

УДК 537.86:52.7+58.027

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ШУМОВ ПОСТОЯННОГО И КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ НА АДАПТАЦИЮ ГРАВИТРОПИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ КОРНЕЙ КРЕСС-САЛАТА И КУКУРУЗЫ

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

<sup>1</sup>*Национальная фармацевтическая академия, Харьков, Украина*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины,  
Харьков, Украина*

*E-mail: sheykina@ukr.net*

Исследовались временные зависимости гравитропической реакции для постоянного магнитного поля и при разных частотах переменной составляющей комбинированного магнитного поля, соответствующих циклотронным частотам ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , ауксина и абсцизовой кислоты при разном уровне шумов магнитного поля. Показано, что увеличение магнитного шума способствует, как наблюдению биологических эффектов, так и ускорению адаптационных процессов.

**Ключевые слова:** комбинированное магнитное поле, циклотронная частота, гравитропическая реакция, адаптация.

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на большое количество работ, посвященных влиянию комбинированного магнитного поля на различные свойства биологических объектов, полностью отсутствуют работы, посвященные изучению адаптации биологических объектов, как к комбинированному (КМП), так и постоянному (ПМП) магнитному полю. Изучение же адаптации биологических эффектов к внешнему воздействию и его зависимости от различных физических факторов важно, как и для построения теории воздействия КМП на биологический объект, так и для определения уровня недопустимых воздействий. В настоящей работе рассматриваются несколько случаев адаптации гравитропической реакции корней кресс-салата и кукурузы, как в ПМП, так и в КМП.

Изучались следующие варианты воздействия:

1. КМП с переменной составляющей, настроенной на циклотронную частоту ионов кальция;
2. КМП с переменной составляющей, настроенной на циклотронную частоту ионов магния;
3. КМП с переменной составляющей, настроенной на циклотронную частоту ионов ауксина;
4. КМП с переменной составляющей, настроенной на циклотронную частоту ионов абсцизовой кислоты
5. ПМП.

Во всех случаях проводили временные измерения гравитропической реакции в искусственно созданных КМП и ПМП с различным уровнем магнитного шума.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Как уже нами отмечалось неоднократно, необходимо получить хорошо воспроизводимые магнитные условия. Подробно метод получения таких условий был описан нами в целом ряде работ [1-4]. В большинстве этих работ использовали многослойные пермаллоевые экраны, а постоянное или комбинированное магнитное поле создавали внутри них с помощью коаксиальных соленоидов. Несмотря на хорошее уменьшение постоянной составляющей магнитного поля Земли (до 1000 раз), было показано, что создание искусственного магнитного поля внутри пермаллоевых экранов неминуемо ведет к увеличению магнитных шумов, связанных с протеканием тока по соленоидам. Снизить существенно уровень магнитных шумов возможно лишь, используя сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом (рис.1). В этом экране можно замораживать магнитное поле от 5 нТл до 43 нТл. Амплитуда спектральной плотности магнитного шума такого экрана приведена на рис.2. Как хорошо видно из рис.2, для свинцового цельного сверхпроводящего экрана удастся снизить магнитный шум на частоте 50 Гц до уровня  $0.2 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$  и ниже (приблизительно в 100 раз по сравнению с пермаллоевым экраном). Область  $1/f$  шума при этом смещается до 0.01 Гц по сравнению с 0.5 Гц для пермаллового экрана. Применение в качестве сверхпроводящего экрана цилиндров из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП – керамики) существенно облегчает эксперимент, т.к. не требует заливки жидкого гелия. Однако при этом приблизительно в 7-10 раз ухудшаются экранирующие свойства экрана, а самое главное, уменьшается диаметр рабочего объема. Так что применение экранов из ВТСП керамики ( $Y$  и  $Bi$ ) возможно только для корешков с размером не более 5-7 мм.

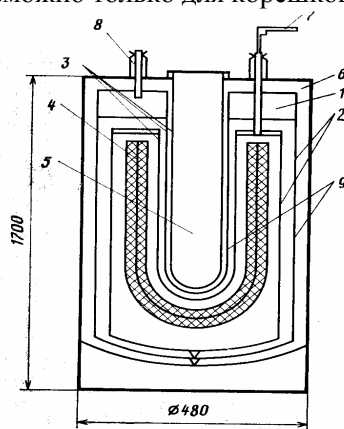
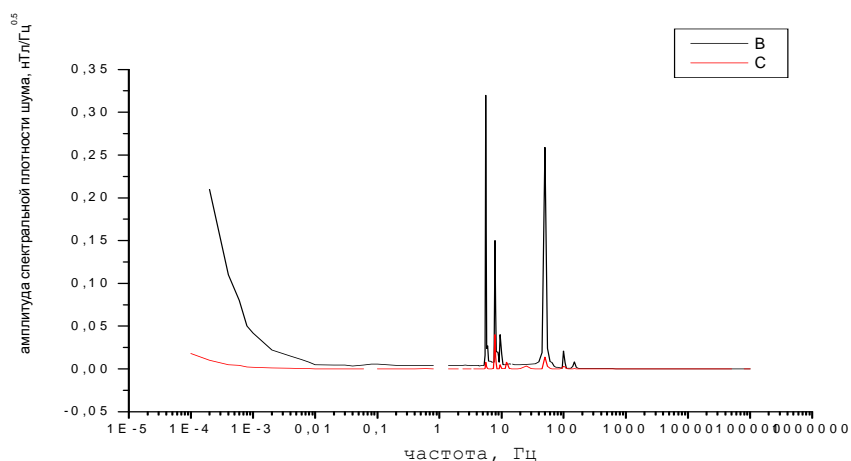
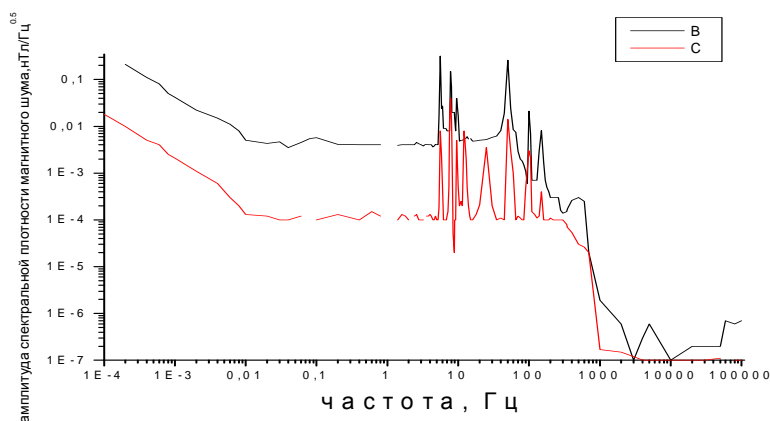


Рис.1. 1 – объем для жидкого гелия, 2 – внешний гелиевый криостат, 3 – изолирующий криостат, 4 – сверхпроводящий магнитный экран, 5 – теплый рабочий объем, 6 – верхний фланец, 7 – трубка для заливки жидкого гелия, 8 – трубка для заливки жидкого азота, 9 – азотные экраны изолирующего (3) и внешнего гелиевого криостатов.



а



б

Рис.2. Зависимость спектральной плотности магнитного шума внутри теплого объема сверхпроводящего экрана (применялся свинцовый экран) от частоты. Измерения проведены с помощью СКВИД – градиентометра. Верхняя кривая соответствует замороженному в теплом рабочем объеме магнитному полю 8.6 мкТл, нижняя – остаточному магнитному полю при его максимальном выталкивании – 2 нТл. На рис.2а –логарифмический масштаб по оси x, на рис. 2б – по обеим осям.

Из рисунков хорошо видно, что в спектре присутствуют частоты колебания здания (5.6 и 9.5 Гц), так и шумановские частоты (7.8 Гц, 12.5 Гц и 23 Гц), а также частоты 50, 100 и 150 Гц.

Двухдневные проросшие семена помещали в постоянное замороженное магнитное поле или в комбинированное магнитное поле, переменная составляющая

которого создавалась с помощью соленоида, помещенного внутрь сверхпроводящего экрана. Семена проращивали так, что корни были прямыми, без изгибов [1–5].

Располагали корешки параллельно Земле, т.е. перпендикулярно силе гравитации и направлению постоянного или комбинированного магнитного поля. Корешки помещали во влажную термостабилизированную камеру (влажность 100%, изменение температуры не более  $0,2^\circ$  за сутки).

Искусственный магнитный шум создавали с помощью генератора случайных сигналов, включенного параллельно с генератором, создающим переменное магнитное поле заданной частоты.

К генератору, создающему переменную составляющую комбинированного магнитного поля, предъявляются следующие требования. Полуширина линии биологического эффекта составляет приблизительно  $3 \cdot 10^{-2}f$ . Т.о. полуширина линии используемого генератора должна быть менее этой величины. Мы использовали генератор с полушириной линии порядка  $10^{-3}f$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Адаптация гравитропической реакции в постоянном магнитном поле

На рис.3 представлены зависимости гравитропической реакции от времени для различного уровня магнитных шумов внутри теплого рабочего объема сверхпроводящего экрана с постоянным замороженным магнитным полем с магнитной индукцией, равной  $8,6 \text{ мкТл}$ .

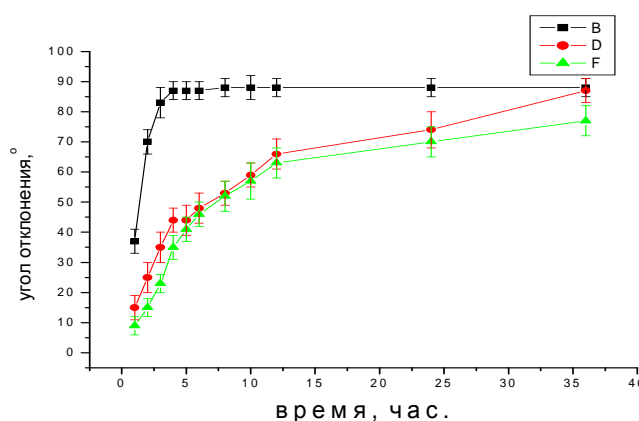


Рис.3. Адаптация гравитропической реакции корней кресс-салата:

B – кривая отклонения корней кресс-салата от горизонтальной плоскости при уровне магнитного шума  $-100 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$ ; кривая D соответствует уровню шума  $20 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$ ; кривая F соответствует уровню шума менее  $5 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$ .

Из рис.3 хорошо видно, что в начальный момент гравитропическая реакция тем медленнее, чем меньше магнитный шум. Однако со временем при малом уровне магнитного шума приблизительно через 35 часов происходит адаптация

гравитропической реакции, и она приближается к реакции при больших магнитных шумах. Таким образом, можно сделать следующий вывод: магнитный шум усиливает гравитропическую реакции в постоянном магнитном поле.

#### Адаптация гравитропической реакции в комбинированном магнитном поле

На рис.4 представлены зависимости гравитропической реакции корней кресс-салата от времени для комбинированного магнитного поля, настроенного на циклотронную частоту ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , для различного уровня магнитных шумов.

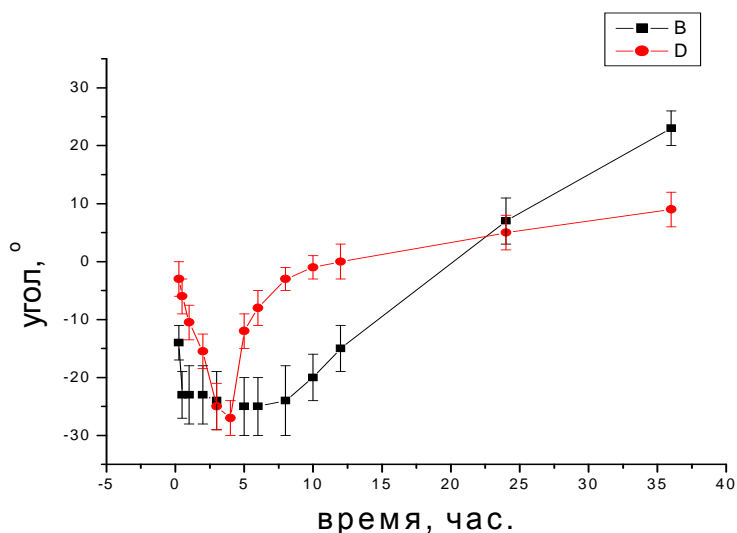


Рис.4. Отклонение корней кресс-салата от горизонтальной плоскости в комбинированном магнитном поле от времени. Отрицательный угол означает отклонение от горизонтальной плоскости вверх, против силы гравитации. Переменная составляющая магнитного поля настроена на циклотронную частоту ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . Кривая В соответствует уровню шума  $100 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$  кривая D – уровню магнитного шума  $5 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$

Из рис.4 хорошо видно, что при малом уровне магнитного шума отрицательная гравитропическая реакция также проявляется медленнее в начальный момент времени и адаптация происходит также медленнее, чем при более высоком уровне магнитных шумов.

На рис.5 представлены зависимости гравитропической реакции корней кресс-салата от времени для комбинированного магнитного поля, настроенного на циклотронную частоту ионов  $\text{Mg}$ , для различного уровня магнитных шумов.

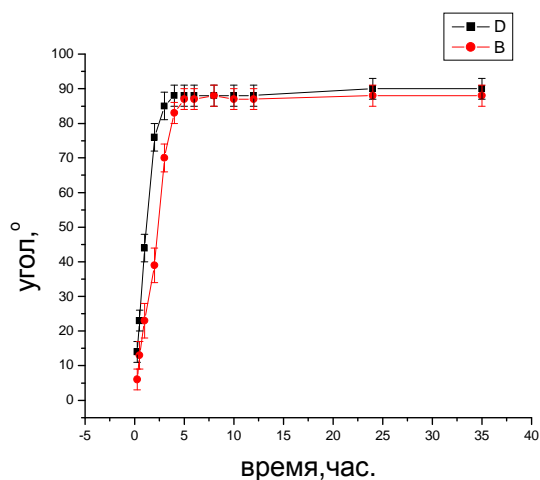


Рис. 5. Отклонение корней кресс-салата от горизонтальной плоскости в комбинированном магнитном поле от времени. Отрицательный угол означает отклонение от горизонтальной плоскости вверх, против силы гравитации. Переменная составляющая магнитного поля настроена на циклотронную частоту ионов Mg. Кривая B соответствует уровню шума  $100 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$  кривая D – уровню магнитного шума  $5 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$

Из рис.5 хорошо видно, что в этом случае различие достоверно только в первые 3 часа, причем здесь эффект противоположен эффекту с ионами  $\text{Ca}^{2+}$ , т.е. чем больше шум, тем меньше гравитропическая реакция. Это возможно связано с тем, что при уменьшении концентрации ионов  $\text{Mg}^{2+}$  растет реакционная способность ионов  $\text{Ca}^{2+}$ .

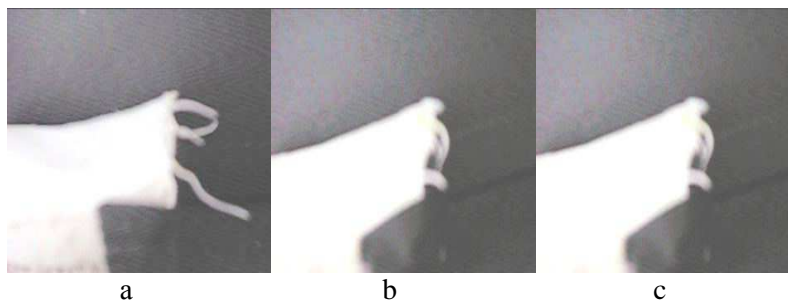


Рис.6. Корни кресс-салата в комбинированном магнитном поле, переменная составляющая которого настроена на циклотронную частоту ионов ауксина: а – через 7 часов, b – через 17 часов, c – через 24 часа.

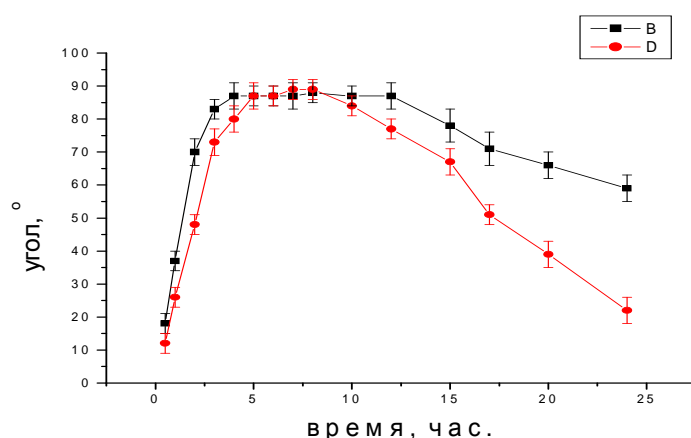


Рис. 7. Отклонение корней кресс-салата от горизонтальной плоскости в комбинированном магнитном поле от времени. Переменная составляющая настроена на циклотронную частоту ионов ауксина. Кривая В соответствует уровню шума 100 нТл/Гц<sup>0.5</sup> кривая D – уровню магнитного шума 5 нТл/ Гц<sup>0.5</sup>.

Из рис.6 и 7 следует, что в комбинированном магнитном поле, переменная составляющая которого настроена на циклотронную частоту ионов ауксина, изменениям более подвержены образцы для которых уровень магнитного шума меньше. Эффект КМП накапливается со временем.



Рис.8. Корни кресс-салата в комбинированном магнитном поле, переменная составляющая которого настроена на циклотронную частоту ионов абсцизовой кислоты: а – через 24 часа, б – через 48 часов.

Для комбинированного магнитного поля, переменная составляющая которого настроена на циклотронную частоту ионов абсцизовой кислоты, независимо от уровня магнитного шума адаптацию гравитропической реакции в течении 48 часов наблюдать не удалось.

Если применять теорию, разработанную нами в [6] с учетом предположения Либова [7], то качественно мы должны получить следующие результаты. Основные предположения – наличие большого электрического поля, направленного перпендикулярно магнитному полю и направленность пучка ионов, на циклотронную частоту которых настроена переменная составляющая магнитного поля. Постоянное магнитное поле увеличивает, как линейный размер направленного пучка ионов, так и число вновь образованных ионных каналов. Увеличение магнитного шума приводит к увеличению количества захватываемых каналов, а, следовательно, и к большей скорости гравитропической реакции.

В случае комбинированного магнитного поля, настроенного, например, на циклотронную частоту ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , колебания размера пучка ионов изменяется с циклотронной частотой, но начальный размер не равен нулю, и, следовательно, начальное количество каналов также больше. Это приведет к тому, что биологический эффект будет более размытым. Кроме того, начальное количество захваченных каналов определяется не только радиусом пучка направленных ионов, но и размером отклонения от центра пучка в шумовом магнитном поле. Таким образом, начальное количество каналов, начиная с некоторого критического значения шумового магнитного поля, больше, чем в при отсутствии магнитного шума. И, следовательно, биологический эффект в присутствии шумового магнитного поля будет больше, чем при его отсутствии и будет более размыт во времени. Это и наблюдается в эксперименте. Шумовое магнитное поле  $100 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$  приводит к дополнительному увеличению размера пучка ионов приблизительно на 5 нм, т.е. порядка величины расстояния между каналами (расстояние между каналами порядка 10 нм). Увеличение эффектов со временем здесь связано с накоплением ионов свободного ауксина. Согласно [8], гравитропическая реакция корней сначала увеличивается при увеличении концентрации ауксина, а потом начинает падать.

При большем шуме уход ионов из клетки больше и кривая более размытая, т.к. накопление ионов ауксина меньше. При малых размерах пучка ионов увеличение диаметра каналов может также привести к биологическим эффектам. Для абсцизовой кислоты просто происходит увеличение числа ее ионов в ПМП, что приводит к ингибированию роста корней.

### ВЫВОДЫ

1. Увеличение уровня магнитного шума постоянного магнитного поля (до определенного предела) ускоряет гравитропическую реакцию.
2. Увеличение уровня магнитного шума комбинированного магнитного поля, настроенного на циклотронную частоту ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , ускоряет отрицательную гравитропическую реакцию, но размывает кривую зависимости ГТР от времени и облегчает ее адаптацию.
3. Т.о. магнитный шум КМП облегчает адаптацию. Его величина имеет два предела: нижний обуславливается расстоянием между каналами, верхний – длиной свободного пробега ионов



Список литературы

1. Гравитропическая реакция растений в комбинированном (постоянном и переменном) магнитном поле / Н.И. Богатина, Н.В. Шейкина, Е.Л. Кордюм [и др.] // Доповіді НАН України. – 2002. – №4. – С. 176–179.
2. Шейкина Н.В. Влияние комбинированного магнитного поля на гравитропическую реакцию растений и спектр электромагнитного излучения, генерируемого ими в процессе роста / Н.В. Шейкина, Н.И. Богатина, Е.Л. Кордюм // Радиофизика и электроника. – 2005. – Т.10, №2. – С. 331–335.
3. Bogatina N.I. A weak combined magnetic field changes root gravitropism / N.I. Bogatina, E.L. Kordyum, Ya. M.Kalinina, N.V. Sheykina // Advances in Space Research (a COSPAR information). – 2005. – Vol. 36, №7. – P. 1229–1236.
4. Cyclotron-based effects on plant gravitropism / E. Kordyum, N. Bogatina, M. Sobol [et al.] // Journal of Advances in Space Reseach, - 2007. - V 39, №7. - P. 1210 – 1218.
5. Біологічна дія комбінованого магнітного поля на гравітропічну реакцію кореня *Lepidium Sativum* L. // Е.Л.Кордюм, Н.И. Богатина, М.А. Соболев [и др.] // Укр..ботан. журн. – 2008. – Т. 65, №1. – С. 141–157.
6. Богатина Н.И. Влияние ориентации корней кресс-салата и кукурузы относительно комбинированного магнитного поля на изменение их гравитропической реакции. Эксперимент и новая гипотеза, механизм адаптации / Н.И. Богатина, Н.В. Шейкина, Е.Л. Кордюм // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, Серия «Биология, химия» – 2012 – Т.25, №2. – С. 16–31.
7. Vincze G. New theoretical treatment of ion resonance phenomena / G.Vincze, A. Szasz, A.R. Liboff // Bioelectromagnetics. – 2010 – Vol. 29 – P. 380–386.
8. Богатина Н.И. Активация действия сверхнизких доз биологически активных соединений комбинированным магнитным полем / Н.И. Богатина, Н.В. Шейкина // Фізика живого. – 2010. – Т.18, №2. – С. 56–62.

**Шейкіна Н.В. Вплив магнітних шумів постійного та комбінованого магнітного полів на адаптацію гравітропічної реакції коренів крес-салату та кукурудзи / Н.В. Шейкіна, Н.І. Богатина // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 1. – С. 277-285.**

Досліджували часові залежності гравітропічної реакції для постійного магнітного поля та при різних частотах змінної складової комбінованого магнітного поля, які дорівнюють циклотронним частотам іонів  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , ауксина та абсцизової кислот при різному рівні шумів магнітного поля. Доведено, що збільшення магнітного шуму сприяє, як спостереженню біологічних ефектів, також і прискоренню адаптаційних процесів.

**Ключові слова:** комбіноване магнітне поле, циклотронна частота, гравітропічна реакція, адаптація.

**Sheykina N.V. Influence of static and combined magnetic fields' noises on the adaptation of the gravitropic reaction of the cress and maize roots / N.V. Sheykina, N.I. Bogatina // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2013. – Vol. 26 (65), No. 1. – P. 277-285.**

Dependencies of gravitropic reactions in the static magnetic field and at different frequencies of alternative component of the combined magnetic fields were investigated. These frequencies were equal to the cyclotron frequencies of  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ions and ions of auxin and abscisic acid. It was shown that the increasing of magnetic field noise assisted both to the observation of biological effects and to the acceleration of adaptation processes.

**Keywords:** combined magnetic field, cyclotron frequency, gravitropic reaction, adaptation.

Поступила в редакцію 22.01.2013 г.