

УДК 57.043:577.342

А.А. Остроумов^{1,2}, С.А. Палатная^{1,2}¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)² Объединённый институт высоких температур РАН

Использование семян яровой пшеницы для мониторинга влияния сверхширокополосных импульсов электромагнитного излучения на биосферу

Сверхширокополосные импульсы электромагнитного излучения (СШП ЭМИ) начинают сейчас использоваться в системах беспроводной связи, радиолокации и глобальной навигации. Немногочисленные исследования, найденные авторами, позволяют предположить, что СШП ЭМИ может оказывать значительное влияние на биосферу. Для дозиметрии этого влияния можно использовать методы биоиндикации, с использованием тест-растений, в частности, яровой пшеницы *Triticum aestivum*. В данной работе исследовалось влияние сверхширокополосных электромагнитных импульсов напряжённостью 115 кВ/м, частотой повторения 100 Гц при длительности менее 1 нс на семена пшеницы *Triticum aestivum* яровая, сорт Ангелена урожая 2005 года. Облучение сухих семян проводилось в течение 30 и 45 минут. В качестве индикаторных параметров использовались длина главного корня, длина стебля и процент жизнеспособности семян. Длина главного корня достоверно ($P < 0,05$) угнеталась облучением СШП ЭМИ при 30 и 45 минутах экспозиции по сравнению с контролем. Длина стебля стимулировалась при 30 минутах экспозиции ($P < 0,05$) и угнеталась ($P < 0,01$) по сравнению с контролем при экспозиции в течение 45 минут. Сделаны выводы о высокой чувствительности пшеницы к облучению СШП ЭМИ и о возможности её использования для мониторинга воздействия СШП ЭМИ на биосферу.

Ключевые слова: сверхширокополосные импульсы электромагнитного излучения, экологический мониторинг, пшеница, семена, метод проростков.

I. Введение

Последние годы характеризуются повышенным интересом к изучению антропогенного влияния электромагнитных полей и излучений на биосферу [1]. Это обстоятельство связано с тем, что возникло и сформировалось, по терминологии Всемирной организации здравоохранения, глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды — «электросмог». Его появление связано с развитием современных технологий приёма и передачи информации и энергии с помощью электромагнитных полей и излучений в очень широком диапазоне частот и интенсивностей. Общеизвестных биоиндикаторов электромагнитного загрязнения окружающей среды, как известно, не существует. Вместе с тем в настоящее время признается, что влияние электромагнитного загрязнения может приводить к непрогнозируемым экологическим последствиям, что требует своевременных исследова-

ний и оценки. Среди всех воздействий электромагнитных полей радиочастотного диапазона можно выделить сверхширокополосное излучение электромагнитных импульсов (далее СШП ЭМИ) или же видеопульсов, которое сейчас начинает использоваться как системы беспроводной связи, глобальной навигации и радиолокационного обнаружения [2].

Эти импульсы интересны тем, что пиковая напряжённость электрического поля сопоставима с полем микроскопических конденсаторов, используемых для электропорации клеточных мембран (0,5–15 кВ/см в зависимости от типа клеток [3–5]). При этом фронт нарастания импульса ~ 1 нс, что на 2 порядка меньше, чем характерное время нарастания напряжённости электрического поля при ударе молнии (~ 100 нс) — самое быстрое в природе изменение электромагнитного поля, которому могут подвергнуться живые существа. При формальном разложении в спектр Фурье СШП ЭМИ обладают очень широким спектром и воспринима-

ются приёмником, в роли которого может быть и биологический объект, как большое количество монохроматических сигналов с близкими частотами, поэтому СШП ЭМИ могут возбуждать осцилляторы с заранее неизвестными собственными частотами. Также необходимо отметить, что тепловая мощность СШП ЭМИ излучения невелика, и значительного нагрева биологических объектов не происходит. Вышеперечисленные свойства СШП ЭМИ вызывают большой научный интерес, в частности, автором были найдены статьи о влиянии СШП ЭМИ на мембраны клеток в культуре *in vitro* [6, 7]. Острое и хроническое влияние СШП ЭМИ оказывают на сердечно-сосудистую систему млекопитающих *in vivo* [8, 9] и кроветворные функции млекопитающих *in vivo* [10]. Поведение млекопитающих меняется при остром облучении СШП ЭМИ [11]. Поведение и морфология мозга облученных СШП ЭМИ *in utero* крысят отличались от соответствующих параметров контрольной группы даже тогда, когда крысята достигли половой зрелости [12]. Из вышеперечисленных фактов можно сделать вывод о малоизученности влияния СШП ЭМИ на биосферу и о актуальности мониторинга влияния СШП ЭМИ с помощью тестовых биологических объектов. Использование аппаратных детекторов СШП ЭМИ излучения сопряжено с многими трудностями, возникающими из-за широкого спектра сигнала, и малого потока энергии сигнала. Также в предположении о нетепловых эффектах СШП ЭМИ сложно написать формулу для дозы, которая может иметь размерность, отличную от энергии.

Поэтому проблема точного и практического биологического детектора для дозиметрии влияния СШП ЭМИ на биосферу является очень актуальной.

В качестве этого детектора можно использовать семена пшеницы, которые восприимчивы к низкочастотным электромагнитным полям [13], в частности, полям ЛЭП [14]. Также стоит отметить высокую чувствительность семян к малым концентрациям биологически активных веществ в почве [15]. Поэтому использование высокой восприимчивости семян пшеницы на

ранних стадиях прорастания к внешним воздействием выглядит перспективным в случае детектирования СШП ЭМИ.

Целью этой работы было определение перспективности использования семян пшеницы в качестве индикатора воздействия СШП ЭМИ. Измерение биологических эффектов СШП ЭМИ определялось по угнетению индикаторных параметров растений пшеницы, развившихся из облученных семян, по сравнению с контрольной (не облученной СШП ЭМИ) группой семян.

II. Материалы и методы

Опыты проводились на пшенице вида *Triticum aestivum* яровая сорт Ангелена урожая 2005 года коллекции факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

В качестве источника СШП ЭМИ использовалась установка «ГИН-Био», выполненная на базе генератора, разработанного в НПАО «ФИД-Технология» [16]. Пиковая напряжённость СШП ЭМИ составляла 115 кВ/м при частоте повторения импульсов 100 Гц и длительности импульса 0,5 нс с фронтом нарастания менее 0,15 нс. Облучение проходило в течение 30 и 45 минут. Форма сигнала и спектр сигнала установки представлены на рис. 1 и 2.

Определение параметров пшеницы проходило с помощью биотестирования по методу проростков, описанному в работах [15, 17]. В качестве индикаторных параметров пшеницы использовались длина стебля и наиболее развитого корня в выборке семян, и всхожесть для выборки, измеренная по методике процента жизнеспособности семян [18] (далее ПЖС). Семена облучались в сухом состоянии, а потом проращивались в фильтрованной водопроводной воде в пластиковых закрытых чашках Петри диаметром 90 мм в количестве 30 семян на 1 чашку. Облучение проходило в течение 45 минут и 30 минут. После облучения и контрольная, и опытная группа семян проращивались в одинаковых условиях (температура, световой режим, влажность, давление) в течение трёх дней. На рис. 3 изображено проращивание семян в чашке Петри, а на рис. 4 изображено одно семя крупным планом.

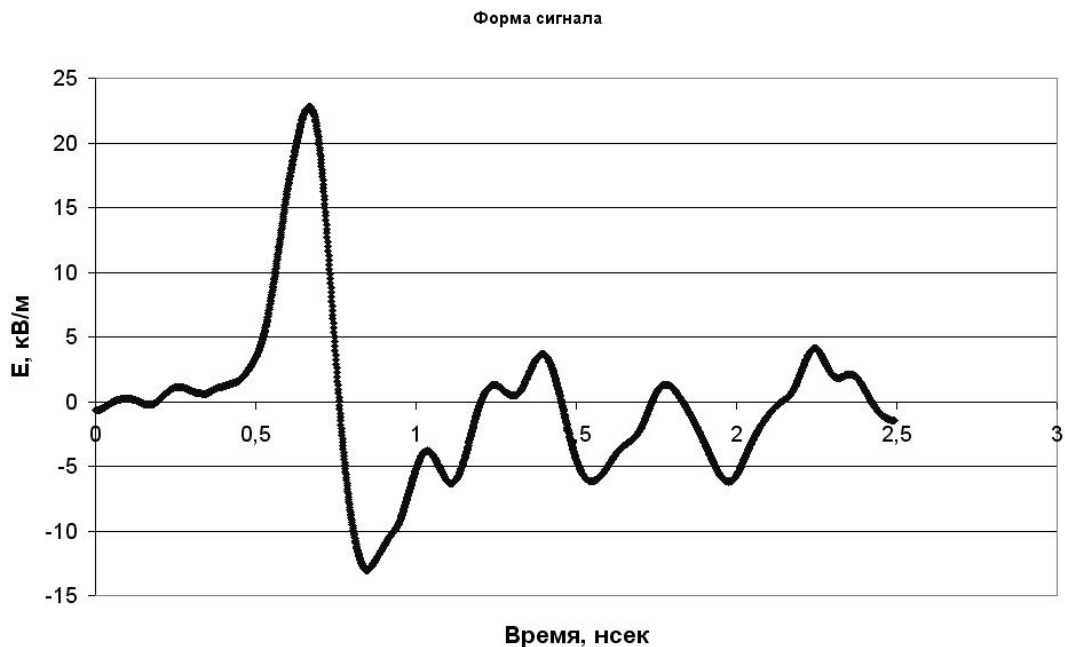


Рис. 1. Форма сигнала СШП ЭМИ, используемых в установке «ГИН Био» (параметры поля измерены на расстоянии 5 м от рупора антенны)



Рис. 2. Спектр потока энергии СШП ЭМИ, используемых в установке «ГИН Био»



Рис. 3. Прораствание семян пшеницы в чашке Петри

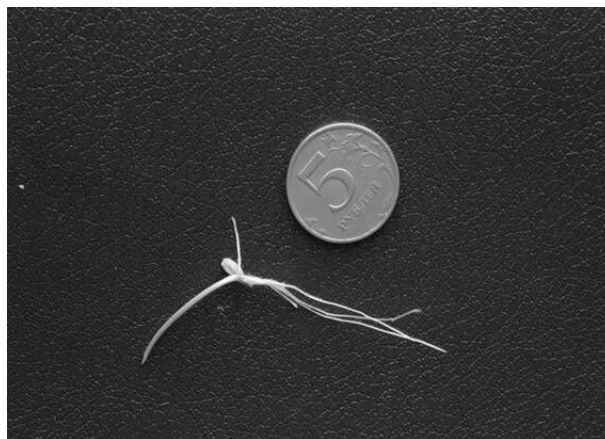
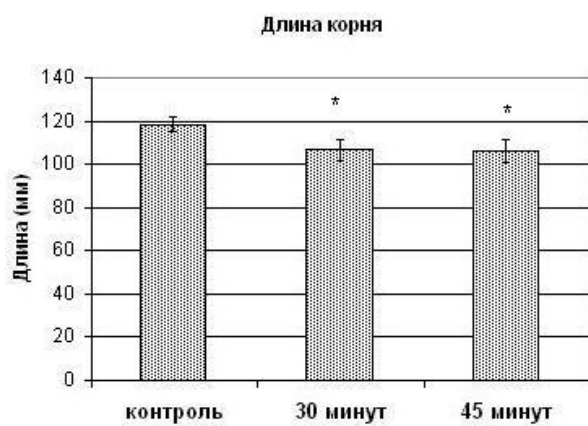


Рис. 4. Типичное проросшее семя пшеницы

Размер выборки составил более 200 семян для каждого опыта. Эксперименты проводились в один и тот же день для исключения неоднородности внешних условий (температура, световой режим, влажность, давление). Для исключения личностного фактора чашки Петри были пронумерованы и рассортированы человеком, не участвовавшим в измерениях, и времена экспозиции были сказаны проводившим измерения сотрудникам только после окончания измерений.

Статистическая обработка проводилась в программе Microsoft Excel. Для



определения достоверности различий параметров использовался *t*-критерий Стьюдента.

Погрешность ПЖС измерялась в предположение о гауссовом распределении жизнеспособных и не жизнеспособных семян в выборке.

III. Полученные результаты и их обсуждение

На рис. 5 представлены зависимости длин стебля и корня от времени экспозиции.

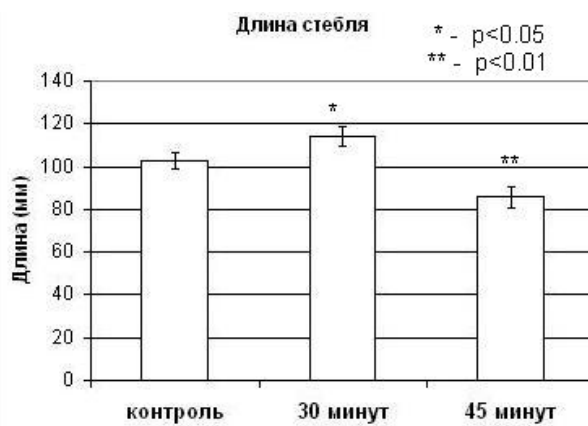


Рис. 5. Длины главного корня и стебля пшеницы в зависимости от времени экспозиции СШП ЭМИ пиковой напряжённости 115 кВ/м, длительностью импульса < 0,5 нс, фронтом нарастания < 0,15 нс, и частотой следования 100 Гц (* — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$)

Для контрольной группы семян средняя длина стебля составила $102,8 \pm 3,6$ мм, длина корня составила $118,5 \pm 3,5$ мм и ПЖС $81 \pm 7\%$.

Для времени облучения 30 минут средняя длина стебля составила $114,2 \pm 4,5$ мм ($p < 0,05$), длина корня составила $106,9 \pm 5,4$ мм ($p < 0,05$) и ПЖС $79 \pm 11\%$.

Для времени облучения 45 минут средняя длина стебля составила $85,8 \pm 4,9$ мм ($p < 0,01$), длина корня составила $106,4 \pm 5,2$ мм ($p < 0,05$) и ПЖС $87 \pm 10\%$.

Из полученной экспериментальной зависимости можно сделать вывод о том, что СШП ЭМИ не снижает ПЖС, но при этом угнетает рост корня после 30 и 45 минут экспозиции, стимулирует рост стебля после 30 минут экспозиции и угнетает рост стебля после 45 минут экспозиции.

IV. Выводы

Характер полученных данных позволяет предположить нелинейное, в зависимо-

сти от дозы, влияние СШП ЭМИ. Слабое изменение ПЖС подразумевает сохранение жизнеспособности семян. Статистически значимое, по сравнению с контролем, угнетение длины главного корня, слабо зависящее от времени экспозиции, не позволяет использовать длину главного корня как индикаторного параметра влияния СШП ЭМИ. Но статистически значимое изменение длин стебля, носящее нелинейный (в зависимости от времени экспозиции) характер, представляет большой научный интерес. Стимулирующий эффект меньшей дозы и ингибирующий эффект большей дозы внешнего воздействия можно объяснить на основе концепции действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности [19].

Поэтому можно сделать вывод о высокой чувствительности семян пшеницы как средства мониторинга загрязнения окружающей среды «электросмогом», а именно СШП ЭМИ.

Литература

1. Бобраков С.Н., Карташов А.Г. Электромагнитная составляющая современной урбанизированной среды // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2001. — Т. 41, № 6. — С. 706–711.
2. Liuqing Yang; Giannakis, G.B. Ultra-wideband communications: an idea whose time has come // Signal Processing Magazine, IEEE. — 2004. — V. 21, N. 6. — P. 26–54.
3. Weaver J.C. Electroporation of Cells and Tissues // IEEE Transactions On Plasma Science. — 2000. — V. 28, N. 1. — P. 24–33.
4. Weaver J.C. Electroporation of Biological Membranes from Multicellular to Nano Scales // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. — 2003. — V. 10, N. 5. — P. 754–768.
5. Чизмаджев Ю.А. Перенос нуклеиновых кислот в ткани и клетки (на пути к генной терапии) // Соросовский образовательный журнал. — 2004. — Т. 8, № 2.
6. Liu C., Zhang H, Wang B., Wang Z., Wang H. Experimental study and analysis on cell electroporation due to low-intensity transient electromagnetic pulses // Chinese science bulletin. — 1999. — V. 44, N. 22. — P. 2040–2043.
7. Лебедев Е.Ф., Перов Ю.Ф., Остроумов А.А. Влияние сверхширокополосных электромагнитных импульсов на состояние мембран эритроцитов // Труды 8-го Междун. симп. по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии «ЭМС-2008». — СПб.: ВИТУ, 2008. — С. 698–702.
8. Shin-Tsu Lu, Satnam P.Mathur, Yahya Akyel, Jonathan C.Lee. Ultra wide-band electromagnetic pulses induced hypotension in rats // Physiology and behavior. — 1999. — V. 65, N. 4/5. — P. 753–761.
9. Bao-Feng Li, Guo-Zhan Guo, Dong-Qing Ren, Jing-Li, Ruo-Bing Zhang. Electromagnetic pulses induce fluctuations in blood pressure in rats // International Journal of Radiation Biology. — 2007. — V. 83, N. 6. — P. 421–429.
10. Vijayalaxmi, Seaman R.L., Belt M.L., Doyle J.M., Mathur S.P., Prihoda T.J. Frequency of micronuclei in the blood and bone marrow cells of mice exposed to ultra-wideband electromagnetic radiation // International Journal of Radiation Biology. — 1999. — V. 75, N. 1. — P. 115–120.
11. Ronald L.Seaman, Michelle L.Belt, Joanne M.Doyle, Satnam P.Mathur. Hyperactivity caused by a nitric oxide synthase inhibitor is countered by ultra-wideband pulses // Bioelectromagnetics. — 1999. — V. 20, N. 7. — P. 431–439.
12. Cobb B.L., Jauchem J.R., Mason P.A., Dooley M.P., Miller S.A., Zirias J.M., Murphy M.R. Neural and Behavioral Teratological Evaluation of Rats Exposed to Ultra-Wideband Electromagnetic Fields // Bioelectromagnetics. — 2000. — V. 21, N. 7. — P. 524–527.
13. Аксенов С.И. Бульчев А.А., Грунина Т.Ю., Горячев С.Н., Туровецкий В.Б. Эффекты и возможные механизмы воздействия низкочастотного ЭМП на семена пшеницы на различных стадиях их набухания // Труды X симпозиума «Действие физико-химических факторов на биологические системы». — М.: Изд-во МГУ. 1999.
14. Мичурина Н.Ю., Подковкин В.Г. Влияние электромагнитного поля ЛЭП-110 кВ на биомассу озимой пшеницы // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. — 2005. — № 2(36). — С. 250–253.
15. Спиридонов Ю.Я., Пронина Н.Б., Горбачёв Т.В. Рекомендации использования метода биоиндикации для оценки остаточных количеств гербицидов в почве и их суммарной фитотоксичности. — Росагропромиздат, 1990. — С. 25–26.
16. Остаев В.Е., Лебедев Е.Ф., Ульянов А.В., Федоров В.М. Модульный излучатель мощных видеоимпульсов как инструментальное средство в задачах электромагнитной совместимости // Труды 7-го Междун. симп. по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. — СПб.: ВИТУ, 2007. — С. 161–164.
17. Куликова Н.А., Холодов В.А., Лебедева Г.Ф., Перминова И.В. Некоторые метрологические характеристики биотестирования по методу проростков и планирование эксперимента // Труды Всерос. конф. «Экспериментальная информация в почвоведении: теория и пути стандартизации». Факультет почвоведения

ния МГУ им. М.В. Ломоносова. — 2005. — С. 203–204.

18. *Витязев В.Г., Самсонова В.П., Макаров И.Б., Кондрашкина М.И.* Практикум по общему земледелию. — М.: Дашков и К, 2005.

19. *Бурлакова Е.Б.* Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности // Российский химический журнал. — 1999. — Т. 43, № 5. — С. 3–11.

Поступила в редакцию 14.03.2009.