

**Национальная академия наук Беларуси  
Центральный ботанический сад**

**Интродукция, сохранение и использование  
биологического разнообразия мировой флоры**

Материалы Международной конференции,  
посвященной 80-летию Центрального ботанического сада  
Национальной академии наук Беларуси  
(19–22 июня 2012 г., Минск, Беларусь)

**В двух частях  
Часть 2**

**Assessment, Conservation and Sustainable Use  
of Plant Biological Diversity**

Proceedings of the International Conference  
dedicated to 80th anniversary of the Central Botanical Garden  
of the National Academy of Sciences of Belarus  
(June 19–22, 2012, Minsk, Belarus)

**In two parts  
Part 2**

Минск  
2012

УДК 582:581.522.4(082)

ББК 28.5я43

И73

**Редакционная коллегия:**

*Д-р биол. наук В.В. Титок (ответственный редактор);  
д-р биол. наук, академик НАН Беларуси В.Н. Решетников;  
д-р биол. наук, ч.-кор. НАН Беларуси Ж.А. Рупасова;  
д-р биол. наук, чл.-кор. НАН Беларуси Е.А. Сидорович;  
канд. биол. наук Ю.Б. Аношенко; канд. биол. наук А.В. Башилов;  
канд. биол. наук А.А. Веевник; канд. биол. наук И.К. Володько;  
канд. биол. наук И.М. Гаранович; канд. биол. наук Л.В. Гончарова;  
канд. биол. наук А.А. Кузовкова; канд. биол. наук Л.В. Кухарева;  
канд. биол. наук Н.М. Лунина; канд. биол. наук Е.В. Спиридович;  
канд. биол. наук В.И. Торчик; канд. биол. наук О.В. Чижик;  
канд. биол. наук А.Г. Шутова; канд. биол. наук А.П. Яковлев.*

Иллюстрации предоставлены авторами публикаций

И 73 **Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры;** Материалы Международной конференции, посвященной 80-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. (19–22 июня 2012, Минск, Беларусь). В 2 ч. Ч. 2 / Нац. акад. Наук Беларуси, Централ. ботан. сад; редкол.: В.В. Титок /и др./, Минск, 2012. – 492 с.

В сборнике представлены материалы Международной конференции «Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры», посвященной 80-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси.

В 1-й части публикуются тезисы докладов секций «Теоретические основы и практические результаты интродукции растений» и «Современные направления ландшафтного дизайна и зеленого строительства»

Во 2-й части представлены тезисы докладов секций «Экологическая физиология и биохимия интродуцированных растений», «Генетические и молекулярно-биологические аспекты изучения и использования биоразнообразия растений» и «Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира».

**УДК 582:581.522.4(082)**

**ББК 28.5я43**

## Влияние различных режимов электромагнитного излучения на содержание пигментов в листьях отдельных кормовых и лекарственных растений

Мазец Ж.Э.<sup>1</sup>, Пазухин С.А.<sup>1</sup>, Сидлеронок А.В.<sup>1</sup>, Родионова В.Н.<sup>2</sup>, Шутова А.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, г. Минск, Беларусь, e-mail: zhannamazets@mail.ru

<sup>2</sup> НИИ «Ядерных проблем Белорусского государственного университета», г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup> Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

**Резюме.** В данной статье обсуждаются результаты влияния различных режимов низкоинтенсивного электромагнитного излучения на содержание пигментов в листьях отдельных кормовых и лекарственных культур. Установлена избирательная реакция растений в ответ на различные режимы воздействия. Выявлено, что в результате обработки происходят качественные и количественные сдвиги в накоплении пигментов, особенно суммарной фракции хлорофиллов и каротиноидов. Вероятно, это одна из сторон механизма взаимодействия волн КВЧ-диапазона с растительными объектами.

**Summary.** This article discusses the results of the effect of different regimes of low-intensity electromagnetic radiation on the pigment content in leaves of certain forage crops and medicinal plants. Election response of plants was established in response to different modes of action. It was revealed that qualitative and quantitative changes in the accumulation of pigments, especially the total fraction of chlorophylls and carotenoids took place as a result of processing. Probably this is one of the aspects of the interaction mechanism of KVCH-RANGE waves with plant facilities.

Многие физические факторы внешней среды, играющие важную роль в процессах жизнедеятельности, имеют электромагнитную природу [1, 2, 3]. В частности, именно электромагнитные излучения (ЭМИ) используются как носители разнообразной информации в биосфере [1]. Электромагнитные поля (ЭМП) искусственного происхождения разных частотных диапазонов оказывают выраженное воздействие на живые организмы и находят широкое практическое применение [1–3].

Действие КВЧ-излучения (электромагнитное излучение миллиметрового диапазона не-тепловой интенсивности) интенсивно изучается в последние 30 лет на различных биологических объектах (от бактерий до тканей и органов человека) и модельных системах [3].

Эффекты КВЧ очень сильно зависят от частоты излучения и наблюдаются при малых значениях плотности потока мощности, при которых не проявляются тепловые воздействия. Установлено, что действие КВЧ может быть направлено на строго дифференцированные функции клетки или многоклеточного организма, что определяет практический и теоретический интерес к данной проблеме [4].

Обзор существующих работ по действию миллиметровых волн на биологические объекты свидетельствует о возможности существования механизмов взаимодействия КВЧ-волн с клетками растительного или животного происхождения, которые затрагивают фундаментальные аспекты их жизнедеятельности.

В этих исследованиях впервые показана перспективность использования КВЧ-излучения для стимуляции роста микроводорослей и цианобактерий (про- и эукариотов), в том числе у таких объектов фотобиотехнологии, как *Spirulina platensis* и *Platymonas viridis*. Для этого в первую очередь была разработана методика непрерывного облучения цианобактерий и микроводорослей и проведена оптимизация параметров облучения. Был получен статистически достоверный стимулирующий эффект при однократном облучении, имеющий временную, частотную и мощностную зависимость, который сопровождался интенсивным накоплением биомассы. Взаимодействие КВЧ-излучения с цианобактериями и микроводорослями имело выраженный резонансный характер.

Тамбиев А.Х. с сотрудниками [5–6] выясняли вопрос, меняется ли пигментный состав микроводорослей при взаимодействии их с КВЧ-излучением. Установлено, что в клетках облученных культур микроводорослей значительно возросло содержание хлорофилла по сравнению с необлученными культурами, а также увеличивалась интенсивность выделения кислорода.

Обнаруженный эффект интенсификации фотосинтетических процессов в клетках микроводорослей под действием КВЧ-излучения, сопровождающийся повышением выделения кислорода и содержания фотосинтетических пигментов, может являться одним из механизмов стимулирующего действия электромагнитного излучения и поэтому актуальным представляется исследование влияния предпосевной обработки различными режимами данного излучения на накопление основных фотосинтетических пигментов в ряде лекарственных и кормовых растений.

Цель настоящей работы – выявление закономерностей влияния электромагнитной обработки (ЭМИ), разной по времени и мощности, на содержание основных фотосинтетических пигментов.

Объектом исследования послужила зеленая масса (листья верхнего яруса) валерианы лекарственной (*Valeriana officinalis*) сорта «Маун», ромашки лекарственной (*Matricaria re-cutita*), галеги восточной (*Galega orientalis Lam.*) и пажитника греческого (*Trigonélla foenum-graecum*).

Семена исследуемых культур были обработаны низкоинтенсивным микроволновым излучением из расчета на их объем на расчетной длине волны внешнего воздействия 5,6 миллиметра. Обработка проводилась в различных частотных режимах: Режим 1 (53–78 ГГц, 20 мин); Режим 2 (64–67 ГГц, 12 мин) и Режим 3 (64–66 ГГц, 8 мин) в Институте ядерных проблем БГУ. Контролем служили листья растений, выращенных из необработанных семян.

Обработанные и контрольные семена проращивались в растильнях по 250 штук. Степень увлажнения почвы для каждой культуры подбиралась индивидуально. Сбор зеленой массы проводился после появления 6–7 зеленых листочков. Затем в листьях определяли содержание пигментов.

**Определение содержания основных пигментов фотосинтетического аппарата в листьях.** Навеску растительного материала (100–200 мг) размельчали, помещали в маленькую ступку, добавляли на кончике скальпеля немного  $MgCO_3$ , приливали 4–5 мл 100% ацетона и тщательно растирали. Полученную вытяжку сливали на стеклянный фильтр, вставленный в колбу Бунзена. При помощи насоса жидкость отсасывали. После этого в ступку добавляли еще немного ацетона, растирали, снова сливали на фильтр и отсасывали. Эту операцию повторяли несколько раз, пока раствор, стекающий с фильтра, не был абсолютно бесцветным.

Вытяжку переливали в мерную колбу, колбу Бунзена ополаскивали несколько раз небольшими порциями ацетона и доводили чистым ацетоном объем вытяжки в мерной колбе до метки. Полученная ацетоновая вытяжка содержала сумму зеленых и желтых пигментов.

Определение содержания основных пигментов фотосинтетического аппарата проводили в ацетоновом экстракте на спектрофотометре «Specord-50» (Германия) при соответствующих длинах волн, а затем вычисляли содержание пигментов в растительном материале, мг/г сухой массы, по следующим формулам (Wettstein, 1957):

$$\begin{aligned} C_{\text{хла}}, \text{ мг/л} &= 9,784 \cdot D_{662} - 0,990 \cdot D_{644'} \\ C_{\text{хлб}}, \text{ мг/л} &= 21,426 \cdot D_{644} - 4,650 \cdot D_{662'} \\ C_{\text{хла+хлб}}, \text{ мг/л} &= 5,134 \cdot D_{662} + 20,436 \cdot D_{644'} \\ C_{\text{кар}}, \text{ мг/л} &= 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot C_{\text{хла+хлб}} \quad [7] \end{aligned}$$

Полученные данные были статистически обработаны с помощью пакета программ Microsoft Excel.

В результате проведенного эксперимента была установлена избирательная реакция растений на обработку тремя режимами воздействия, различающихся по частоте и времени воздействия. Отмечено заметное снижение в содержании суммарной фракции хлорофиллов у всех опытных растений под воздействием режима 3 (рис. 1). Существенное достоверное увеличение общей хлорофилловой фракции отмечено при обработке режимом 2 у валерианы лекарственной и галеги восточной. При воздействии режимом 1 выявлено некоторое повышение содержания суммарной фракции хлорофиллов у трех видов растений.

В ходе воздействия тремя режимами низкоинтенсивного электромагнитного воздействия выявлены существенные сдвиги в накоплении отдельных фотосинтетических пигментов, определяемые генотипом и режимом воздействия (рис. 2–4). У всех исследуемых растений отмечено резкое увеличение содержания каротиноидов за счет уменьшения накопления хлорофилла А и В при воздействии режимом 3.

Практически отсутствовали изменения в содержании пигментов относительно контроля при обработке режимом 2 у растений галеги восточной и пажитника греческого, тогда как у валерианы лекарственной произошли заметные сдвиги, особенно при перераспределении в содержании хлорофилла В и каротиноидов, в сторону увеличения первого и уменьшения второй группы пигментов.

Установлено, что под влиянием режима 1 у валерианы лекарственной и галеги восточной отмечаются небольшие перестройки в содержании каротиноидов и хлорофилла В, а у пажитника греческого эти изменения существенны, т.е. происходит увеличение количества хлорофилла В за счет снижения суммарной фракции каротиноидов.

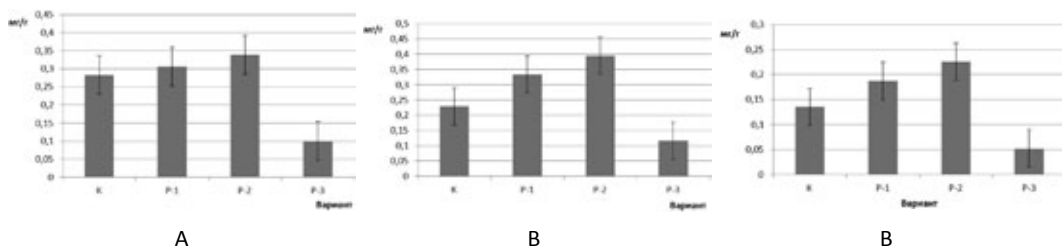


Рисунок 1. Содержание суммарной фракции хлорофиллов А и В в листьях *Galega orientalis* (А), *Trigonella foenum-graecum* (Б), *Valeriana officinalis* (В) в контроле и после обработки различными режимами ЭМИ.

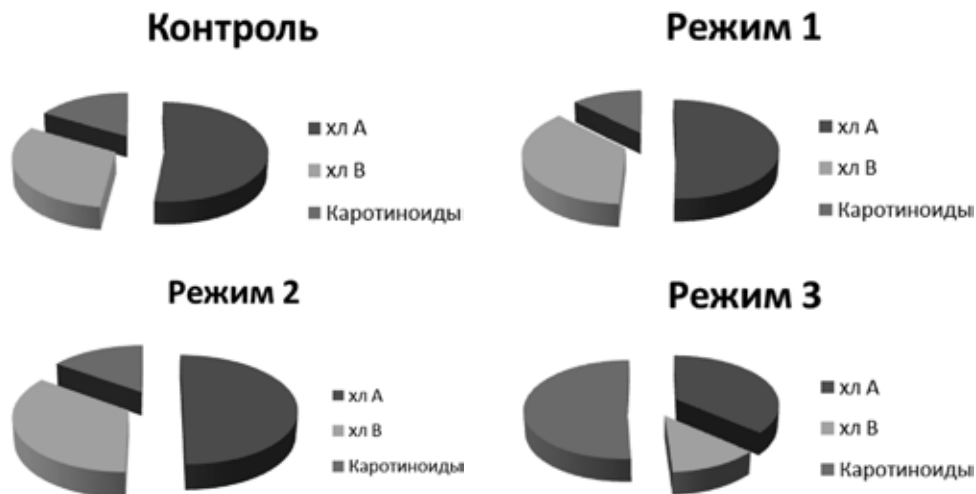


Рисунок 2. Соотношение пигментов в листьях *Galega orientalis* (мг/г сухого веса) в контроле и после обработки различными режимами ЭМИ.

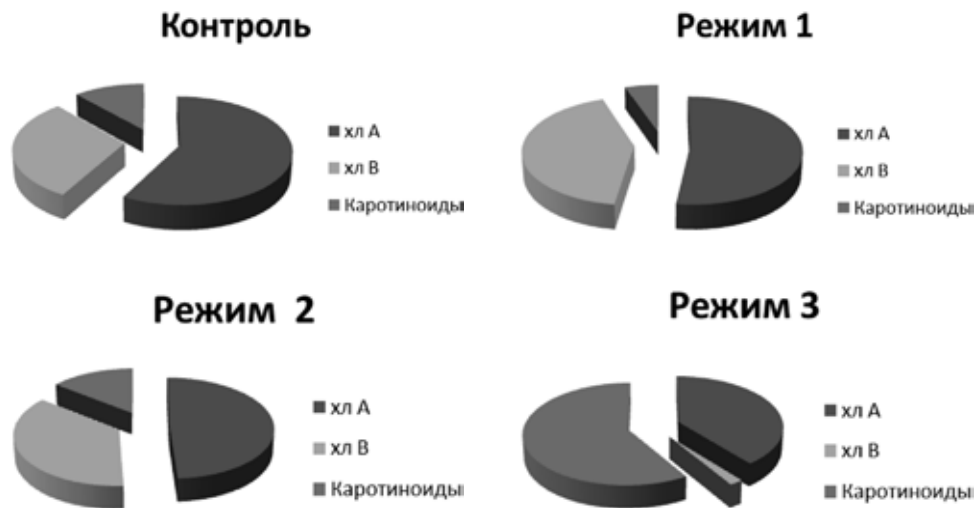


Рисунок 3. Соотношение пигментов в листьях *Trigonella foenum-graecum* (мг/г сухого веса) в контроле и после обработки различными режимами ЭМИ.

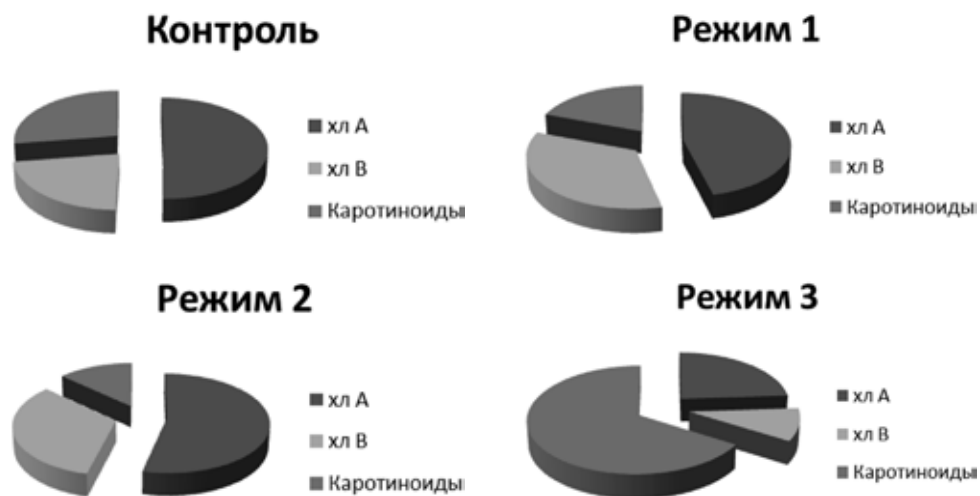


Рисунок 4. Соотношение пигментов в листьях *Valeriana officinalis* (мг/г сухого веса) в контроле и после обработки различными режимами ЭМИ.

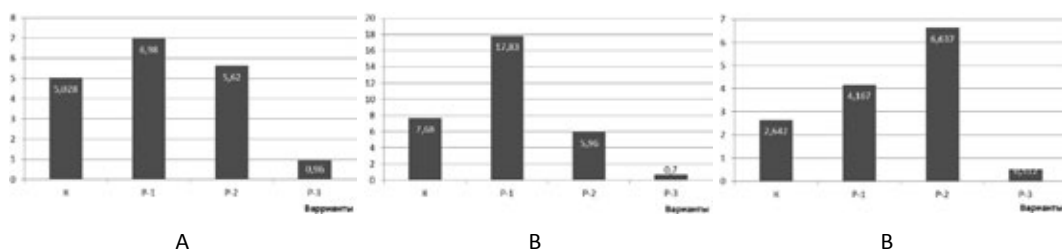


Рисунок 5. Соотношение суммарной фракции хлорофиллов к каротиноидам у *Galega orientalis* (А), *Trigonella foenum-graecum* (Б), *Valeriana officinalis* (В) в контроле и после обработки различными режимами ЭМИ.

Анализ результатов влияния трех режимов низкоинтенсивного электромагнитного воздействия показал, что режим 3 является наиболее стрессогенным, так резко возрастает количество каротиноидов, являющихся предшественниками в синтезе абсцизовой кислоты.

Строя предположения о возможном механизме, следует рассматривать сочетанное действие нескольких процессов на биохимическом и физиологическом уровнях. Первый из них, возможно, связан с накоплением активных форм кислорода и продуктов окисления в семенах в результате КВЧ-обработки. Поскольку каротиноиды играют роль естественных антиоксидантов, их количество увеличивается в условиях стресса под воздействием электромагнитного излучения, соответственно наблюдается увеличение образования каротиноидов при режиме 3 на фоне резкого уменьшения биосинтеза хлорофилла. Показатель (хл А + хл В) / каротин как более информативный показатель физиологического состояния растения в данном случае является наименьшим и свидетельствует о стрессовых условиях для растения в целом, что характерно для всех объектов исследования. Режим 2, который отличался от режима 3 по продолжительности воздействия, возможно, способствует активации биосинтеза хлорофилла в такой степени, что это перекрывает негативное воздействие активных форм кислорода, наблюдаемое при режиме 3, что в результате приводило к увеличению суммарного содержания хлорофилла по сравнению с контрольными значениями. В данном случае высокий показатель (хл А + хл В) / каротин свидетельствовал о снижении степени физиологического стресса для растения в сравнении с режимом 3. Для валерианы показатель, характеризующий соотношение суммы хлорофилла и каротиноидов, при режиме 2 имел наибольшее значение, что свидетельствовало о результативности применения КВЧ-облучения для стимуляции фотосинтетических процессов в данном растении. Для пажитника и галеги

более оптимальным являлся режим 1, причем для пажитника активация фотосинтетического аппарата под воздействием КВЧ-излучения в течение 12 мин. была наиболее выражена, в то время как 8 мин. оказались недостаточным временем даже для достижения величины показателя (хл А+ хл В) / каротин, характерного для контроля.

Наблюдаемая сложная и неоднородная картина биологической и физиологической реакции растений на воздействие КВЧ-излучения объясняется тем, что за первичным прямым воздействием поля на молекулярные структуры живого организма следует сложная цепочка вторичных биохимических и физиологических процессов, приводящая к опосредованному отклику, истинную причину которого не всегда удается легко выявить, что требует проведения дальнейших исследований по выявлению первичных и вторичных мишеней КВЧ-излучения в растительном организме.

Перестройки в системе светособирающего пигментного комплекса, возможно, и есть одна из сторон механизма взаимодействия волн КВЧ-диапазона с растительными объектами. Таким образом, изменения в накоплении основных фотосинтетических пигментов под влиянием низкоинтенсивного электромагнитного излучения, вероятно, определяют характер ростовых процессов и устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды.

**Список литературы:**

1. <http://vseovode.com/content/kak-voda-hranit-i-peredaet-informaciju/> Мосин О.В. Воздействие электромагнитных волн низкой интенсивности на воду и биологические объекты.
2. Adey W.R. Biological effects of electromagnetic fields. // J. Cell. Biochem. 1993. – Vol. 51(4), p. 410–416.
3. Казаринов К.Д. Биологические эффекты КВЧ-излучения низкой интенсивности. // Итоги науки и техники. Серия Биофизика. – М., 1990. – Т. 27, с. 1–104.
4. Смолянская А.З., Гельвич, Э.А., Голант, М.Б., Махов, А.М. Резонансные явления при действии электромагнитных волн миллиметрового диапазона на биологические объекты. // Успехи совр. биологии. – 1979. – Т. 87, № 3, с. 381–392.
5. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. М.: Радиотехника. 2003, с. 175.
6. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. Изменение фотосинтетической активности микроводорослей под влиянием электромагнитного излучения. // Физиология растений. 1992. Т. 39. В. 5, с. 1004–1010.
7. Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев. / В кн.: Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971, с. 145–170.