

## ДЛЯ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

УДК:58.037.86.52.771

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ШУМОВ НА ГРАВИТРОПИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ РАСТЕНИЙ И НА АМПЛИТУДУ И СПЕКТР ГЕНЕРИРУЕМОГО ИМИ В ПРОЦЕССЕ РОСТА МАГНИТНОГО ШУМА

Н.В. Шейкина<sup>1</sup>, Бондаренко В.А.<sup>1</sup>, Н.И. Богатина<sup>2</sup>

*1-Харьковский национальный университет им В.Н. Каразина*

*4, пл. Свободы, Харьков, 61075, Украина*

*Email: Sheykina@ukr.net*

*2-Физико-технический институт низких температур НАН Украины, 47, пр. Ленина, Харьков, 61100 Украина*

*Email: bogatina@ilt.kharkov.ua*

Поступила в редакцию 2 ноября 2007 г.

Проведены экспериментальные исследования гравитропической реакции корней кресс-салата и гороха в одних и тех же хорошо воспроизводимых магнитных полях, но при различном уровне магнитного шума, искусственно созданного в рабочем объеме. Амплитуда спектральной плотности искусственно созданного шума находилась в интервале от 0.1 нТл/Гц<sup>0.5</sup> до 500 нТл/Гц<sup>0.5</sup>. Показано, что наблюдаемые ранее эффекты (отрицательный гравитропизм, зависимость биологического эффекта от величины отношения индукции переменной составляющей комбинированного магнитного поля к индукции постоянной составляющей) не зависят от амплитуды магнитного шума внешнего магнитного поля вплоть до уровня 1 нТл/Гц<sup>0.5</sup>. Увеличение амплитуды внешнего магнитного шума приводит к существенному уширению наблюдаемых кривых, что обязательно следует учитывать при построении теоретической модели для интерпретации результатов. Генерация магнитных шумов прорастающими зерновками пшеницы и семян кресс-салата также зависит от уровня внешнего магнитного шума. От него же зависит и спектр генерируемого семенами шума.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** комбинированное магнитное поле, уровень внешнего магнитного шума, гравитропическая реакция, спектр генерируемого семенами магнитного шума.

Влиянию магнитного поля на различные биологические процессы посвящено огромное количество работ. Во-первых, давно доказано, что неоднородное магнитное поле вызывает изменение направления роста как корней, так и стеблей [1,2]. Во-вторых, известно [3,4], что однородное постоянное магнитное поле с напряженностью меньше земного в 20 раз существенно угнетает ростовую и гравитропическую реакцию многих исследованных растений (пшеницы, гороха, кресс-салата). Следует, однако, иметь в виду, что шумы магнитного поля могут приводить к существенному искажению результатов (особенно это касается экспериментов с большой длительностью (более суток)), это было показано нами в работе [5].

Интерес к работам по магнитобиологии вырос после открытия в 80-х годах Либовым явления влияния комбинированного магнитного поля (КМП), переменная составляющая которого настроена на циклотронную частоту ионов кальция, на биологические объекты [6-9]. Под комбинированным магнитным полем здесь и всюду далее подразумевается постоянное магнитное поле и коллинеарное ему переменное магнитное поле. Теория ионного параметрического резонанса, развитая Ледневым в работе [10], дала наблюдаемому явлению довольно разумное объяснение, однако многие ее положения ничем не доказаны, а экспериментальные результаты дают плохо воспроизводимые результаты. Поэтому необходима экспериментальная проверка предсказаний гипотезы Леднева. Основной вывод, следующий из модели ионного параметрического резонанса – это пропорциональность интенсивности биологического

эффекта квадрату функции Бесселя первого порядка с аргументом  $\beta$ , равным  $\beta = V_{AC}/V_{DC}$ , где  $V_{AC}$  – переменная составляющая, а  $V_{DC}$  – постоянная составляющая магнитной индукции. Квадрат функции Бесселя имеет максимум при  $\beta = 1.84$ , а минимум при  $\beta = 0$  и  $\beta = 4$ . Экспериментальной проверке положений модели ионного параметрического резонанса была посвящена наша предыдущая работа [11]. В [11] было показано, что форма кривой зависимости биоэффекта от отношения  $V_{AC}/V_{DC}$  существенно отличается от предсказанной теоретически. Сравнить ее данные с результатами работ [12 - 16] совершенно неэффективно, т.к. в работах [12 - 16] ошибка эксперимента была столь велика, что полученная в них кривая зависимости биоэффекта от соотношения  $V_{AC}/V_{DC}$  может быть аппроксимирована даже прямой параллельной оси ординат. Различие между условиями работы [11] и условиями работ [12 - 16] состоит в том, что в [11] внешнее магнитное поле экранировали и внутри рабочего объема создавали искусственное КМП с необходимыми характеристиками, в то время как в [12 - 16] КМП состояло из постоянной составляющей земного магнитного поля, на которую накладывалась искусственно созданная переменная составляющая магнитного поля. Т.о. в [12 - 16] магнитные шумы и флуктуации земного магнитного поля всегда присутствовали во время эксперимента, и уровень магнитных шумов не контролировался.

Пренебрегать магнитными шумами нельзя, давно известно, что внешнее магнитное поле и его флуктуации (в частности, магнитные бури) существенно влияют на многие живые организмы, начиная от простейших водорослей до человека и животных. Существует множество работ, начиная с классических работ Чижевского и кончая работами Шноля [см. обзоры 17, 18, 19], в которых четко прослеживается корреляция между наблюдаемым биологическим эффектом и уровнем солнечной активности (уровнем магнитных бурь). Однако все эти работы обладают одним недостатком: количественно результаты этих работ не всегда согласуются друг с другом.

Мы предположили, что указанный разброс результатов обусловлен не учетом магнитных шумов. Для выяснения этого факта нами были проведены эксперименты в условиях экранирования внешнего магнитного поля и создания внутри установки магнитного поля с заданными характеристиками и с заданным уровнем магнитных шумов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Очень подробное описание схемы экранирования внешнего магнитного поля, информация о деталях создания искусственного магнитного поля с заданными характеристиками в рабочем объеме и о способах измерения остаточных магнитных шумов этого поля (как постоянного, так и комбинированного) были описаны нами в работах [11, 20]. Отличием настоящей работы от предыдущих являлось то, что при ее выполнении специально, наряду с постоянной и переменной составляющими магнитного поля, вводился заранее заданный уровень белого шума (от шумового генератора).

Для получения хорошо воспроизводимых магнитных условий эксперимента применяли экранирующую аппаратуру, в том числе сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом. Магнитное поле с заданным уровнем его магнитных шумов создавали внутри экрана искусственным путем. В случае применения для экранирования внешнего поля пермаллового экрана – с помощью соленоидов, а в случае применения сверхпроводящего экрана – путем замораживания остаточного магнитного поля (охлаждение экрана). В работах [4,11,20-23] подробно описана методика эксперимента.

Магнитные условия в ходе эксперимента постоянно контролировались с помощью феррозондового и СКВИД – магнитометров.

Биологическое влияние магнитных условий регистрировалось путем наблюдения за ходом гравитропической реакции корней кресс-салата. Корни кресс-салата удобны были выбраны в качестве объекта исследования, т.к. они малы и гравитропическая реакция проявляется на них сравнительно быстро (в течение 1-2 часов). Под гравитропической реакцией корней подразумевается ориентация корней вдоль силы тяжести. Все измерения гравитропической реакции производились таким же образом, как было подробно описано в [4, 11,21-24] и на тех же объектах (корнях кресс-салата). Т.е. предварительно ориентированные вдоль силы тяжести корни располагались параллельно Земле. Измеряли количество корней  $n_{up}$ , которые имеют аномальную гравитропическую реакцию, т.е. растут вверх,  $n_0$  – общее количество корней. Изучалась зависимость процента аномальных корней  $n_{up}/n_0$  от соотношения  $V_{AC}/V_{DC}$ . Предварительное проращивание корней проводилось в тех же условиях, что и в работах [4, 11,21-24]. Начальное расположение корней в термостатированной камере также не отличалось от описанного в выше указанных работах, т. е. параллельно Земле.

Аналогично, измерение магнитных шумов прорастающими зерновками, производилось точно также, как было описано в [20, 25].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1, 2, 3 показано, как выглядит кривая зависимости процента аномальных корней после 1.5 часовой выдержки в комбинированном магнитном поле от соотношения  $V_{AC}/V_{DC}$  при разных значениях амплитуды спектральной плотности магнитного шума, искусственно созданного внутри магнитного экрана. Переменная составляющая магнитного поля настроена на циклотронную частоту ионов кальция, равную 6.84 Гц для магнитного поля с магнитной индукцией  $V_{DC}=8.6$  мкТл. Под аномальными корнями здесь подразумевали все корни, которые отклоняются от горизонтальной плоскости вверх. Сравнение рисунков демонстрирует, что при увеличении уровня спектральной плотности магнитного шума происходит изменение формы экспериментальной кривой (точки нанесены в виде квадратиков). Она уширяется и приближается к кривой, предсказанной теоретически в [10] и наблюдаемой в работах [12-16]. Полуширина кривой для амплитуды магнитного шума, равной  $0.1-1$  нТл/Гц<sup>0.5</sup>. (см. рис.1), равна 0.4, для амплитуды шума, равного  $5$  нТл/ Гц<sup>0.5</sup>, (см. рис.2) составляет 1.2, а для амплитуды шума  $15$  нТл/ Гц<sup>0.5</sup> (см. рис.3) равна 1.6. Очевидно, что когда амплитуда спектральной плотности магнитного шума ниже определенного значения ( $12$  нТл/ Гц<sup>0.5</sup>) она достоверно, как было показано в [11], отличается от предсказанной теоретически в [10]. Здесь следует отметить, что при разработке теории [10] магнитные шумы не учитывались, а полученные в [12-16] кривые были получены в обычных лабораторных условиях в магнитном поле Земли без использования магнитных экранов и в силу большой экспериментальной ошибки достоверно не отличались ни от квадрата функции Бесселя, ни от лоренциана.

Влияние внешних магнитных шумов на гравитропическую реакцию растений...

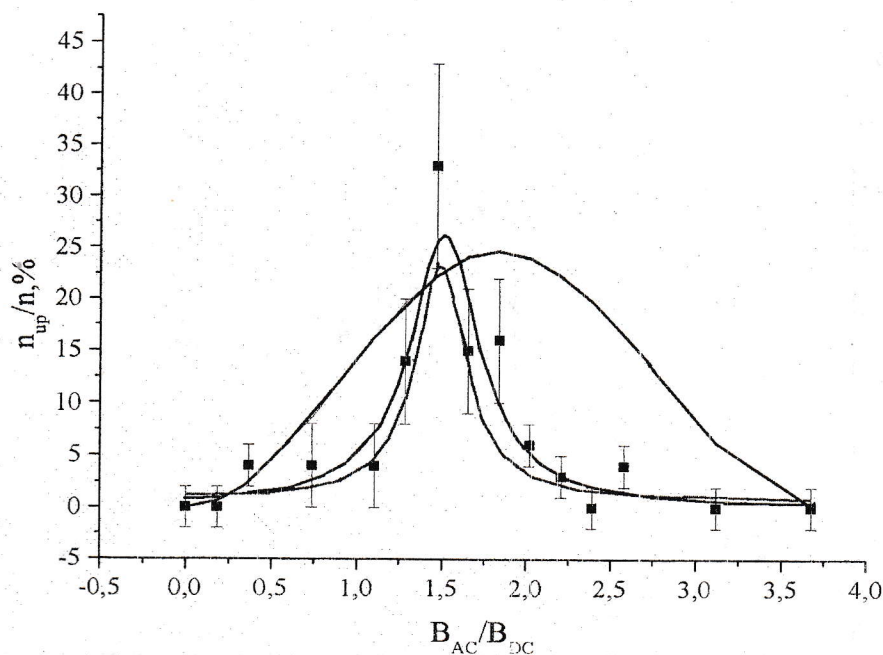


Рис.1. Зависимости относительного числа аномальных корней, отклонившихся вверх от горизонтальной плоскости (биологический эффект) от величины  $V_{AC}/V_{DC}$ . Амплитуда спектральной плотности внешнего магнитного шума –  $0.1-1 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$ . Аппроксимация полученных данных двумя лоренцианами (2 узкие линии) и квадратом функции Бесселя (широкая верхняя линия).

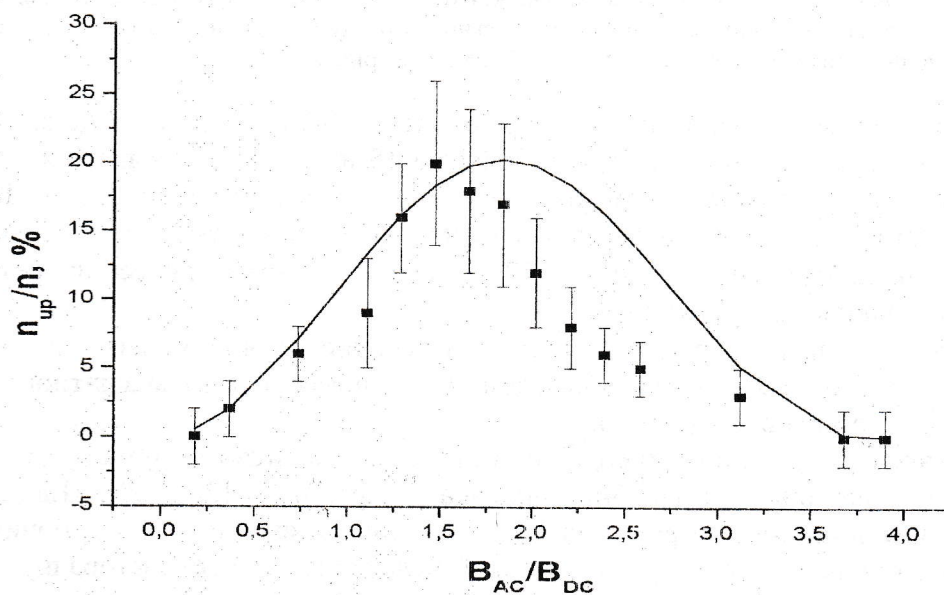


Рис.2. . Зависимости отношения числа аномальных корней, отклонившихся вверх от горизонтальной плоскости (биологический эффект) от отношения  $V_{AC}/V_{DC}$  (данные получены при амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума  $5 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$ ). Аппроксимация полученных данных квадратом функции Бесселя (сплошная кривая).

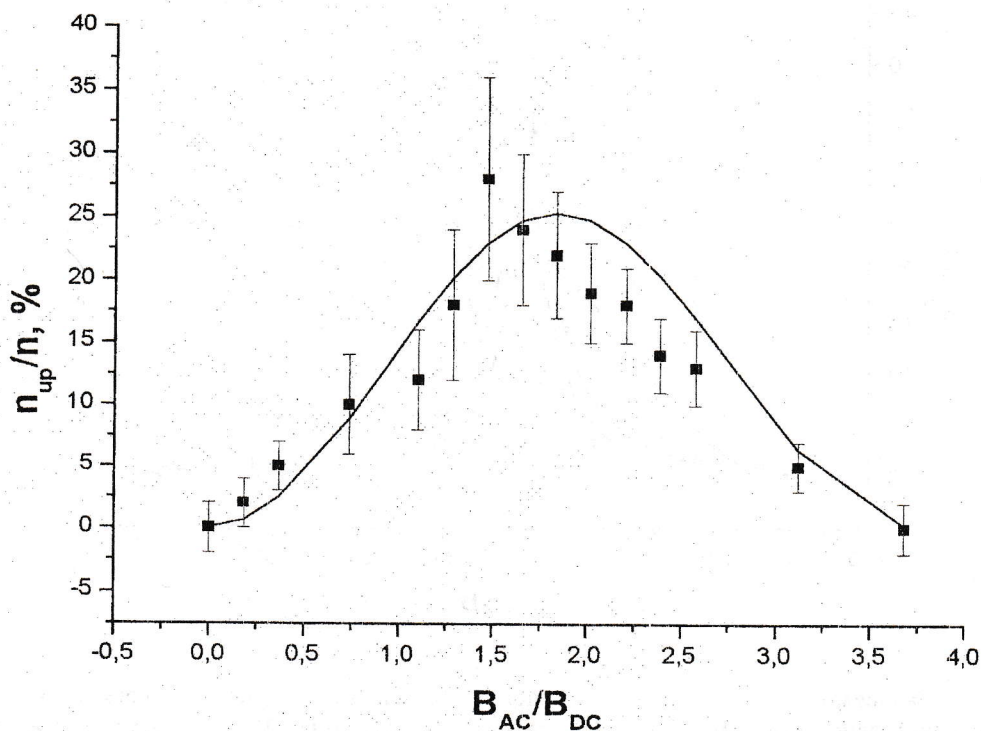


Рис.3. . Зависимости отношения числа аномальных корней, отклонившихся вверх от горизонтальной плоскости (биологический эффект) от отношения  $V_{AC}/V_{DC}$  (данные получены при амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума  $15 \text{ нТл}/\Gamma\text{ц}^{0.5}$ ). Аппроксимация полученных данных квадратом функции Бесселя (сплошная кривая).

Представленные рисунки демонстрируют, что только при амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума большей  $15 \text{ нТл}/\Gamma\text{ц}^{0.5}$  оказывается возможным аппроксимировать экспериментальные результаты квадратом функции Бесселя 1 порядка. Этот результат заставляет считать, что, при амплитуде спектральной плотности внешнего шума меньше  $12 \text{ нТл}/\Gamma\text{ц}^{0.5}$  параметрический резонанс не ответствен за наблюдаемую кривую.

Другой задачей работы было выяснение зависимости интенсивности генерируемого биологическими объектами (в процессе роста) магнитного шума от уровня внешнего магнитного шума.

Схема эксперимента по наблюдению генерации магнитного шума прорастающими зерновками пшеницы подробно описана в работах [20. 25]. Единственным нововведением в настоящей работе явилось то, что мы специально в рабочий объем с образцами вводили заранее заданный уровень белого шума от генератора шума.

Полученные результаты приведены на рис.4. Из рисунка видно, что значения величин генерируемого магнитного шума (при низком амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума (менее  $1 \text{ нТл}/\Gamma\text{ц}^{0.5}$ )) состоит из двух областей: области белого шума (амплитуда шума не зависит от частоты) и области  $1/f$  шума. При увеличении амплитуды спектральной плотности внешнего магнитного шума кроме уже установленных областей белого шума и области  $1/f$  шума, возникают пики в области низких частот (см. рис.4). При дальнейшем увеличении амплитуды спектральной плотности внешнего шума пики наблюдаются при тех же частотах. При значениях амплитуды спектральной плотности внешнего магнитного шума, превышающего  $50 \text{ нТл}/\Gamma\text{ц}^{0.5}$ , эти пики отсутствуют. По-видимому, это связано с тем,

## Влияние внешних магнитных шумов на гравитропическую реакцию растений...

что амплитуда спектральной плотности магнитного шума, генерируемого зерновками, становится значения спектральной плотности внешнего магнитного шума.

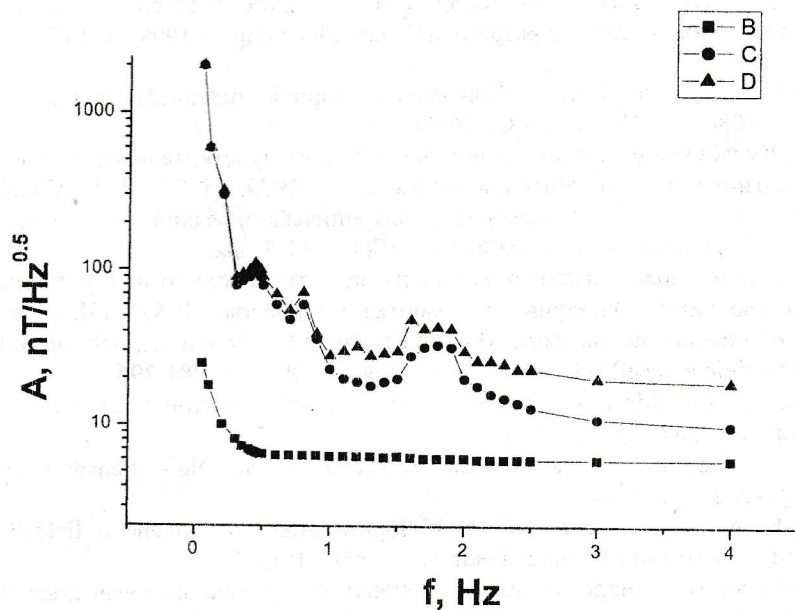


Рис.4. Распределение величины спектральной плотности магнитного шума, генерируемого зерновками пшеницы по частоте при различных амплитудах спектральной плотности внешнего магнитного шума: кривая В соответствует амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума равной  $0.1 - 1$  нТл/Гц<sup>0.5</sup>, кривая С - амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума равной  $5$  нТл/Гц<sup>0.5</sup>, кривая D - амплитуде спектральной плотности внешнего магнитного шума равной  $15$  нТл/Гц<sup>0.5</sup>. Величина доверительного интервала на графиках не отложена, поскольку его размер меньше размера изображенных точек.

## ВЫВОДЫ

1. В ходе измерений влияния комбинированного магнитного поля на биологические объекты необходимо учитывать возможное влияние магнитных шумов. Для сравнения экспериментов разных авторов необходимо их результаты нормировать по магнитным шумам.

2. Теория ионного параметрического резонанса в [10] была построена без учета внешних магнитных шумов. Поэтому результаты экспериментов, выполненных при их низком уровне ( $0.1-1$  нТл/Гц<sup>0.5</sup>), показывают, что полученная форма кривой зависимости биологического эффекта (относительного числа аномальных корней) от величины  $V_{AC}/V_{DC}$  существенно отличается от теоретической (квадрата функции Бесселя). Возможно, однако, что это указывает на другую природу возникновения биологического эффекта в комбинированном магнитном поле для гравитропической реакции корней. Это другое объяснение наблюдаемого эффекта приведено в [11].

3. Важным фактом является то, что внешний магнитный шум способствует наблюдению биологических эффектов, т.к. расширяет область значений отношения  $V_{AC}/V_{DC}$ , где наблюдается биологический эффект.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kuznetsov O.A., Schwuchow J., Sack F.D., Hasenstein K.H. Curvature Induced by amyloplasts magnetophoresis in protonemata of the moss *Ceratodon purpureus*// *Plant Physiology* – 1999 - v. 119. –P. 645 - 650.
2. Богатина Н.И., Литвин В.М., Травкин М.П. Ориентация корней пшеницы под действием геомагнитного поля// *Биофизика* 1986. - т.31.- вып.5. - С.886-892.
3. Богатина Н.И., Веркин Б.И., Кулабухов В.М и др. Определение порога чувствительности проростков и корней пшеницы к величине магнитного поля. // *Физиология растений*. -1979. – т. 26. - №3. - С.620-625.
4. Богатина Н.И., Шейкина Н.В., Кордюм Е.Л. Изменения гравитропической реакции, вызванные постоянным магнитным полем. // *Біофізичний вісник*. 2006. - вип. 17(1). – С. 78-82.
5. Богатина Н.И. Зависимость реакции биологических объектов на магнитные поля от их шумов (полей), возможное влияние на процессы эволюции// *Электронная обработка материалов*. - 1987. - N4. - С. 64-68.
6. Liboff A.R. Cyclotron resonance in membrane transport.//1985 in Chiabrera C, Nicolini C., Schwan M.P. eds. *Interaction between electromagnetic field and cells*. London Plenum Press. - 1995. - P. 281-296.
7. Liboff A.R., Rozek R.J., Sherman M.L., McLeod B.R., Smith S.D.  $Ca^{2+}$ -45 cyclotron resonance in human lymphocytes// 1987, *J. Bioelectricity*. - 1987. - 8. - P.12-22.
8. Liboff A.R., Parkinson W.C. Search for ion-cyclotron resonance in an  $Na^{+}$ - transport system// *Bioelectromagnetics*. – 1991. - 12. - №2. - P. 78-84
9. Blanchard J.P., Blackman C.F. A mechanistic model for biological effects of magnetic fields// 1999, *Biological effects of magnetic fields*, Information Ventures Institute. – 1999. - P.13-20.
10. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей// *Биофизика*. - 1996, 41. - №1. - С. 224-232.
11. Шейкина Н.В., Богатина Н.И., Кордюм Е.Л. Зависимость гравитропической реакции корней кресс-салата от амплитуды переменной составляющей комбинированного магнитного поля. // *Біофізичний вісник*. 2007. - вип. 18(1). - С. 78-89.
12. Белова Н.А., Леднев В.В. Активация и ингибирование гравитропической реакции растений с помощью слабых комбинированных магнитных полей.// *Биофизика*. – 2000. - 45. - № 6. - С.1102-1106.
13. Белова Н.А., Леднев В.В. Зависимость гравитропической реакции в сегментах стеблей льна от частоты и амплитуды переменной компоненты слабого комбинированного магнитного поля// *Биофизика*. – 2000. – 45. - №6. - С. 1108-1110.
14. Белова Н.А., Леднев В.В. Активация и ингибирование гравитропической реакции в сегментах стеблей льна при изменении величины магнитной индукции постоянного поля в пределах от 0 до 350 мкТл.// *Биофизика*. – 2001. - 46. - №1. - С. 118-121.
15. Белова Н.А., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений// *Биофизика*. – 2001. – 46. - №1. - С. 122-125.
16. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н. и др. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: Экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенерирующих планарий *Dugesia Tigripa* в качестве тест-системы// *Биофизика*. – 1996. - 41. - №4. - С.815-825.
17. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. - М: Мысль – 1976 – 366 с.
18. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. - М: Наука – 1971 – 259с.
19. Шноль С.Э. // *Успехи физических наук* – 2000 – 170. – в.2 – С.214-218.
20. Богатина Н.И., Шейкина Н.В. Собственное магнитное поле зерновок пшеницы и генерируемые ими магнитные шумы// *Біофізичний Вісник (Вісник Харківського університету)* - 2001 - №525, вип. 1 (8) - С.101-107.
21. Богатина Н.И., Шейкина Н.В., Кордюм Е.Л., Карачевцев В.А. Гравитропическая реакция растений в комбинированном (постоянном и переменном) магнитном поле // *Доповіді НАН України*. - 2002. - №4. - С. 176-180.
22. Богатина Н.И., Шейкина Н.В., Кордюм Е.Л. Влияние комбинированного магнитного поля на гравитропическую реакцию растений и спектр электромагнитного излучения, генерируемого ими в процессе роста// *Радиофизика и электроника*. - 2005. - 10. №2. - С.331-336.
23. Kordyum E., Bogatina N., Sheykina N., Kalinina Ya. Weak Combined Magnetic Field Changes Root Gravitation// *Advances in Space Research (a COSPAR information)*. - 2005, 36. - P. 1229-1236.
24. 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 – вип.18(1) - С. 78-90.
25. Богатина Н.И., Шейкина Н.В. Магнитные шумы, генерируемые прорастающими зерновками пшеницы// *Доповіді НАН України* – 2001 - №8 - С. 138-144.