

46. Владимиров Ю.А. Свободнорадикальное окисление липидов и физические свойства липидного слоя биологических мембран // Биофизика, 1987, т. в.5, сс.830–844
47. Афанасьев И.Б. Анион-радикал кислорода $O_2^{\bullet-}$ в химических и биохимических процессах // Усп. Химии, 1979, т.48, в.6, сс.977–1014
48. Владимиров Ю.А., Гаврилов В.Б., Лосев Г.М. и др. Изучение роли свободных радикалов $CO_2^{\bullet-}$, $COOH^{\bullet}$ и HCO^{\bullet} в хемилюминесцентных реакциях // Журн. физ. химии, 1980, т.54, №2, сс.504–506
49. Denicola A, Freeman B.A., Trujillo M., Radi R. Peroxynitrite reaction with carbon dioxide/bicarbonate: kinetics and influence on peroxynitrite-mediated oxidations // Arch. Biochem. Biophys. 1996, v.333, N 1, pp.49–58
50. Теренин А.Н.. Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений. Л.: Наука
51. Васильев Р.Ф. Хемилюминесценция в растворах // УФН, 1966, Т.89, В.3, сс.409–436
52. Владимиров Ю.А. Свободные радикалы в биологических системах // Соросовский образовательный журнал, 2000, т.6, в.12, сс.13-19
53. Фут Х. Фотосенсибилизированное окисление и синглетный кислород. Биологические следствия // в сб. «Свободные радикалы в биологии», ред. У. Прайор, Мир, М., 1979, сс. 96–143
54. Разумовский С.Д. Кислород – элементарные формы и свойства // М., Химия, 1979
55. Коган А.Х., Грачев С.В., Елисеева С.В. Углекислый газ – естественный регулятор свободнорадикального гомеостаза на разных ступенях эволюции организмов // ДАН, 1998, т. 362, N 5, сс.705-708
56. Kindzelskii A.L., Zhou M.J., Haugland R.P., et al. Oscillatory Pericellular Proteolysis and Oxidant Deposition during Neutrophil // 1998, Locomotion. Biophys. J., v. 74, pp. 90–97.
57. Adachi Y., Kindzelskii A.L., Ohno N., et al. Amplitude and Frequency Modulation of Metabolic Signals in Leukocytes: Synergistic Role of Ifn-Gamma in Il-6- and Il-2-Mediated Cell Activation. // J. Immunol., 1999, v.163, pp. 4367–4374.
58. Тычинский В.П., Вайсс Д., Вышенская Т.В. и др. Кооперативные процессы в митохондриях: регистрация методом динамической фазовой микроскопии // Биофизика, 2000, т.45, в.5, сс.870–877
59. Fee J.A., Valentine J.S. Chemical and Physical Properties of Superoxide // in Superoxide and Superoxide Dismutases, ed. A.M. Michelson, J.M. McCord, I. Fridovich, Ac.Pr., L.N.-Y.S-F, 1977, pp.19–60
60. Дядин Ю.А., Гушин А.Л. Газовые гидраты // Соросовский образоват. журн. 1998, №3, сс. 55-64
61. Беловолова Л.В., Глушков М.В., Виноградов Е.А. Влияние ацетона и зонда 1-анилино-8-нафталинсульфоната на ультрафиолетовую флуоресценцию воды // в печати
62. Кузин А.М. Электромагнитная информация в явлении жизни // Биофизика, 2000, т.45, в.1, сс.144-147
63. Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики // Наука, М., 1977.

Адрес этой статьи в интернете: www.biophys.ru/archive/congress2009/pro-p23.pdf

УДК:537.86.52.7+58.027

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ И ЧАСТОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГРАВИТРОПИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ РАСТЕНИЙ И НИЗКОЧАСТОТНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ ИМИ В ПРОЦЕССЕ РОСТА

Богатина Н.И., Шейкина Н.В.¹

Физико-технический институт низких температур НАН Украины, 47, пр. Ленина, Харьков, 61100
Украина Email: n_bogatina@rambler.ru

¹ Национальный университет фармакологии, 17, пл. Восстания, Харьков, 61001, Украина
Email:sheykina@ukr.net

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы исследования влияния слабых комбинированных магнитных полей (КМП), имеющих величину магнитной индукции постоянной составляющей магнитного поля (МП) порядка земного и величину коллинеарной ей переменной составляющей МП на уровне от 10^{-12} Тл до 10^{-5} Тл на различные физиологические свойства биологических объектов, составляют содержание одного из наиболее интересных и перспективных направлений биофизики. Такой интерес к изучаемой

проблеме обусловлен двумя причинами: во-первых, они находят широкое применение на практике (в частности, в медицине), несмотря на то, что механизм действия КМП до конца не известен; во-вторых, в связи с все более возрастающим техногенным загрязнением окружающей среды. К настоящему времени обнаружен целый ряд эффектов, обусловленных действием КМП на организменном, клеточном и молекулярном уровне. Например, сформированные на основе информации, полученной в физико-химической системе [1-3], слабые магнитные поля оказались эффективным средством воздействия на ранние стадии развития опухолевого процесса, нарушающим развитие экспериментальной опухоли [4]. Однако, несмотря на растущее количество работ в этой области, вопрос о воспроизводимости экспериментальных результатов все еще стоит на повестке дня. Эта проблема связана с тем, что большинство экспериментов проводится в магнитном поле Земли, которое само по себе не является постоянным. До последнего времени оставались неизученными амплитудные и частотные зависимости влияния КМП на биологические объекты, а также не ясна их связь с низкочастотным излучением биологических объектов и его зависимостью от КМП. Кроме того, неизвестен механизм воздействия слабых КМП на биологические процессы. Отдельная проблема, уже давно привлекающая экспериментаторов и теоретиков, это проблема механизма чувствительности биообъектов к окружающим предметам и связь с их физико-химическими свойствами. Результаты этой работы обещают, во-первых, выработать необходимые безопасные нормы внешнего КМП, а, во-вторых, найти применение этого метода как в биологии, так и в медицине. Дальнейшие исследования данной проблемы необходимы для изучения, предупреждения и лечения онкологических заболеваний и заболеваний суставов, что приведет к разработке нового физиотерапевтического метода в медицине. Исследуемая в работе гравитропическая реакция (ГТР) вызывает особый интерес исследователей в связи со своей высокой чувствительностью к внешним факторам таким, как температура, освещенность, наличие целого ряда химических ионов: Ca^{2+} , K^+ , H^+ , IYK^- (ион индолил-уксусной кислоты), ABK^- (ион абсцизовой кислоты). Природа ГТР также пока неясна. Предполагается, что комплексное исследование ГТР и КМП может пролить свет, как на природу ГТР, так и на природу действия КМП на биообъекты. Таким образом, исследования зависимостей ГТР от КМП, от его частоты и амплитуды переменной составляющей являются весьма актуальными и позволяют продвинуться в понимании механизмов воздействия КМП на биообъекты и понимании природы ГТР.

Цель работы состояла в поисках проявления эффектов КМП при различных частотах и амплитудах его переменной составляющей. При проведении экспериментов использовалась высоко точная техника экранирования и воспроизведения магнитных условий опыта, включая низкотемпературную (сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом), регистрации низкочастотного излучения биообъектов с помощью высоко точной техники (включая низкотемпературную – сквид-магнитометра). Исследование зависимости интенсивности излучения растений от внешних магнитных условий и установление взаимосвязи между ними также актуально.

Соответственно цели работы предполагалось решить следующие экспериментальные задачи:

1. Создать экспериментальную установку для точного воспроизведения заданных магнитных условий эксперимента.
2. Изучить особенности МП в рабочем объеме установки для исключения побочных факторов, которые могут оказывать воздействие на биообъект.
3. Исследовать влияние КМП на ГТР растений в области частот от 1 до 45 Гц с целью выявления частот, оказывающих биологическое действие.
4. Исследовать амплитудную зависимость величины биоэффекта от амплитуды переменной составляющей КМП в областях 0.1 – 10 нТл, 10 нТл – 35 мкТл и сравнить с теоретическими предсказаниями.
5. Исследовать влияние постоянного магнитного поля (ПМП) в диапазоне величин магнитной индукции 0.1 – 150 мкТл.
6. Зарегистрировать величины постоянного и переменного МП, генерируемого биообъектами в процессе их роста.
7. Рассчитать и измерить искажение собственного МП биообъекта в зависимости от физических свойств (проводимости, диэлектрической и магнитной проницаемости) близко расположенных окружающих предметов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемыми растительными объектами являлись семена кресс-салата (исследование ГТР) и пшеницы.

Методика измерения гравитропической реакции заключалась в следующем. Ровные, предварительно выращенные корешки длиной от 4 до 7 мм (они получались ровными, т.к. проращивались на подложке так, что корешки росли прямо вниз) помещались на плоскую поверхность параллелепипеда из пенопласта (подставки). Подставка была накрыта фильтровальной бумагой, на нее помещали корешки так, чтобы кончики корней длиной 3-5 мм находились горизонтально и в воздухе, на весу, не касаясь поверхности подставки. Затем подставку помещали во влажную герметичную немагнитную камеру (влажность всюду была равна 100%). Камеру помещали внутрь соленоида, находящегося либо в пермалловом, либо в сверхпроводящем экране. Входное отверстие экрана закрывали темной материей, чтобы исключить явление фототропизма.

По второй методике они проращивались на пенопластовых подложках с предварительно нанесенной угловой сеткой. Причем, семена были сориентированы так, что корни их росли вниз в течение 2-3 суток, затем подложку переворачивали так, что семена оказывались, ориентированы горизонтально относительно Земли, и подложку в таком состоянии помещали во влажную камеру.

Все измерения производились в искусственных слабых (порядка земного и меньше) комбинированных магнитных полях (параллельных между собой и перпендикулярных поверхности Земли), созданных внутри ферромагнитных или сверхпроводящих экранов. Применение этих экранов позволило существенно уменьшить уровень магнитных шумов (т.е. фактически уменьшить индукцию переменных магнитных полей различных частот до уровня $5 \cdot 10^{-11} \text{Тл/Гц}^{0.5} - 10^{-10} \text{Тл/Гц}^{0.5}$ для сверхпроводящего экрана и до уровня $10^{-9} \text{Тл/Гц}^{0.5}$ – для ферромагнитного экрана для всех частот выше 0.3 Гц, кроме вибрационных. Вибрационные частоты были зафиксированы и измерения на них не проводились. Это крайне важно, так как порог наблюдаемого эффекта лежит, по-видимому, в диапазоне очень малых значений магнитной индукции переменного магнитного поля. Измерения величин постоянного, переменного и шумового магнитных полей производилось с помощью феррозондового магнитометра и Сквид-магнитометра. Искусственные магнитные поля были направлены вертикально по отношению к Земле.

В исследованиях измерялся угол отклонения корня от горизонтальной плоскости (угол отклонения вниз обычный для гравитропической реакции (вниз) считался положительным, а вверх – отрицательным). Угол измеряли по расстоянию, на которое отклонился кончик корня от горизонтальной плоскости. Для более точного определения угла отклонения в первой методике использовали цифровой фотоаппарат, полученные изображения обрабатывали на компьютере.

Для световой и электронной микроскопии верхушки корней длиной 5 мм фиксировались в 1% растворе глутаральдегида и 5% растворе формальдегида (1:1) на кокадилатный буфер (pH 7.2) после 30 и 60 мин, а также после 4 ч экспозиции в гравистимулирующем КМП. После образцы фиксировались 1% раствором OsO_4 при температуре окружающей среды. Для электронной микроскопии использовался уранилацетат в этаноле, доля которого составляла 70%. Образцы дегидратировались последовательно этанолом и ацетоном и заливались эпоксиальной смолой. Полутонкие (1.7 – 1.9 мкм) и ультратонкие (60 – 80 нм) участки были получены с помощью ультрамикротомы М-ХЛ (RMC). Полутонкие участки были подвержены периодической реакции шиффового окисления и окрашены толюидиновым голубым после чего были исследованы на аксиоскопе Цейса с помощью цифрового аппарата. Ультратонкие участки были окрашены освинцованной уксусной кислотой и исследованы с помощью трансмиссионного электронного микроскопа JEM-1200EX (Jeol). Для конфокальной микроскопии образцы были зафиксированы в 3% парафармальальдегиде (pH 7.4) в 10 мМ PBS буфере, дегидратированы этанолом и залиты воском Стивмана. К участкам микротомы добавляли фаллоидин – FITC и исследовали их с помощью конфокального лазерного микроскопа LSM 5 PASCAL. Для определения распределения ионов Ca^{2+} для конфокальной микроскопии проростки инкубировали в кальцийспецифичном флуоресцентном красителе fluo-4 (Molecular Probe, США) в течение 25 мин. В темноте перед гравистимуляцией в ПМП и КМП. Матричный раствор индикатора готовили в концентрации 1 мМ в безводном диметилсульфоксиде (DSMO). Остаточная концентрация загружаемого раствора индикатора составляла 8 мМ, конечный объем – 1 мл. Исследования проводили в конфокальном лазерном микроскопе LSM 5 PASCAL на длине волны возбуждения 494 нм, а волны эмиссии – 516 нм. Дистальную зону растяжения длиной ~ 400 мкм (на расстоянии ~ 800 мкм от корневого апекса) сканировали поперек корня в направлении от верхней до нижней стороны гравистимулированного корня. Данные о распределении и относительном содержании ионов в клетках получены с использованием программного обеспечения «PASCAL». Интенсивность флуоресценции прямо коррелирует с концентрацией цитозольного кальция на соответствующей длине волны эмиссии. [5,6].

Для регистрации излучения, генерируемого биологическими объектами, использовался сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом [7] (температура объема с семенами поддерживалась в течение всего времени эксперимента $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, остаточное замороженное магнитное поле в рабочем объеме равнялось 7 нТл или 10 мкТл). Измерения производились с помощью феррозондового магнитометра на расстоянии 3 – 5 мм от зерновки. Чувствительность феррозондового магнитометра равна 60 пТл, но может существенно уменьшаться за счет собственных шумов экрана. С целью избежать негативного влияния внешних шумов на воспроизводимость эксперимента были изучены особенности собственного магнитного шума для сверхпроводящего экрана с замороженным магнитным полем, собственный шум пермаллового экрана, магнитные условия лаборатории. Был выделен ряд частот, в которых проведение эксперимента нежелательно. Все измерения спектров произведены с помощью анализатора спектров "Philips" по методике, подробно описанной в [8].

Эта же методика применялась и при регистрации искажения МП окружающими предметами. Статистическую обработку результатов проводили по методу Стьюдента-Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние КМП на ГТР корней кресс-салата.

Получены данные для углов отклонения корней кресс-салата от горизонтальной плоскости при значениях магнитной индукции постоянного поля $B_{DC} = 40 \text{ мкТл}$ и переменных магнитных полей различной частоты ($f = 16, 25, 32, 37 \text{ Гц}$) с $B_{AC} = 6 \text{ мкТл}$ (температура образцов была 28 и 21 $^\circ\text{C}$). [9,10] Достоверное отличие наблюдается (по критерию Стьюдента достоверность равна 95%) лишь между искусственно созданным земным постоянным магнитным полем и комбинированным магнитным полем (то же самое значение постоянного магнитного поля плюс переменное магнитное поле с магнитной индукцией 6 мкТл и частотой 32 Гц, что формально соответствует циклотронной частоте для ионов Ca^{2+} для применяемого постоянного магнитного поля). ГТР меняет знак на противоположный, т.е. корни отклоняются вверх от земной поверхности уже после 10 мин экспозиции в КМП (рис.1.). Данный эффект наблюдается в течение 1 часа. В последующее время (наблюдение велось до 7 часов) корень в комбинированном магнитном поле выпрямляется и растет параллельно земной поверхности. Следует отметить, что при частоте $f = 16 \text{ Гц}$ (эта частота соответствует циклотронной частоте ионов K^+) наблюдается резкое увеличение разброса экспериментальных данных. Изменение гравитропического эффекта на колеоптилях пшеницы (угнетение гравитропической реакции) удалось получить только при дальнейшем одновременном снижении величины постоянного магнитного поля и соответствующей ионам Ca^{2+} частоты в 10 раз.

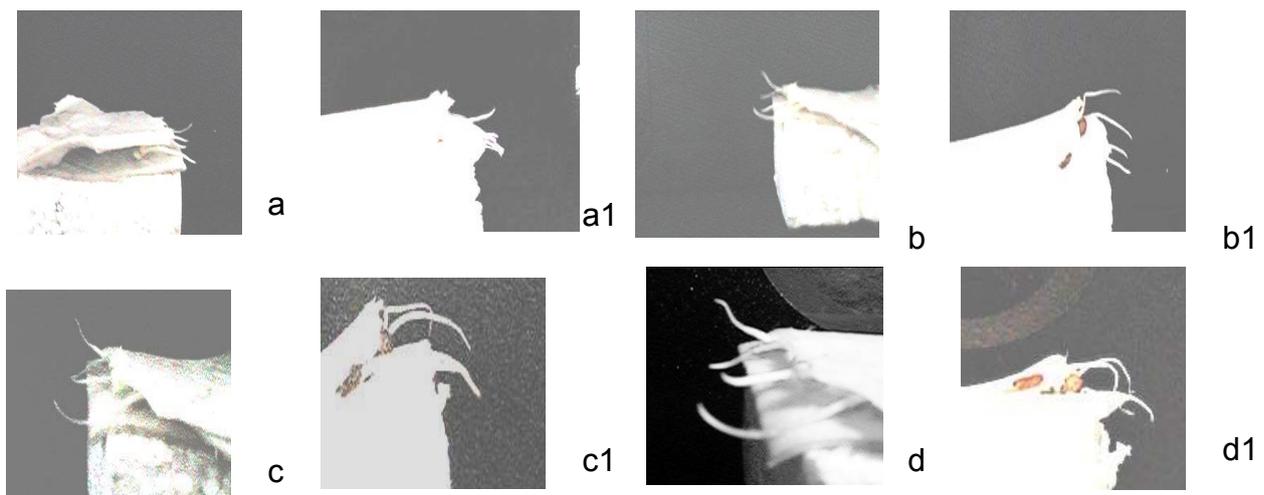


Рис.1 Ориентация корней кресс-салата в комбинированном магнитном поле ($B_{DC} = 4 \text{ мкТл}$, $B_{AC} = 6 \text{ мкТл}$, $f = 31 \text{ Гц}$) до – а и a1; после получасовой выдержки в комбинированном магнитном поле – b, контроль – b1; после 2-часовой выдержки - c, контроль –c1; после 4-часовой выдержки – d, контроль –d1.

На следующей стадии исследований мы провели аналогичные эксперименты на корнях кресс-салата в области частот от 0.1 до 5.5 Гц, используя в качестве защиты от внешних электромагнитных излучений сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом. Частота ограничена сверху 5.5 Гц, т.к. в области частот 5.5 – 10 Гц лежит несколько вибрационных пиков, которые могут оказывать нежелательное воздействие на достоверность результатов. В этой области частот обнаружено три частоты, для которых гравитропическая реакция угнетается: это частоты 1.2, 2.7 и 3.5 Гц. Они соответствуют циклотронным частотам ионов гибберрелинов, ИУК (ауксина, т.е. индолилуксусной кислоты) и АБК (абсцизовой кислоты), причем поведение корней при облучении этими частотами разное. При облучении частотой 2.7 Гц (АБК) рост корней существенно угнетается и гравитропическая реакция вообще не наблюдается.

При облучении частотой 3.5 – 3.9 Гц (ИУК) в течение первых 7 часов знак гравитропической реакции не изменяется, (все корни растут вниз), однако при дальнейшем облучении они начинают распрямляться, и к 24 часам пребывания в КМП почти все они уже направлены почти параллельно земле. Угнетения или стимуляции роста корней здесь не замечено.

При частоте 1.2 Гц (гибберрелины) наблюдается очень широкий по частоте максимум. Биологическое действие этой частоты – это очень сильный разброс результатов и угнетение ГТР.

Для изучения ГТР в области частот от 5.5 до 10 Гц применяли следующий прием: увеличивали величину постоянного магнитного поля вдвое, при этом циклотронные частоты всех ионов также удваиваются. Далее изучалась ГТР для частот в области 10-20 Гц, что соответствует вдвое меньшим частотам для постоянной составляющей магнитного поля 40 мкТл. Такая методика позволяет исключить взаимодействие вибрационных колебаний образца с электромагнитными колебаниями.

Один из наиболее важных результатов – это явно резонансный характер наблюдаемого биологического воздействия. Об этом говорит форма кривых. Они наблюдаются при одних и тех же значениях частоты и хорошо воспроизводятся при одном и том же значении КМП. Полуширина этих линий составляет около 0.2 Гц для низких частот в области до 5 Гц и около 1 – 4 Гц в области частот 10- 45 Гц (для разных линий она разная).

В области частот 5-10 Гц измерения проведены в КМП с магнитной индукцией постоянной составляющей 80 мкТл в области частот 10 – 20 Гц, что соответствует 5 – 10 Гц для $B = 40$ мкТл, с целью исключения влияния механических вибраций. Наблюдается пик при $f = 9.5$ Гц, соответствующей циклотронной частоте одновалентной меди, и довольно размытый пик при $f = 6.5$ Гц, пока окончательно не идентифицированный нами, по своей частоте он близок к одновалентному серебру ($f_c = 5.7$ Гц). В КМП с $B = 40$ мкТл. никаких пиков на этих частотах не наблюдается.

Микроскопические исследования: метод световой, электронной и конфокальной микроскопии.

Световая микроскопия показала различное распределение амилопластов в статочитах гравистимулированных корней в контроле и при $f=32$ Гц и в КМП.[11] После 60 мин гравистимуляции все амилопласты оседали на дистальной части контрольной клетки колумеллы (рис. 2 (а)). Однако, в КМП они были локализованы около одной из продольных стенок; иногда один из всех амилопластов прикасался к стенке (рис.2 (b) – (d)). После 30 мин гравистимуляции в КМП амилопласты становились склонными к агрегации по направлению к центру статочитов, часто рассеиваясь вдоль длинной оси клетки (рис. 3. (a) – (c)). После 4 ч гравистимуляции в КМП, когда корни росли более или менее горизонтально, амилопласты стремились сгруппироваться возле проксимальной стенки и реже в центре статочита (рис. 3. (d) – (f)). Было обнаружено, что амилопласты располагаются ближе друг к другу при 32 Гц КМП. В условиях гравистимуляции в КМП ядра статочитов не перемещались, а оставались в проксимальной области (рис.4). Распределение актиновых филаментов вокруг ядра и амилопластов было идентичным в статочитах в контрольных и в экспериментальных клетках колумеллы (рис.5). Кроме того [5,6], было показано, что в контроле концентрация ионов Ca^{2+} в нижней части дистальной зоны растяжения корня в ~ 1.5 раза выше, чем в верхней. В КМП соотношение обратное. Причем, оно даже увеличивается до ~ 2.1 раза.. Эффект еще сильнее проявляется, если увеличить содержание ионов Ca^{2+} в корнях при предварительном проращивании в воде с малым содержанием $CaCl_2$. (таблицы 1-3).

Таким образом, изменение гравитропической реакции корней связано с изменением в распределении амилопластов. Согласно крахмально-статолической гипотезе Немека и Габерландта, амилопласты в гравичувствительных клетках или статочитах оседают в направлении гравитационного вектора в дистальной части клетки, тогда как ядро остается в проксимальной части клетки, что подтверждает идею, о статолической функции амилопластов. Полученные данные

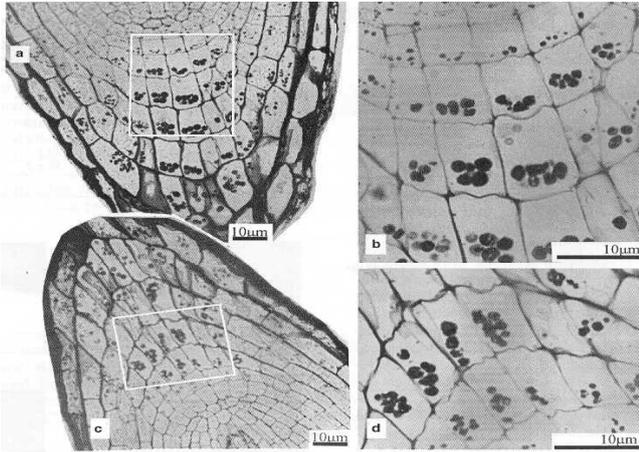


Рис.2. Световые микрофотографии корневых чехликов (a, c) и статоцитов (b, d) после 1ч гравистимуляции в контроле (a, b) и в КМП (c, d). b – частичный вид положения a, d – частичный вид положения c. Размер барьера =10 мкм

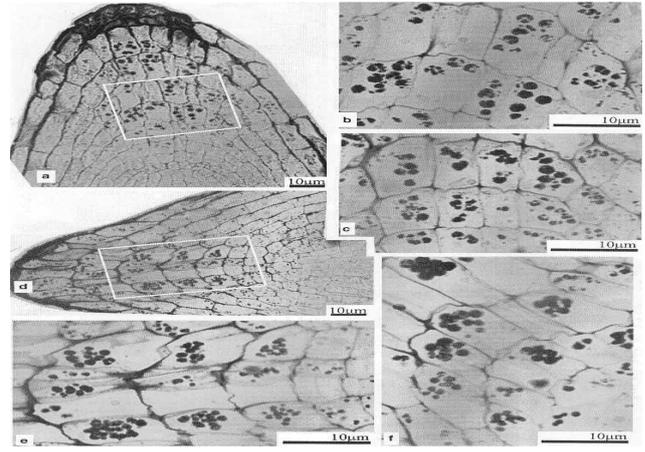


Рис.3. Световые микрофотографии корневых чехликов (a, d) и статоцитов (b, c, e, f) после 30 мин (a – c) и 4 ч (d – f) гравистимуляции в КМП. b – частичный вид положения a, e – частичный вид положения d. Размер барьера =10 мкм.

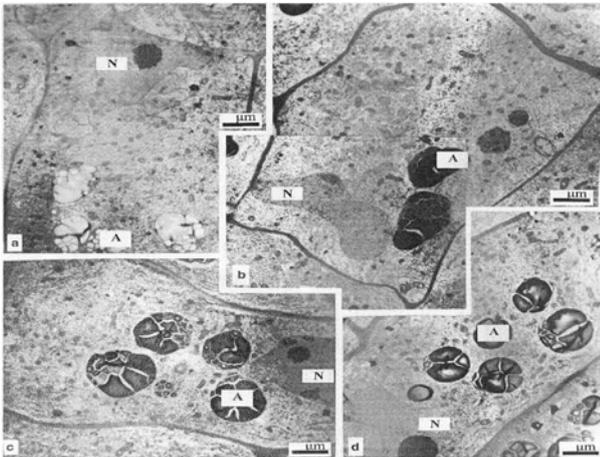


Рис.4. Электронные микрофотографии статоцитов корневого чехлика после 1 час. (a – c) гравистимуляции в контроле (a) и в КМП (b – d). Аббревиатуры: N – ядро, A – амилопласт. Размер барьера = 1 мкм.

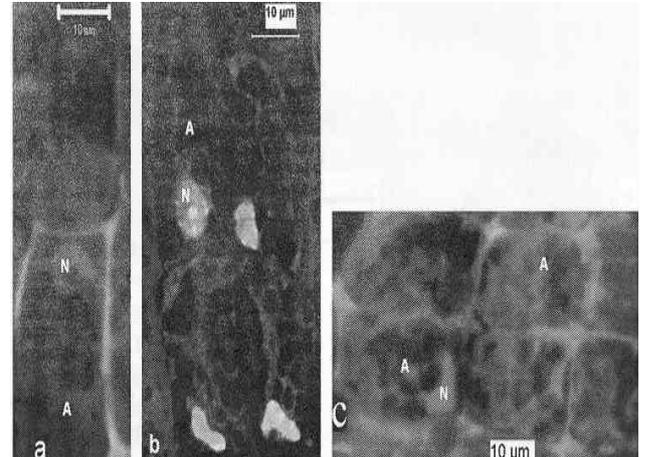


Рис.5. Конфокальная микроскопия F-актина, меченого фаллоидином-FITC, в статоцитах корневого чехлика после 1 ч (a – растущие вниз корни; b – искривляющиеся вверх корни) и 4 ч (c – горизонтальные корни) гравистимуляции контрольных образцов (a) и корней, обработанных КМП (b, c). Аббревиатуры: N – ядро, A – амилопласт. Размер барьера =10 мкм.

поддерживают это мнение и предполагают, что группирование пластид является механизмом, который воздействует на гравичувствительность. Полярное распределение органелл управляется и поддерживается посредством цитоскелета, они перемещаются благодаря активности актомиозинового комплекса. Актиновые филаменты вовлечены не только в движение цитоплазмы, поддержание клеточной полярности и рост корневой верхушки, но и в гравитропизм благодаря позиционному транспорту и седиментации статолитов. Эти концепции были подтверждены экспериментами, представленными микрогравитацией и клиностадным использованием актинразрушающего вещества цитохалазина. Седиментированные статолиты корневого чехлика связываются с помощью хорошей, но динамичной сетки микрофиламентов, и их поведение, по крайней мере, частично, находится под контролем цитоскелета. Амилопласты клеток колумеллы в КМП также связываются с помощью сетки актиновых микрофиламентов. Основываясь на теории Холодного – Вента, изгибание корня является результатом полярного движения ауксина от корневого чехлика к зоне элонгации и его аккумуляции на нижней стороне гравистимулированного корня. Подозревают, что биоэлектрические градиенты индуцируются гравистимуляцией от аксиальных органов и являются результатом транспорта ионов Ca^{2+} и H^+ сквозь мембраны. Известно, что

кальций, как вторичный переносчик, играет разрушающую роль в передаче сигнала во всех эукариотических клетках во многих физиологических процессах. Его функции мессенджера являются следствием случайных изменений концентрации ионов в цитозоле и индуцируются множеством внешних и внутренних стимулов. Очевидны изменения циркуляции концентрации внутриклеточного кальция. Был продемонстрирован высокий уровень выхода кальций-иона вокруг амилопластов в клетках колумеллы. Прибавление высокой концентрации внеклеточного Ca^{2+} к растущей ткани может привести к существенному ингибированию роста. Также известно, что гравистимуляция вызывает быстрое движение Ca^{2+} к нижней части корня и перераспределение Ca^{2+} в клеточных стенках зоны удлинения. Концентрация Ca^{2+} в стенке в зоне низкого роста выше, для участков ускоренного роста верно противоположное. Это перераспределение наблюдается в корневых чехликах. Как упоминалось выше, циклотронная частота ионов Ca^{2+} – это формальная частота вращения иона в статическом магнитном поле. Одновременно использование переменного магнитного поля с той же частотой могло вызвать колебания Ca^{2+} в системе и следовательно изменить скорость вращения и/или направление потока ионов Ca^{2+} в биологическом объекте.

Таблица 1. Интенсивность флюоресценции ионов кальция, связанных со специфичным флюоресцентным индикатором fluo-4 после 10 мин. Гравистимуляции, отн. ед.

Условия гравистимуляции	Зона дистального растяжения		Среда прорастания	
			вода	Вода с хлористым кальцием
ПМП	Первая половина	верх	116 ± 3	150 ± 2
		низ	184 ± 5	231 ± 3
	Вторая половина	верх	131 ± 2	72 ± 1
		низ	195 ± 3	221 ± 3
КМП	Первая половина	верх	155 ± 4	233 ± 3
		низ	116 ± 2	92 ± 3
	Вторая половина	верх	159 ± 4	194 ± 3
		низ	101 ± 2	128 ± 2

Таблица 2. Интенсивность флюоресценции ионов кальция, связанных со специфичным флюоресцентным индикатором fluo-4 после 20 мин. Гравистимуляции, отн. ед.

Условия гравистимуляции	Зона дистального растяжения		Среда прорастания	
			вода	Вода с хлористым кальцием
ПМП	Первая половина	верх	99 ± 3	102 ± 2
		низ	169 ± 4	175 ± 3
	Вторая половина	верх	75 ± 2	102 ± 1
		низ	165 ± 3	202 ± 3
КМП	Первая половина	верх	182 ± 3	220 ± 3
		низ	108 ± 2	155 ± 2
	Вторая половина	верх	127 ± 4	195 ± 3
		низ	67 ± 1	119 ± 2

Таблица 3. Интенсивность флюоресценции ионов кальция, связанных со специфичным флюоресцентным индикатором fluo-4 после 30 мин. Гравистимуляции, отн. ед.

Условия гравистимуляции	Зона дистального растяжения		Среда прорастания	
			вода	Вода с хлористым кальцием
ПМП	Первая половина	верх	119 ± 2	161 ± 3
		низ	146 ± 4	215 ± 3
	Вторая половина	верх	93 ± 2	119 ± 2
		низ	139 ± 3	214 ± 3
КМП	Первая половина	верх	187 ± 3	228 ± 3
		низ	112 ± 2	170 ± 2
	Вторая половина	верх	150 ± 4	202 ± 3
		низ	79 ± 2	127 ± 2

Влияние амплитуды переменной составляющей КМП на величину наблюдаемого эффекта.

Для проверки ряда теорий воздействия КМП на гравитропическую реакцию растений очень важно было выяснить зависимость наблюдаемого эффекта от амплитуды переменной составляющей КМП.[12] Контрольные образцы помещали в искусственно созданное внутри экрана постоянное МП. Полученные результаты отображены на рис. 6.

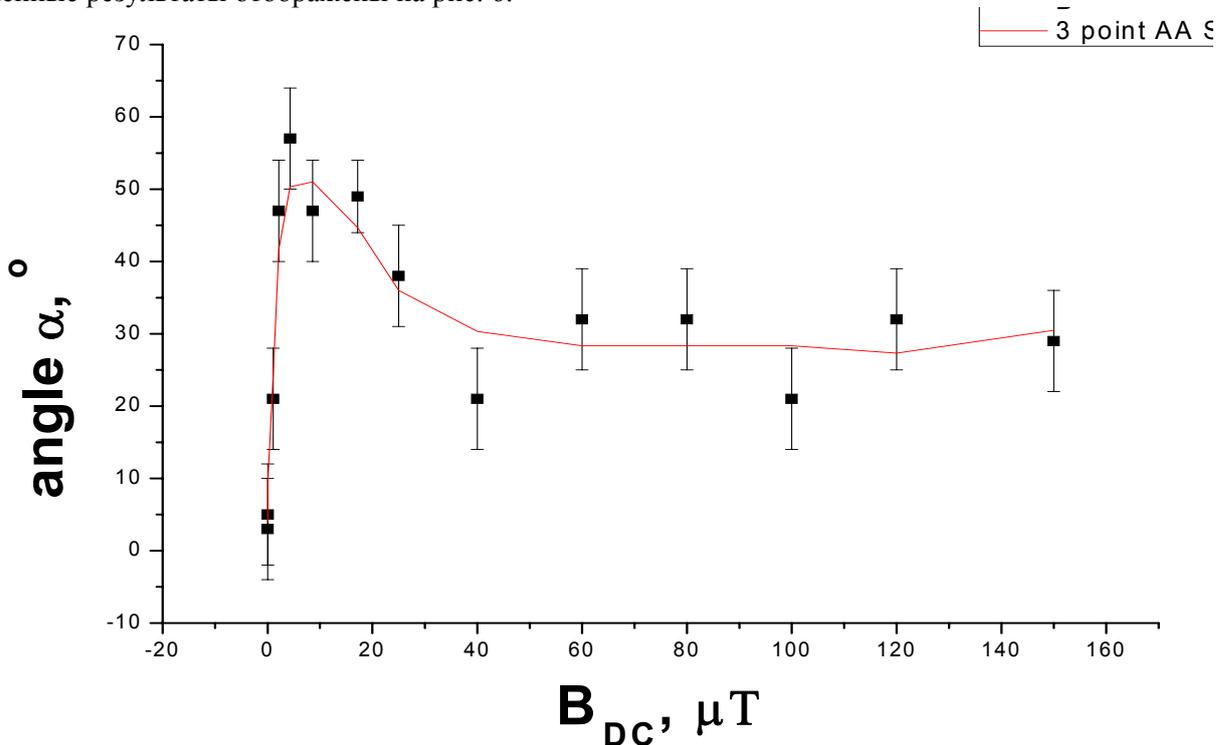


Рис.6. Зависимость отклонения углов кресс-салата от горизонтальной плоскости от индукции постоянного магнитного поля.

Таким образом, показано что гравитропическая реакция существенно уменьшается в малых постоянных магнитных полях (менее 1-2 мкТл); Максимальная гравитропическая реакция наблюдается в области полей 2 – 40 мкТл; Слабое уменьшение в области значений магнитной индукции более 40 мкТл может быть связано с увеличением магнитных шумов в этой области.

Влияние амплитуды переменной составляющей КМП на гравитропическую реакцию корней кресс-салата в области значений амплитуды ПемП порядка индукции постоянного МП.

Согласно теории параметрического резонанса в биосистемах значения биологически эффективных частот переменной компоненты формально совпадают с циклотронной частотой для данного типа ионов в вакууме [13, 14]. Величина такого эффекта, индуцируемого КМП в режиме параметрического резонанса, т.е. при частотах переменной составляющей МП, близких к циклотронной, определяется квадратом функции Бесселя 1-ого порядка:

$$P \sim J_1^2(2f_1/f) / (1 + (f - f_c)^2 / \lambda^2) \tag{3.1}$$

где f – частота переменной составляющей КМП, f_L – частота Лармора, соответствующая пику амплитуды переменной компоненты КМП (при $f = f_c$ должен наблюдаться максимум эффекта), λ – полуширина (на половине высоты) пика частотной зависимости ответа биологического объекта на воздействие КМП и при этом константа скорости диссоциации данного иона из центра связывания Ca^{2+} , определяется как $k = 2\pi\lambda$ [15]. Из формулы (3.1) видно, что наибольшая величина эффекта достигается при отношении $B_{AC}/B_{DC} = 1.84$. Полученные результаты для корней кресс-салата приведены на рис.7.

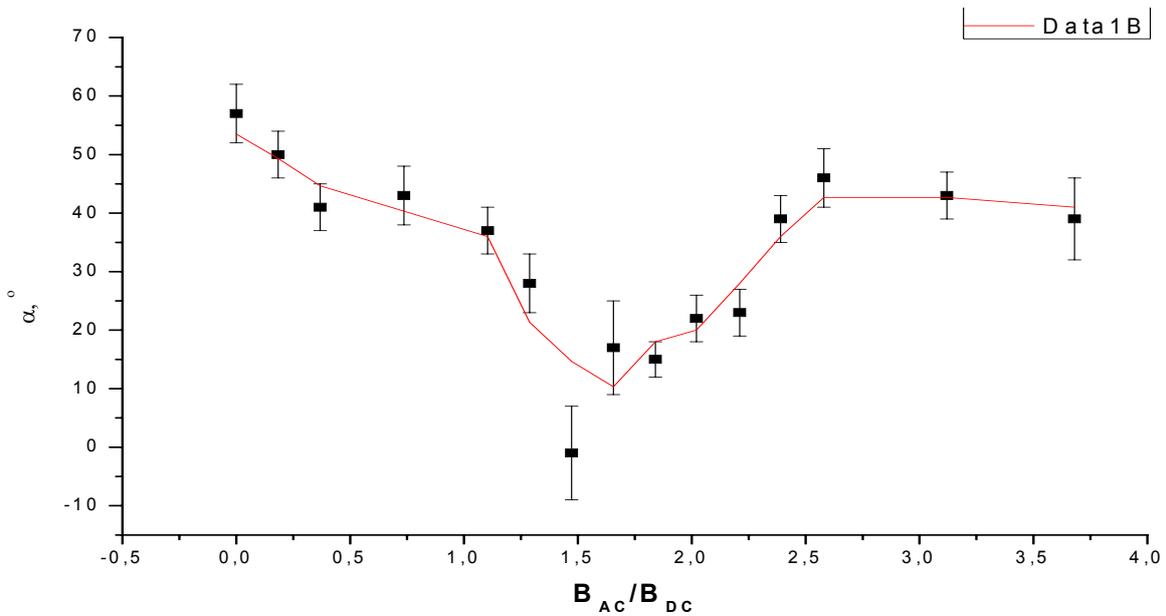


Рис.7. Зависимость угла отклонения корней от горизонтальной плоскости α от величины соотношения B_{AC}/B_{DC}

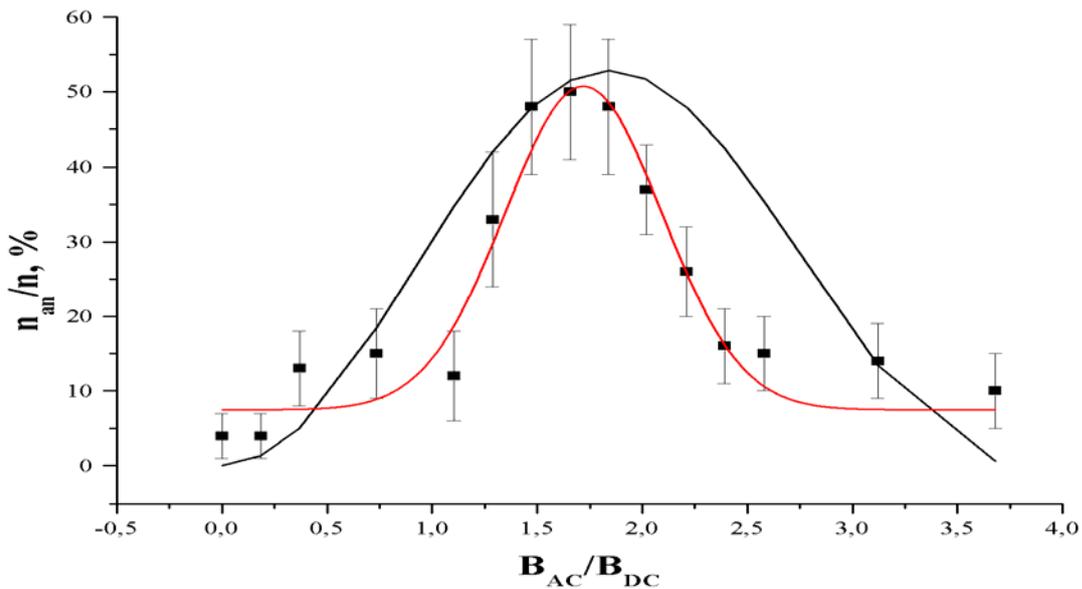


Рис.8. Зависимость процента аномальных корней от отношения B_{AC}/B_{DC} . Здесь черная кривая – квадрат функции Бесселя, красная – гауссиан.

Анализ полученной кривой привел к следующему выводу: максимум биологического эффекта находится ниже предсказанного теорией параметрического резонанса (при $B_{AC}/B_{DC} = 1.65$). Небольшой сдвиг, наблюдаемый в эксперименте, укладывается в стандартную ошибку эксперимента. Однако характер максимума сильно отличается от квадрата функции Бесселя $J_1^2(B_{AC}/B_{DC})$. Из рис. 8. хорошо видно, что полученные кривые носят резонансный характер и могут быть аппроксимированы скорее лоренцианом или гауссианом, чем квадратом функции Бесселя. Здесь следует отметить, что в работах Леднева [16,17] при приведении этих графиков вдали от максимума присутствуют 1 или 2 точки, что не позволяет ему достоверно аппроксимировать кривую.

На экспериментальной кривой существует 5 точек, которые с вероятностью более 95% отклоняются от теоретически предсказанной зависимости [18]. Наблюдаемые результаты могут найти более простое объяснение. Гравитропическая реакция имеет порог, лежащий в районе 2 - 4

мкТл. При модуляции постоянного МП переменным, амплитуда которого может быть больше величины магнитной индукции постоянного МП, суммарное МП проходит через 0 и меняет знак. При этом корни части периода находятся в магнитном поле, величина которого ниже порога, что может приводить к замедлению гравитропической реакции. Очевидно, что максимальным это время будет при значении амплитуды переменного магнитного поля $B_{AC} = B_{DC} + B_0$, где B_0 – пороговая индукция для постоянного магнитного поля. Если подставить значение B_0 , то получим максимальный эффект для отношения B_{AC}/B_{DC} , равного 1.3 – 1.6, что хорошо согласуется с экспериментом. Кроме того, начало эффекта будет наблюдаться при $B_{AC} = B_{DC} - B_0$, т.е. при значении отношения B_{AC}/B_{DC} равном 0.4 – 0.7, что также хорошо совпадает с опытом. Эффект при таком объяснении должен резко нарастать, достигать максимума и потом менее резко падать. Замедление падения также наблюдается в эксперименте.

Влияние амплитуды переменной составляющей КМП на гравитропическую реакцию корней кресс-салата в области малых значений амплитуды переменного МП (B_{AC} на уровне пико и нанотеслового диапазона).

Полученные результаты [18] представлены на рис 9.

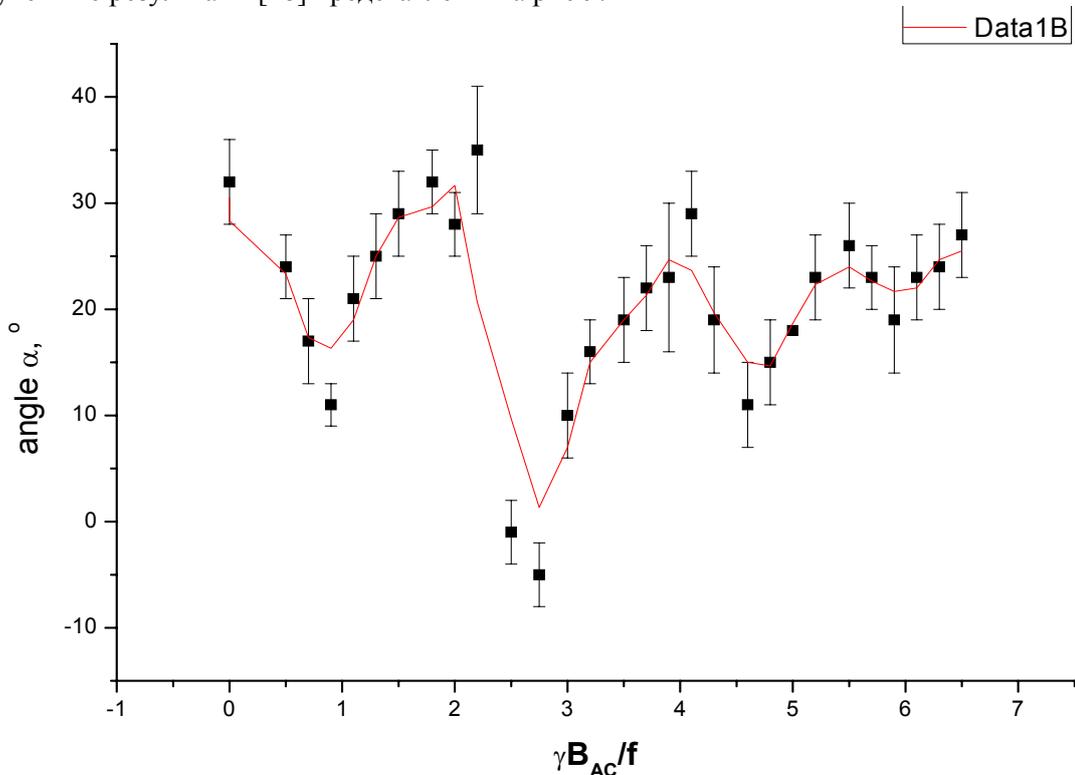


Рис.9. Зависимость угла отклонения α от горизонтальной плоскости от соотношения $\gamma B_{AC}/f$

Здесь γ – величина гиромангнитного отношения для рассматриваемого магнитного момента. В нашем случае значение $\gamma = 42.578$ Гц/мкТл и соответствует спину ядра атома водорода. Из рис. хорошо видно, что максимальные отклонения гравитропической реакции от нормальной наблюдаются в точках $\gamma B_{AC}/f = 0.9, 2.75, 4.6, 5.9$, что хорошо совпадает с теоретическими предсказаниями [19]. Сравнение экспериментальных результатов с теоретически предсказанной зависимостью представлено на рис 10.

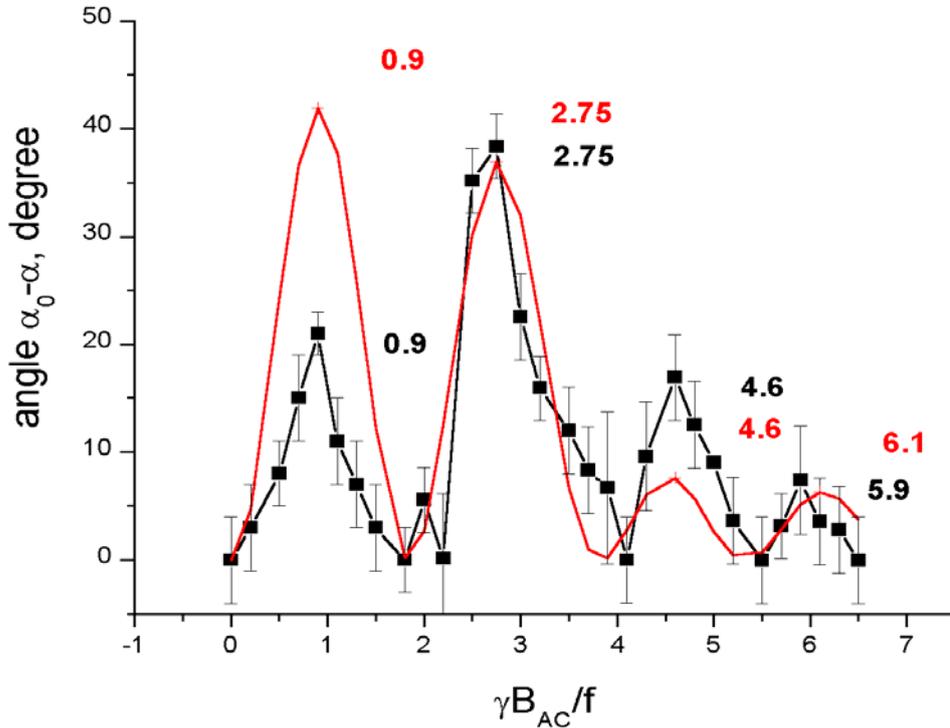


Рис.10. Сравнение экспериментальных результатов с теоретической кривой (красная кривая).

Из рисунка хорошо видно, что хотя положение максимумов очень хорошо совпадает с теоретически предсказанными в [19], амплитуда 1-ого и 3-его максимумов существенно отличается от предсказанной. Это расхождение достоверно. Кроме того, здесь необходимо отметить, что форма каждого пика может быть аппроксимирована также и Лоренцианом. Поскольку в нашем случае γ – это гироманнитное отношение спина ядра атома водорода, то можно с уверенностью сказать, что ионы водорода также принимают непосредственное участие в ГТР кресс-салата. Хотя теория параметрического резонанса не может полностью объяснить все наблюдаемые эффекты, нам кажется очень правдоподобным, что основная идея, выдвинутая В.В.Ледневым, о том, что КМП влияет на комплексы металлов с белками, например, кальций–кальмодулин или кальций-ИУК, или кальций-АБК является верной. Доказательством этому служат наши данные: основные частоты сильного биологического действия – это циклотронные частоты кальция, ИУК, АБК, калия, водорода.

Исследование генерации ЭМИ из прорастающих растений.

Начальные опыты с генерацией ЭМИ единичными прорастающими зерновками были проделаны на семенах пшеницы [20,21], т.к. объем зерна кресс-салата в 1000 раз меньше, чем объем семени пшеницы, а следовательно, и во столько же раз будет меньше излучаемая мощность. На семенах кресс-салата проделаны опыты на ансамбле из 25 параллельно ориентированных семенах. Все измерения производились внутри магнитных экранов. Для измерения шумов собственного магнитного поля сухие зерновки пшеницы помещали последовательно в сверхпроводящий экран с замороженным магнитным полем 7 нТл и 12 мкТл, получили соответственно кривые a_1 и b_1 на рис. 6.1. Одновременно измеряли магнитное поле вблизи зерновок, отводя магнитометр на расстояние 10 мм от зерновки, а затем приближая его на расстояние 3-5 мм. Его магнитная индукция меньше 0.10 нТл как в первом случае при $B = 7$ нТл, так и во втором случае при $B = 12$ мкТл. При помещении сухих зерновок в трехслойный пермаллоевый экран с магнитным полем 20 нТл и искусственным магнитным полем 10 мкТл изменений в кривых c и d (без зерновок, рис.6.1) вообще не было обнаружено. Полученные значения магнитной индукции указывают на то, что собственный магнитный момент зерновки $p_m < 1.3 \cdot 10^{-11}$ А·м². Для сравнения p_m сердца человека $\sim 5 \cdot 10^{-7}$ А·м², мозга – $2 \cdot 10^{-8}$ А·м². [22].

Так как оценки собственного магнитного поля зерновок в работах [23, 24, 25] были сделаны для прорастающих в воде зерновок, то и здесь мы провели еще эксперименты на влажных прорастающих зерновках. Эти зерновки были предварительно замочены в воде, и после появления корня и проростка (т.е. после 1.5 – 2 суток пребывания в воде) помещены последовательно: в сверхпроводящий магнитный экран с остаточным магнитным полем $B = 7$ нТл; сверхпроводящий магнитный экран с замороженным магнитным полем $B = 12$ мкТл; трехслойный пермаллоевый экран с остаточным магнитным полем $B = 20$ нТл; трехслойный пермаллоевый экран с искусственно созданным магнитным полем $B = 10$ мкТл (соответственно кривые a_2 , b_2 , c_2 и d_2 на рис.11). Просуммируем основные полученные результаты: магнитное поле сухой зерновки пшеницы на расстоянии 3 – 5 мм от нее менее 0.1 нТл как во внешнем магнитном поле с индукцией $B = 7$ нТл,

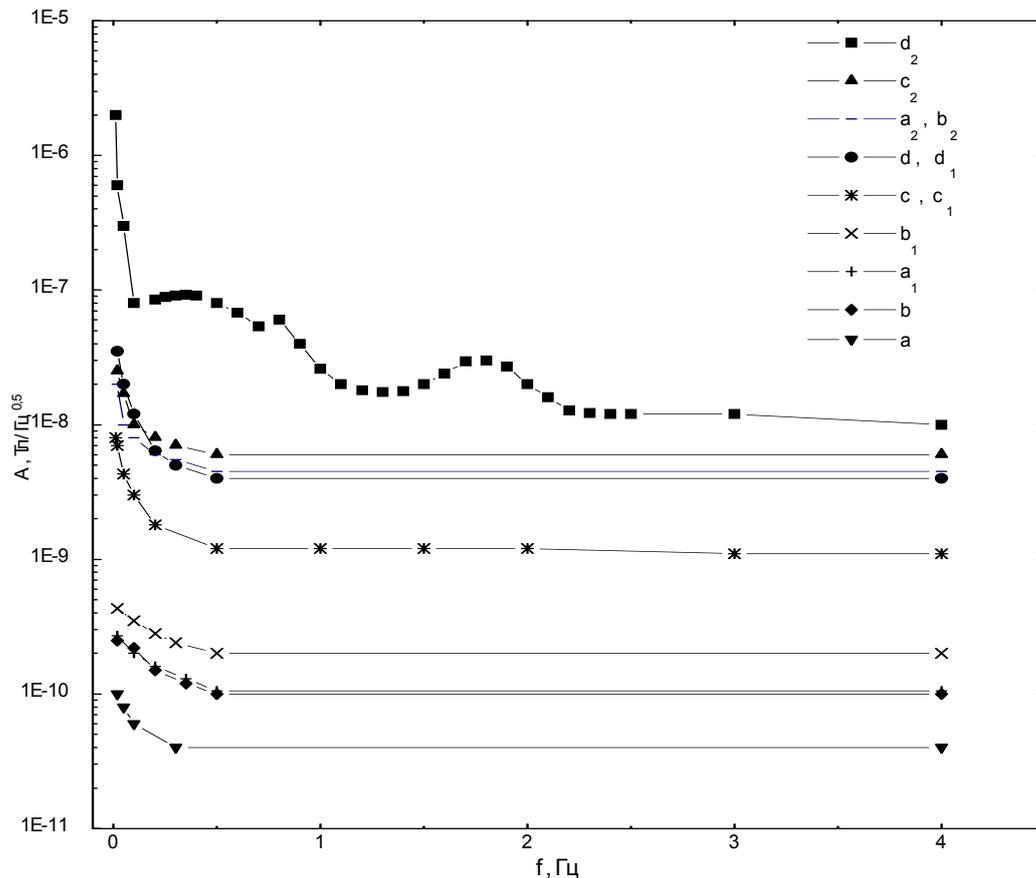


Рис.11. Зависимость амплитуды спектральной плотности магнитного шума от частоты для следующих систем: a – сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом и замороженным магнитным поле с магнитной индукцией $B = 7$ нТл; b – сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом и замороженным магнитным полем с магнитной индукцией $B = 12$ мкТл; c – трехслойный магнитный экран с остаточным магнитным полем с магнитной индукцией $B = 20$ нТл; d – трехслойный магнитный экран с искусственно созданным внутри него магнитным полем с магнитной индукцией $B = 10$ мкТл, индекс 1 при букве соответствует сухой зерновке при тех же условиях, 2 – влажной.

так и в магнитном поле с индукцией $B = 12$ мкТл; магнитное поле влажной зерновки пшеницы на расстоянии 3 – 5 мм от нее меньше 5 нТл в магнитном поле с индукцией $B = 7$ нТл, $B = 20$ нТл и $B = 12$ мкТл (сверхпроводящий экран), причем, амплитуда спектральной плотности магнитного шума как в области белого, так и в области $1/f$ шума является суммой собственного шума экрана и собственного шума влажной зерновки; кривая амплитуды спектральной плотности магнитного шума влажных семян в искусственно созданном магнитном поле с индукцией $B = 10$ мкТл (пермаллоевый экран) лишь в области частот $f > 3$ Гц является суммой амплитуд спектральных плотностей шума

искусственно созданного магнитного поля и влажной зерновки, при частотах $f < 3$ Гц амплитуда спектральной плотности шума магнитного поля влажной зерновки, помещенной в искусственно созданное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 10$ мкТл, существенно превышает сумму амплитуд спектральной плотности шума влажной зерновки в "0" магнитном поле ("0" магнитное поле – остаточное магнитное поле пермаллового экрана с магнитной индукцией, равной 20 нТл) и плотности шума искусственно созданного магнитного поля. Она существенно (на 1 – 2 порядка) выше, причем, имеет две особенности типа телеграфного шума при $f \approx 1.8$ и $f \approx 0.4$ Гц; положение максимумов линейно зависят от магнитной индукции постоянного поля. При увеличении B в 2 раза частота, на которой наблюдается максимум, также увеличивается вдвое.

Исходя из положения наблюдаемых максимумов, можно, используя формулу для циклотронной частоты в постоянном магнитном поле с индукцией $B\omega = neB/M$, вычислить массу для наблюдаемых пиков. Она равна $(66 - 84)m$ протона для первой гармоники пика при $f = 1.8$ Гц, если n (заряд иона) = 1, $(132 - 168)m$ протонов для этого же пика для второй гармоники, или $n = 2$.

Аналогично для пика с центром при $f = 0.4 \div 0.8$ Гц имеем $M = (150 - 250)m$ протона при $n = 1$. Именно такими массами $(140 - 180)m$ протона обладают аминокислотные остатки и ионы индолил-уксусной и абсцизовой кислот (ростовых гормонов). Линейная зависимость частоты, при которой наблюдаются максимумы, от величины магнитной индукции постоянного поля, наблюдаемая в эксперименте заставляет нас предположить, что наблюдаемое явление относится к серии явлений, обнаруженных Либовым [26-31]. В пользу этого говорит и сравнение частот, на которых наблюдается биологический эффект в КМП с частотами, на которых происходит повышенная генерация ЭМП и циклотронными частотами (рис.12).

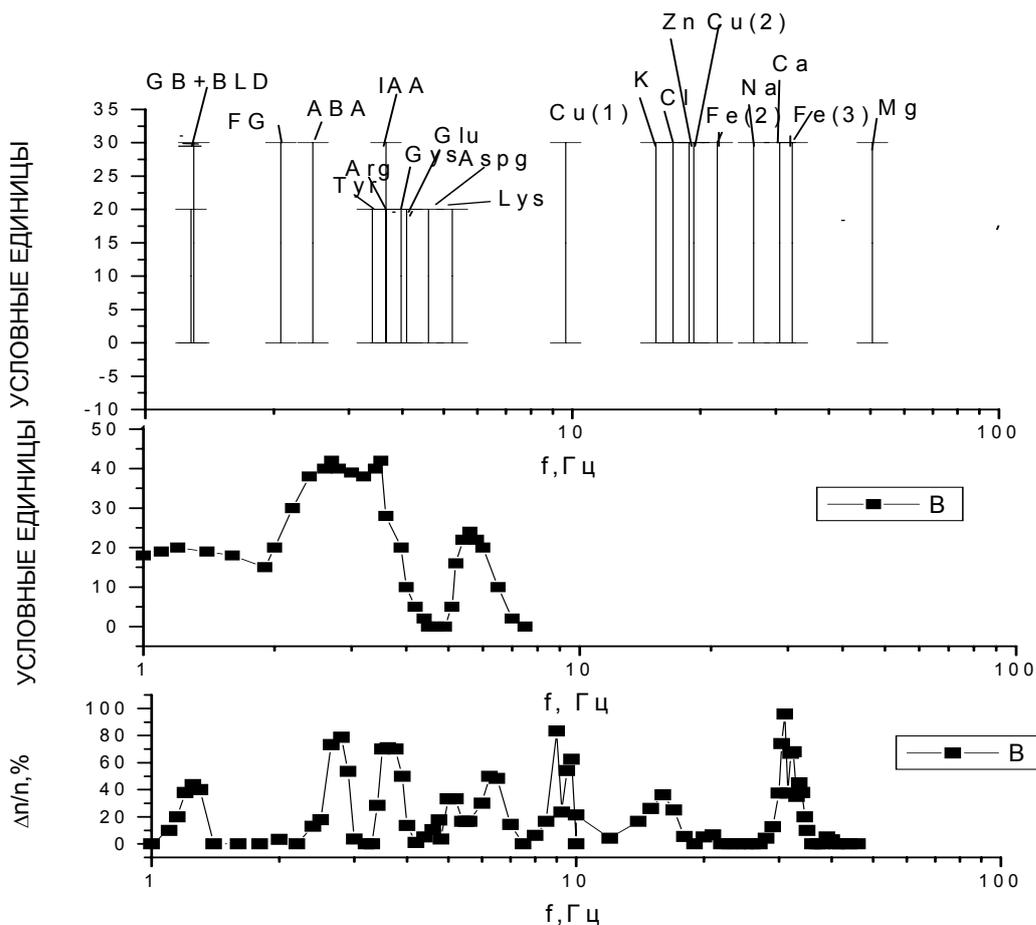


Рис.12. Сравнение кривых поглощения в КМП (нижняя кривая), излучения (средняя кривая) и рассчитанных для различных ионов циклотронных частот (верхний график).

Таким образом, собственное магнитное поле сухой зерновки пшеницы менее 0,1 нТл на расстоянии 3 – 5 мм от нее; собственное магнитное поле влажной зерновки пшеницы менее 5 нТл на расстоянии 3 – 5 мм от нее; влажная зерновка пшеницы генерирует одинаковое по величине переменное шумовое магнитное поле как в постоянном магнитном поле с индукцией $B = 7$ нТл, 20нТл, так и в постоянном магнитном поле с индукцией $B = 12$ мкТл, если собственные шумы этих полей не превышают 1 нТл/Гц^{0.5}; собственное магнитное поле семени кресс-салата (растущего) ~ $3 \cdot 10^{-11}$ Тл на расстоянии 3 – 5 мм от него, собственный магнитный шум 10^{-11} Тл/ Гц^{0.5}; магнитное поле с магнитной индукцией $B = 10$ мкТл и уровнем шумов 4 нТл/Гц^{0.5} индуцирует резкое увеличение собственных магнитных шумов, генерируемых влажной зерновкой в области низких частот (до 3-100 раз); полученные спектры излучения хорошо совпадают со спектрами поглощения. Целый ряд максимумов удалось соотнести с определенными биологически активными молекулами, формально используя циклотронные частоты ионов. Этими молекулами оказались молекулы кальция, калия, ИУК, АБК и гибберелины.

В заключение необходимо отметить, что большинство результатов по изучению собственных электромагнитных полей, генерируемых биологическим объектом, получены в условиях, когда уровень собственных шумов внешнего магнитного поля не мал [32]. Однако корреляция внешнего шума с собственным магнитным полем не учитывается, так как большинство измерений производится с помощью градиентометра, в котором внешний шум автоматически исключается. Уровень магнитных шумов в земных условиях (даже вдали от города) именно такой, как был создан нами в искусственном магнитном поле трехслойного пермаллового экрана. Из полученных результатов следует, что биообъект взаимодействует с магнитными шумами. Магнитные шумы в постоянном магнитном поле индуцируют различные переходы, что, согласно [33], может играть важную роль в эволюции биообъектов.

Все сказанное выше позволило [10] высказать новое предположение, о механизме действия КМП как на ГТР, так и о механизме генерации растущими зерновками излучений и их связи с внешними шумами. Известно, что ГТР связана с давлением тяжелых элементов клетки на ее мембрану в нижней части клетки. А это приводит, в свою очередь, к разрывам мембраны клетки в нижней ее части и образованию каналов для направленного транспорта ионов. Такое предположение вполне может объяснить ряд наблюдаемых эффектов и в нашем случае. Постоянная составляющая КМП заставляет все ионы (от знака заряда иона зависит только направление вращения) вращаться вокруг поля в ту или другую сторону. Любые столкновения приводят только к изменению радиуса вращения, но не частоты. Вращение связано с возникновением центробежных сил, а, следовательно, оно приводит к увеличению давления на клеточную оболочку. Наложение переменной составляющей МП на постоянную составляющую должно приводить к возникновению колебаний мембраны с частотой, равной частоте переменной составляющей КМП, что может привести к дополнительному разрыву мембран в области максимального давления и дополнительному направленному транспорту ионов через образовавшиеся каналы. В КМП эти каналы могут быть расположены не только в месте нахождения самых тяжелых частиц в клетке, т.е. внизу, что может привести к изменению направленного транспорта ионов и знака ГТР. Изменение количества каналов приводит к изменению скорости ГТР. Резонансное образование новых каналов должно наблюдаться при этом на частотах собственных колебаний мембраны под действием силы тяжести, оценка этих частот дает величину порядка $10^6 - 10^7$ Гц. Оценки давления, оказываемого на стенку мембраны крахмальными зернами, дают величину порядка $(0.3 - 5) \cdot 10^{-5}$ Н/м², аналогичные расчеты для давления, оказываемого на стенку мембраны силой, возникающей в результате вращения ионов в КМП, дают величину того же порядка $(0.1 - 0.5) \cdot 10^{-5}$ Н/м². Т.о., могут образовываться дополнительные каналы в мембране, причем в направлении, перпендикулярном силе гравитации, в нашем случае их образуется больше, т.к. направление силы Лоренца перпендикулярно силе гравитации. Кроме этого, наличие переменной составляющей КМП должно приводить к осцилляциям давления и растяжения мембраны в направлении, перпендикулярном силе гравитации, что, в свою очередь, должно приводить к осцилляциям размеров ионных каналов и их пропускной способности. Однако резонансные эффекты на циклотронных частотах ионов должны наблюдаться только, если места синтеза ионов в клетке локализованы (вблизи этих мест должно быть максимальное число новых каналов в мембране).

Особый интерес вызывает модифицированная теория Немеца-Геберлендта, в которой крахмальные зерна в клетке считаются связанными со стенками клетки тонкими упругими нитями (restrained model).

При превышении внешним шумом некоторого порога объекты сами могут выбрать из шума ту частоту, которая вызывает резонансное излучение зерновками на некоторых частотах.

Искажение собственного ЭМИ биообъектов окружающей средой.

Данная часть работы посвящена расчетам изменения собственного ЭМП, сопровождающего каждый биологический объект, окружающими его предметами (не биологическими), сделанными из различных

материалов, разной формы и симметрии при различном расстоянии до них.[34]. В качестве окружения рассматривали металлические, диэлектрические предметы, а также магнетики и сверхпроводники.

Рассмотрены следующие модели: металлическая плоскость, бесконечно длинный металлический цилиндр, диэлектрическая плоскость, бесконечно длинный диэлектрический цилиндр, сверхпроводящая плоскость, бесконечно длинный сверхпроводящий цилиндр, плоскость из магнитного материала, бесконечно длинный цилиндр из магнитного материала.

Показано, что во всех случаях при расположении биообъекта вблизи рассматриваемого материала искажение собственного ЭМП может достигать его собственной величины, а это, в свою очередь, может приводить к возникновению биологических эффектов. Результаты расчетов сравнивались как с нашими результатами, так и с результатами, полученными другими авторами. Получены удовлетворительные совпадения. Показано, что в случае цилиндра (модель экрана) биообъект должен располагаться на его оси симметрии. При таком расположении искажение минимально и может быть сведено к нулю при малых размерах объекта. Взаимодействие объекта с границей раздела сред может привести к биолокационным эффектам. В большинстве случаев любое окружение биообъекта искажает его собственное постоянное ЭП и МП и его переменное ЭМП, при этом объект взаимодействует с окружением (в большинстве случаев притягивается к границе раздела разных сред). Так как уровень чувствительности многих организмов к постоянному МП [23, 24,35- 37] лежит на уровне $10^{-6} - 10^{-5}$ Тл, к постоянному ЭП [38 -41] – на уровне $10^{-7} - 10^{-6}$ В/м и к переменному ЭМП [10, 21, 42 – 44] – $10^{-6} - 10^{-5}$ Тл, то вполне возможно, что этим и объясняется биолокационный эффект. Имеются данные, что на организм, в частности растительный, существенно влияет материал, в котором его проращивают. Таким образом, основной вывод заключается в том, что любой биообъект не является замкнутым, а существенно реагирует на свое непосредственное окружение. Стараясь избавиться от внешних постоянных ЭП, МП и переменных ЭМП, мы окружаем биообъект различными материалами. Необходимо учитывать, что такое окружение может вносить свои эффекты и во избежание данных эффектов, во-первых, экран должен обладать осью симметрии, во-вторых, размеры его должны быть много больше размеров объекта, в-третьих, образец надо размещать точно по оси симметрии. Даже в условиях расположения объекта точно по оси экрана в случае протяженного объекта, собственное его поле искажается за счет поля диполей и их изображений, лежащих в других плоскостях, перпендикулярных оси экрана и объекта. Внутри используемого сверхпроводящего экрана должен быть помещен металлический, экранирующий его вихревые токи, чтобы собственное МП биообъекта не искажалось. Наличие же металлического экрана из нормального металла ведет к перечисленным выше искажениям. Таким образом, взаимодействие биообъекта с окружающими предметами всегда ведет как к возникновению сил притяжения или отталкивания между объектом и окружением, так и к искажению его собственного ЭМП при измерении.

ВЫВОДЫ

1. Для получения хорошо воспроизводимых результатов было разработано несколько оригинальных методик проведения экспериментов в КМП с использованием экранирующей и сверхпроводящей техники. Использовалась методика исследования биообъектов малых размеров в КМП с заданными характеристиками (постоянная составляющая МП могла изменяться в пределах от 0.02 до 200 мкТл, а переменная – от 500 пТл до 35 мкТл). При этом фиксировали все изменения МП и его шумов. Была разработана методика регистрации шумового и постоянного МП, генерируемого биообъектом и методика регистрации искажений МП биообъектов вблизи предметов из различных материалов.

2. Впервые было показано, что КМП существенно изменяет характер гравитропической реакции корней кресс-салата. При этом было обнаружено даже изменение знака ГТР для КМП, переменная составляющая которого настроена на циклотронную частоту ионов кальция. Были подробно исследованы амплитудно-частотные зависимости эффекта КМП на ГТР. Это воздействие носит резонансный характер. Изменения ГТР наблюдаются в узкой области вблизи резонансных частот, соответствующих циклотронным частотам ионов кальция, калия, ИУК, АБК, Н. доказано, что выше перечисленные ионы ответственны за ГТР. Наблюдаемые эффекты связаны, по-видимому, с воздействием КМП на степень связывания различных ионов в изучаемом объекте.

3. Впервые измерены собственные МП вблизи прорастающих растений. Собственное магнитное поле сухой зерновки пшеницы менее 0,1 нТл на расстоянии 3 – 5 мм от нее. Собственное магнитное поле влажной зерновки пшеницы менее 5 нТл на расстоянии 3 – 5 мм от нее. Собственное магнитное поле семени кресс-салата (растущего) порядка $3 \cdot 10^{-11}$ Тл на расстоянии 3 – 5 мм от него, собственный магнитный шум 10^{-11} Тл/Гц^{0.5}.

4. Впервые измерены шумовые МП, генерируемые растениями. Влажная зерновка пшеницы генерирует одинаковое по величине переменное шумовое магнитное поле как в постоянном магнитном

поле с индукцией $B = 7$ нТл, 20 нТл, так и в постоянном магнитном поле с индукцией $B = 12$ мкТл, если собственные шумы этих полей не превышают 1 нТл/Гц^{0.5}.

5. Обнаружено, что магнитное поле с магнитной индукцией $B = 10$ мкТл и уровнем шумов 4 нТл/Гц^{0.5} индуцирует резкое увеличение собственных магнитных шумов, генерируемых влажной зерновкой в области низких частот (до $3 - 100$ раз). Генерируемое поле имеет несколько частотных максимумов.

6. Полученные спектры излучения хорошо совпадают со спектрами поглощения. Целый ряд максимумов удалось соотнести с определенными биологически активными молекулами, формально используя циклотронные частоты ионов. Этими молекулами оказались молекулы кальция, калия, водорода, ИУК, АБК и гибберелины.

7. Впервые было обнаружено, что любое окружение биообъекта искажает его собственное постоянное ЭП и МП и его переменное ЭМП, при этом объект взаимодействует с окружением (в большинстве случаев притягивается к границе раздела разных сред). Так как уровень чувствительности многих организмов к постоянному МП лежит на уровне $10^{-6} - 10^{-5}$ Тл, к постоянному ЭП – на уровне $10^{-7} - 10^{-6}$ В/м и к переменному ЭМП $10^{-6} - 10^{-5}$ Тл, то вполне возможно, что этим и объясняется биолокационный эффект.

Литература

1. Новиков В.В. Кооперативный эффект резонансного усиления ионного тока в водных растворах аминокислот при действии слабых электромагнитных полей. Подходы к экспериментально-теоретическому анализу // Биофизика. – 1996. – Т. 41, № 5. – С. 973 – 978.
2. Новиков В.В., Жадин Н.Н. Комбинированное действие слабых постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на ионные токи в водных растворах аминокислот // Биофизика. – 1994. Т.39, № 1. С. 45 – 49.
3. Новиков В.В. Иницирующее действие слабых магнитных полей на образование межмолекулярных связей в водных растворах аминокислот // Биофизика. – 1994. – Т. 39, № 5. – С. 825 – 830.
4. Новиков В.В., Новикова Н.И., Качан А.А. Кооперативные эффекты при действии слабых магнитных полей на опухолевый процесс in vivo // Биофизика. – 1996. – Т. 41, № 4. – С. 934 – 940.
5. Е.Л. Кордюм, М.А. Соболев, Я.М. Калинина, Н.И. Богатина, Н.В.Шейкина Біологічна дія комбінованого магнітного поля на гравітропічну реакцію кореня *Lepidium Sativum L.* // Укр.ботан. журн. 2008. Т.65, №1. С.141.
6. E. Kordyum, N. Bogatina, M. Sobol, Ia. Kalinina, N. Sheykina and A. Kondrachuk Cyclotron-based effects on plant gravitropism // Journal of Advances in Space Research, - 2007. - V 39, №7. - P. 1210 – 1218.
7. Богатина Н.И., Бондаренко С.И., Гудков С.В. и др. Сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом // ПТЭ. – 1989. – N 4. – С. 241 – 242.
8. Богатина Н.И., Бондаренко С.И. Особенности поведения замороженного магнитного потока и его шума в ВТСП керамике // ФНТ. – 1994. – № 20. – С. 100 – 106.
9. Н.И.Богатина, Н.В.Шейкина, Е.Л.Кордюм, В.А.Карачевцев Гравитропическая реакция растений в комбинированном (постоянном и переменном) магнитном поле //Доповіді НАН України. 2002. №4. С.176.
10. Шейкина Н.В., Богатина Н.И., Кордюм Е. Л. Влияние комбинированного магнитного поля на гравитропическую реакцию растений и спектр электромагнитного излучения, генерируемого ими в процессе роста // Радиофизика и электроника. – 2005. – Т.10, №2. – С.331 – 335.
11. Bogatina N.I., Kordyum E.L., Kalinina Ya. M., Sheykina N.V. A weak combined magnetic field changes root gravitropism // Advances in Space Research (a COSPAR information). – 2005. –V. 36, №7. – P. 1229 – 1236.
12. Богатина Н.И., Шейкина Н.В., Кордюм Е.Л. Изменения гравитропической реакции, вызванные постоянным магнитным полем. //Біофізичний вісник. 2006. - №17(1). – С. 78 – 82.
13. Lednev V.V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems // Bioelectromagnetics. – 1991. – 12. – №2. – P. 71 – 76.
14. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика. – 1996. – 41. – Вып. 1. – С. 224 – 232.
15. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильцова Е.Н. и др. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: Экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенирирующих планарий *Dugesia Tigrina* в качестве тест-системы // Биофизика. – 1996. – 41. – №4. С. 815 – 825.
16. Н.А.Белова, В.В.Леднев Зависимость гравитропической реакции в сегментах стеблей льна от частоты и амплитуды переменной компоненты слабого комбинированного магнитного поля // Биофизика. 2000. 45. №6. С. 1108.
17. Белова Н.А., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений // Биофизика. – 2001. – 46. – №1. – С. 122 – 125.
18. Шейкина Н.В., Богатина Н.И., Кордюм Е.Л. Зависимость гравитропической реакции кресс-салата от амплитуды переменной составляющей комбинированного магнитного поля // Біофізичний Вісник (Вісник Харківського університету). – 2007 – №18(1) - С. 78 – 90.

19. Белова Н.А., Ермакова О.Н., Ермаков А.М., Леднев В.В. Амплитудная зависимость биологических эффектов КС ПеМП с частотой 60 Гц// Сборник избранных трудов IV Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля в биологии и медицине» С. – П. – 2006. – С. 21 – 27.
20. Богатина Н.И., Шейкина Н.В. Магнитные шумы, генерируемые прорастающими зерновками пшеницы // Доповіді НАН України. – 2001. – №8. – С. 138 – 141.
21. Богатина Н.И., Шейкина Н.В. Собственное магнитное поле зерновок пшеницы и генерируемые ими магнитные шумы // Біофізичний Вісник (Вісник Харківського університету). – 2001. №525. №1(8). С. 101 – 107.
22. Дж. Киршвинк, Д. Джонс, Б. Мак-Фадден, Биогенный магнетит и магниторецепция// Новое о биомагнетизме. – 1989.
23. Богатина Н.И., Литвин В.М., Травкин М.П. Ориентация корней зерновок пшеницы в магнитном поле Земли, влияние собственного поля зерновки // Электронная обработка материалов. – 1986. – №6. – С. 56 – 62.
24. Богатина Н.И. Литвин В.М., Травкин М.П. Ориентация корней пшеницы под действием геомагнитного поля // Биофизика. – 1986. – Т. 31, № 5. – С. 886 – 892.
25. Богатина Н.И. Литвин В.М., Травкин М.П. О собственном электромагнитном поле зерновок пшеницы // Биофизика. – 1989. – Т. 34, №2. – С. 336 – 338.
26. McLeod B.R. Smith S.D., Liboff A.R Calcium and potassium cyclotron resonance curves and harmonics in diatoms // J. Bioelectricity. –1987. – V.6. – P. 153 – 168.
27. Liboff A.R. Geomagnetic cyclotron resonance in living systems // J. Biol. Phys. – 1985. – V. 12. – P. 99 – 102.
28. Liboff A.R. Cyclotron resonance in membrane transport // Interaction between electromagnetic field and cells (edited by Chiabrera C, Nicolini C., Schwan M.P.): articles / – London, Plenum Press, 1985. – P. 281 – 296.
29. Liboff A.R., Rozek R.J., Sherman M.L., McLeod B.R., Smith S.D. $^{45}\text{Ca}^{2+}$ cyclotron resonance in human lymphocytes // J. Bioelectricity. – 1987. – V.8. – P. 12 – 22.
30. McLeod B.R., Liboff A.R. Dynamic characteristics of membrane ions in multifold configurations of low frequency electromagnetic radiation// Bioelectromagnetics. – 1986. – 7. – P. 177 – 189.
31. Liboff A.R., McLeod B.R. Kinetics of channelized membrane ions in magnetic fields// Bioelectromagnetics. – 1988. – 9. – P. 12 – 22.
32. Введенский В.Л., Ожогин В.Н. Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм// М. – Наука. – 1986. – С. 200.
33. Богатина Н.И., Литвин В.М., Травкин М.П. Зависимость реакции биологических объектов на магнитные поля от их шумов (полей), возможное влияние на процессы эволюции // Электронная обработка материалов. – 1987. – №4. – С. 64 – 69.
34. Шейкина Н.В., Богатина Н.И. Искажение собственного электромагнитного поля биологических объектов окружающей средой. Природа биолокации // Біофізичний Вісник (Вісник Харківського університету). – 2005. – №716 – № 2 (16). – С. 57 – 64.
35. Adey W.R Frequency and energy windows during the weak magnetic field action on the alive tissue // Proceeding IEEE – 1980 - 68 – P. 140-148.
36. Богатина Н.И., Веркин Б.И., Кулабухов В.М. др. Определение порога чувствительности проростков и корней пшеницы к величине магнитного поля // Физиология растений – 1979 – 28 - №3 - С.620-624.
37. Богатина Н.И., Веркин Б.И. Влияние слабых магнитных полей на скорость роста, сухую массу и скорость клеточной репродукции гороха // Доклады АН УССР, - серия Б – 1979 - №6 - С.460-463.
38. McAuley A.L.? Scott B.I.H. A new approach to study of electric fields produced by growing roots // Nature – 1954 – 174 - №4437 - P. 924-936
39. Adey W.R., The prove of functional importance of external and initial low frequency electric fields for encephalitis tissue action // 1981,Physiol Rev. – 1981 – 61 - P.435-514
40. Протасов В.Р., Барон В.Д., Дружинин Л.А., Чистякова В.Ю. Нильский слоник *Gnathonemus Patersii* – индикатор внешних воздействий // Доклады АН СССР – 1981 - 260, - №1 - С. 248-252.
41. Богатина Н.И., Литвин В.М., Травкин М.П. Возможные механизмы действия магнитного, гравитационного и, электрического полей на биологические объекты. Аналогии в их действии // Электронная обработка материалов – 1986 - №1 – С.64-67.
42. Данилов В.И., Паршинцев И.И., Туркин В.В. Влияние одиночного импульса магнитного поля на электрическую активность нейронов моллюска // Биофизика - 1984 – 29 - С.109-112
43. Пирузян Л.А. Кмутошвили Т.М., Накипова О.В. и др. Действие низкочастотного магнитного поля на сократимость миокарда // Доклады АН СССР – 1083 - 270, - №6 - С. 1486-1489
44. Kuznetsov O.A. Curvature induced by Amyloplast Magnetophoresis in Protonemata of the Moss *Ceratodon purpureus* //Plant Physiology -1999 – 119 - P/645-650.