диапазоне 800-930 МГц, что соответствует стандарту сотовой связи GSM 850/900.

Ключевые слова: *Allium test*, митотический индекс, влияние ЭМИ, электромагнитный смог, митоз, клеточный цикл, GSM, митотоксический эффект

INFLUENCE OF FREQUENCY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF DECIMETER RANGE ON MITOSIS IN PLANT TISSUES

Lebedinskij I.A., Lavrskij A.Y., Chetanov N.A., Kuzaev A.F., Artamonova O.A.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, e-mail: chetanov@yandex.ru

Problems of hazard caused by electromagnetic radiation in microwave range (300 MHz – 330 GHz) is one of very actual modern problems. This investigation dedicated to effect of GSM-frequency and near range radiation on live tissue. We use special installation to provide signal of various frequencies with power level aligned to be equal to signal level of GSM-900/1800 cellular phone. As the test object we used *Allium cepa* to count mitotic index by *allium-test* method. Experiment conditions aimed to provide influence of electromagnetic radiation on examined tissue and to reduce undesired influence on other tissues of test object. Test objects grewed in conditions of constant temperature, provided by thermostating of experimental installation. An experiment result indicates a non-linear dependence between radiation frequency and its toxic effect. The most significant mitotoxic effect belongs to radiation in range of 800-930 MHz, what corresponds to GSM 850/900 range.

Keywords: *Allium test*, mitotic index, electromagnetic radiation, electromagnetic smog, mitosis, cell cycle, GSM, mitotoxic effect

Современные системы беспроводной передачи данных бурно развиваются с общей тенденцией повышения рабочих частот. Совершенствование производственных процессов ведет к постоянному удешевлению полупроводниковой техники, это позволяет применять компактные приемопередающие модули для решения более широкого круга задач и влечет за собой возрастание уровня СВЧ-излучений различных частот и модуляции в среде антропогенных ландшафтов. Фактор электромагнитного смога влияет на различные организмы, но в большей степени, без сомнения, на человека. Вероятно, ни один современный житель города не может представить своё существование без средств мобильной связи, таким образом добровольно подвергая себя воздействию электромагнитных излучений.

По мнению ряда авторов, естественный электромагнитный фон является одним из факторов эволюционного процесса, но су-

щественно не угнетает жизнедеятельность организмов [2]. Спектр искусственных источников СВЧ-излучений в отличие от фона имеет области со значительной интенсивностью, кроме того, направленные источники колебаний в случае человека нередко находятся в непосредственной близости от живых тканей. Эукариотическая клетка, растительная или животная, представляет собой сложнейшую систему из электрически-неоднородных элементов, областей концентрации зарядов с динамическим равновесием ионов, характерным для ее нормальной жизнедеятельности, либо того или иного функционального состояния [1].

Именно клетка, содержащая ядро, представляется наиболее чувствительной к высокочастотным колебаниям из-за относительно больших размеров и значительно большей протяженности заряженных мембранных структур по сравнению с прокариотами. Эти факты говорят в пользу

предположения, что взаимодействия клетки с периодическими колебаниями электрического и магнитного полей могут не ограничиваться исключительно температурным эффектом, т.е. поглощением энергии радиоволн с преобразованием в тепловую, что подтверждается работами ряда исследователей [3].

Вопрос опасности для здоровья человека микроволнового излучения (300 МГц–300 ГГц) является одним из актуальных вопросов на сегодняшний день. Область микроволнового излучения активно осваивается, и доля оборудования, работающего на частотах более 2–3 ГГц, неуклонно растёт. 19 августа 2009 года Государственная комиссия по радиочастотам приняла решение выделить полосы радиочастот 5150–5350 и 5650–6425 МГц для использования частными и юридическими лицами [8].

Многие исследования, посвящённые данному вопросу, проводились с использованием непосредственно оборудования, такого как сотовые телефоны, ретрансляторы Wi-fi и т.п. в качестве источника излучения [5, 9]. Несмотря на несомненную приближенность таких экспериментов к реальным условиям, при которых такое оборудование воздействует на живые организмы, остаются некоторые вопросы, решение которых при данном подходе представляется достаточно трудоёмким. Например, в случае использования сотового телефона достаточно сложно оценить реальную мощность излучения, приходящуюся на опытный материал, так как при работе в сети сотовый телефон не излучает постоянного сигнала, а посылает через определённые промежутки времени пакеты сигналов с разной мощностью излучения в зависимости от качества связи в данной соте. Таким образом, при максимальной мощности передатчика сотового телефона 2 Вт (стандарт GSM-900) мощность сигнала может колебаться в широких пределах.

Целью данной работы являлось установление воздействия СВЧ непосредственно на делящиеся клетки при помощи методики *allium test* [1, 6, 7, 10].

В качестве тестового объекта был выбран лук (*Allium cepa*) сорта Штутгартенризен, использовались луковицы диаметром 15–18 мм.

При облучении полностью всей луковицы возможны малопредсказуемые отклонения, связанные с нарушением обмена веществ, например, изменения синтеза фитогормонов в донце луковицы [2, 3, 4], соответственно влияющие на интенсивность митоза в клетках корня. Для нивелирования этого и ряда других факторов

была разработана облучающая установка, описанная ниже.

Жидкая среда, на которой проращивались луковицы во всех опытах и контроле термостатировалась при температуре 25,0°C. Из-за неоднозначного влияния искусственных составов в качестве среды для проращивания всей серии опытов применялась разово закупленная природная артезианская вода с известным и сбалансированным ионным составом.

Для равномерного облучения корней 10–12 луковиц лука сорта Штутгартенризен диаметром 15–18 мм проращивались в прямоугольной пластиковой кювете объемом 1270 мл, в узкой канавке из пищевого пластика, образованной стенкой кюветы и прямоугольной вставкой. В верхней части канавка расширялась, позволяя донцам луковиц свободно погружаться в раствор. Образованная полость толщиной 3 мм нижней и боковыми краями сообщалась с объемом кюветы, таким образом, корни располагались веерообразно, не контактируя ни с чем в толще раствора концевыми участками, что предотвращает влияние механических контактов на корневую прирост.

Луковицы снизу экранировались от области облучения сеткой из нержавеющей стали с ячейкой 1 мм, расположенной сразу под донцами, через которую корни проходили в кювету, по бокам и сверху – кожухом из фольгированного пенополиэтилена с вентиляционными отверстиями. Эта мера направлена на предотвращение облучения апикальной меристемы луковиц и возможного изменения уровня фитогормонов, влияющих на рост корней.

Излучатель электромагнитных колебаний, помещенный в гидроизоляционный чехол, располагался вдоль всей боковой стенки кюветы и представлял собой антенну, выполненную на полоске стеклотекстолита с подключенным экранированным кабелем.

Такая конструкция позволяет равномерно облучать исследуемый материал, измеряя амплитуду воздействующих колебаний в разных участках зоны прорастания с помощью анализатора спектра с предварительно откалиброванной шкалой. Размещение образцов в непосредственной близости от излучателя позволяет облучать большее их количество с равномерной мощностью. Вся конструкция помещалась в экранированный заземленный металлический кожух, воздух в который подавался микрокомпрессором со скоростью 2,3 л/мин.

Источником излучения служил генератор РГШ-3000 (производство ООО «Радий-ТН»), сигнал которого усиливался усилителем на основе микросхемы GSM-

передатчика SKY77325. Уровень и частота сигнала устанавливались и корректировались при помощи анализатора спектра электромагнитных излучений.

Уровень сигнала эквивалентен уровню сигнала телефона GSM-850, GSM-900, GSM-1800, GSM-1900. (Откалиброван по мощности сигнала телефона E-Ten glofish – X500, SAR = 0,74 Вт/кг). Луковицы подвергались воздействию электромагнитного излучения непрерывно в течение 16 часов.

Интактный контроль выращивался в этой же установке при выключенном излучателе.

После облучения корни помещались в фиксатор Кларка, затем окрашивались ацетоорсеином. Подсчёт митотического индекса осуществлялся на давленных препаратах, не менее 1000 клеток на корень.

Выборка для контроля и каждой частоты составила 10 луковиц. Были проведены опыты с использованием следующих частот: 660, 800, 930, 1000, 1110, 1252, 1853 МГц.

Для оценки достоверности различий между выборками использовался двухвыбо-

рочный *t*-тест Стьюдента для независимых выборок, при $p = 0,05$ размер выборки 10.

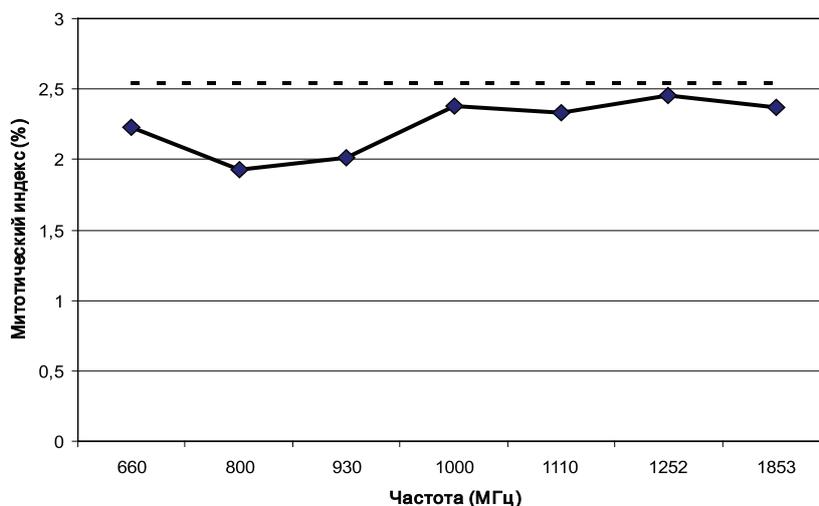
Результаты опытов приведены в таблице.

Митотический индекс клеток корней *Allium* сера при воздействии ЭМИ различных частот

Частота, МГц	$M \pm m$ (%)	<i>t</i> -критерий при сравнении контролем*
660	2,227 ± 0,148	2,632
800	1,923 ± 0,332	8,551
930	2,01 ± 0,216	5,682
1000	2,379 ± 0,28	3,823
1110	2,333 ± 0,16	1,791
1252	2,456 ± 0,37	0,79
1853	2,371 ± 0,255	2,448
Контроль	2,539 ± 0,294	-

Примечание. * значение $t_{кр} = 2,1009$; $p = 0,05$; $n = 10$.

Графически данные представлены на рисунке.



Влияние частоты излучения на интенсивность митоза в клетках корня лука (пунктирной линией обозначен митотический индекс контроля)

Наиболее значительное влияние на митотические процессы из рассматриваемых частот оказывают частоты 800 и 930 МГц, частота 800 МГц характеризуется наиболее низким митотическим индексом $1,923 \pm 0,332$. Применение *t*-теста Стьюдента не показало наличие достоверных отличий между выборками 800 и 930 МГц, таким образом, диапазон 800–930 МГц можно рассматривать как единый диапазон с наибольшим проявлением митотоксического эффекта электромагнитного излучения среди рассмотренных.

При воздействии частот 1110 и 1252 МГц достоверных отличий от контроля не наблюдается, в случае 1110 МГц отличие достоверно при уровне значимости 0,9.

Таким образом, диапазон частот, обладающий наибольшим митотоксическим действием, соответствует диапазону стандартов GSM-850/900 сотовой связи, с повышением частоты излучения наблюдается уменьшение его воздействия на делящиеся клетки, что, вероятно, связано с особенностями поглощения микроволнового излучения живыми клетками.

Вероятно, по степени митотоксического эффекта излучения микроволновый диапазон является неравномерным и имеет определенные, обладающие наибольшей выраженностью эффекта области, это косвенно подтверждается меньшим значением митотического индекса для частоты 1853 МГц в приведенных данных. Для установления таких участков микроволнового диапазона необходимы дальнейшие исследования.

Работа выполнена в рамках программы стратегического развития Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета ПСР/НИР-15.

Список литературы

1. Алов И.А. Цитофизиология и патология митоза. – М.: Медицина, 1972. – 263 с.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. – 169 с.
3. Иванов В.Б. Клеточные основы роста растений. – М.: Наука, 1974. – 231 с.
4. Коваленко О.И., Кивва Ф.В., Литвин В.В. Модификация биологической активности семян пшеницы низкоинтенсивным электромагнитным воздействием // Вестник КДПУ. – 2007. – № 6. – С. 47.
5. Исследование мутагенного эффекта модулированно-го увч излучения сотовых телефонов на растительных и животных организмах in vivo / Д.С. Песня, А.В. Романовский, И.М. Прохорова, Т.К. Артемова, М.И. Ковалева, А.Н. Фомичева, Е.С. Кондакова, К.М. Халюто, С.А. Вакорин. – 2010. – С. 924–929.
6. Прохорова И.М., Ковалева М.И., Фомичева А.Н. Оценка митотоксического и мутагенного действия факторов окружающей среды. – 2003. – С. 5.
7. Прохорова И.М. Растительные тест-системы для оценки мутагенов / сост. И.М. Прохорова. – Ярославль: ЯрГУ, 1988. – 13 с.
8. Решение ГКРЧ от 19 августа 2009 г. № 09-04-06-1 «Об упрощении процедуры выделения полосы радиочастот 5925–6425 МГц для использования радиорелейными станциями прямой видимости» и Решение ГКРЧ от 15 декабря 2009 № 09-05-03 «Об использовании полос радиочастот 5150–5350 МГц и 5650–6425 МГц радиоэлектронными средствами фиксированного беспроводного доступа».
9. Pesnya Dmitry S., Romanovsky Anton V. Comparison of cytotoxic and genotoxic effects of plutonium-239 alpha particles and mobile phone GSM 900 radiation in the Allium cepa test // Mutation Research. – 750 (2013). – P. 27–33.

10. Tedesco S.B., Laughinghouse H.D. Bioindicator of Genotoxicity: The Allium cepa Test // Environmental Contamination. – 2012. – P. 137.

References

1. Alov I.A. Citofiziologija i patologija mitoz. Moskva: Medicina, 1972. 263 p.
2. Devjatkov N.D., Golant M.B., Beckij O.V. Millimetrovye volny i ih rol' v processah zhiznedejatel'nosti. M.: «Radio i svjaz'», 1991. 169 p.
3. Ivanov V.B. Kletochnye osnovy rosta rastenij. Moskva: Nauka, 1974. 231 p.
4. Kovalenko O.I., Kivva F.V., Litvin V.V. Modifikacija biologicheskoj aktivnosti semjan pshenicy nizkointensivnym jelektromagnitnym vozdejstviem // Vestnik KDFU. 2007. no. 6. pp. 47.
5. Pesnja D.S., Romanovskij A.V., Prohorova I.M., Artemova T.K., Kovaleva M.I., Fomicheva A.N., Kondakova E.S., Haljuto K.M., Vakorin S.A. Issledovanie mutagenno go jefekta modulirovannogo UVCh izluchenija sotovyh telefonov na rastitel'nyh i zhivotnyh organizmah in vivo. 2010. pp. 924–929.
6. Prohorova I.M., Kovaleva M.I., Fomicheva A.N. Ocenka mitotoksicheskogo i mutagenno go dejstvija faktorov okruzhajushhej sredy. 2003. pp. 5.
7. Prohorova I.M. Rastitel'nye test-sistemy dlja ocenki mutagenov / Sost. I.M. Prohorova. Jaroslavl': JarGU, 1988. 13 p.
8. Reshenie GKRCCh ot 19 avgusta 2009 g. № 09-04-06-1 «Ob uproshhenii procedury vydelenija polosy radiochastot 5925–6425 MGc dlja ispol'zovanija radiorelejnymi stancijami prjamoj vidimosti» i Reshenie GKRCCh ot 15 dekabrja 2009 № 09-05-03 «Ob ispol'zovanii polos radiochastot 5150–5350 MGc i 5650–6425 MGc radiojelektronnymi sredstvami fiksirovannogo besprovodnogo dostupa».
9. Pesnya Dmitry S., Romanovsky Anton V. Comparison of cytotoxic and genotoxic effects of plutonium-239 alpha particles and mobile phone GSM 900 radiation in the Allium cepa test // Mutation Research. 750 (2013). pp. 27–33.
10. Tedesco S.B., Laughinghouse H.D. Bioindicator of Genotoxicity: The Allium cepa Test // Environmental Contamination. 2012. pp. 137.

Рецензенты:

Золотухин И.А., д.т.н., профессор кафедры ботаники, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Пермь;

Шураков А.И., д.б.н., профессор кафедры зоологии, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 18.06.2013.