

## Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле

**Владимир Викторович Козырский,**  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: epafort1@ukr.net;

**Виталий Васильевич Савченко,**  
кандидат технических наук, доцент;  
**Александр Юрьевич Синявский,**  
кандидат технических наук, доцент

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

**Реферат.** Предпосевная обработка семян в магнитном поле позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, повысить качество продукции и уменьшить заболеваемость растений. (*Цель исследования*) Установить механизм действия магнитного поля на семена, определить наиболее эффективный режим предпосевной обработки семян зернобобовых культур в магнитном поле и конструктивные параметры оборудования. (*Материалы и методы*) Определили, что под действием магнитного поля возрастает скорость химических и биохимических реакций в клетках растений, усиливается транспорт ионов и молекул через клеточную мембрану и повышается ее проницаемость, вследствие чего улучшаются посевные качества семян и увеличивается урожайность. Провели экспериментальные исследования семян гороха сорта Адагумский и фасоли сорта Грибовский, используя метод планирования эксперимента. В качестве факторов выбрали магнитную индукцию и скорость движения семян в магнитном поле. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что при повышении магнитной индукции от 0 до 0,065 теслы энергия прорастания, всхожесть семян, биометрические показатели, урожайность гороха и фасоли сначала возрастают, а затем снижается. Выявили, что использование четырехкратного перемагничивания усиливает эффект магнитной обработки семян. Скорость движения семян влияет значительно меньше, чем магнитная индукция. Определили наиболее эффективный режим обработки при энергетической дозе обработки семян гороха – 1,90, фасоли – 1,86 джоуль-секунды на килограмм при полюсном делении 0,23 метра. Создали установку для предпосевной обработки семян в магнитном поле, которая состоит из четырех пар магнитов, установленных параллельно над и под лентой транспортера с переменной полярностью. (*Выводы*) Установили наиболее эффективный режим предпосевной обработки семян зернобобовых культур в магнитном поле: магнитная индукция 0,065 теслы при четырехкратном перемагничивании и скорость движения транспортера 0,4 метра в секунду обеспечивают повышение урожайности гороха на 42 процента, фасоли – на 23 процента.

**Ключевые слова:** предпосевная обработка семян, горох, фасоль, магнитное поле, магнитная индукция, полюсное деление, энергия прорастания, всхожесть семян, энергетическая доза обработки, урожайность.

■ **Для цитирования:** Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 21-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26.

## Pre-Sowing Treatment of Leguminous Crop Seeds with a Magnetic Field

**Vladimir V. Kozyrskiy,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor,  
e-mail: epafort1@ukr.net;

**Vitaliy V. Savchenko,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor;  
**Aleksandr Yu. Sinyavskiy,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

**Abstract.** Pre-sowing treatment of seeds in a magnetic field can increase crop yields, reduce the incidence of plants and improve product quality. (*Research purpose*) To analyze the mechanism of the magnetic field influence on seeds, determine the most effective mode of pre-sowing treatment of leguminous crop seeds in a magnetic field and design parameters of the equipment. (*Materials and methods*) The authors have determined that under the influence of a magnetic field, the rate of chemical and biochemical reactions in plant cells increases, the transport of ions and molecules through the cell membrane

increases, and the membrane permeability increases, so the sowing qualities of seeds improve and their yield increases. Experimental studies were carried out with seeds of "Adagumsky" peas variety and "Gribovsky" beans variety, using the experiment planning method. Magnetic induction and the velocity of seed movement in a magnetic field were taken as influencing factors. (*Results and discussion*) With a change in the magnetic induction from 0 to 0.065 T, the germination energy, germination, biometric indicators, and the yield of peas and beans increase, while with further increase in magnetic induction they decrease. It has been revealed that the use of four-time magnetization reversal enhances the effect of magnetic seed treatment. The velocity of seeds is a less significant factor than magnetic induction. The most effective treatment mode occurred at an energy dose of 1.90 J·s/kg for peas and 1.86 J·s/kg for beans, which is provided for a pole division of 0.23 metre. The authors have designed a plant for pre-sowing treatment of seeds in a magnetic field, which consists of four pairs of magnets installed in parallel above and below the conveyor belt with variable polarity. (*Conclusion*) The most effective pre-sowing treatment of leguminous crop seeds in a magnetic field is a magnetic induction of 0.065 T with fourfold reversal and a conveyor movement speed of 0.4 metre per seconds, which provides an increase in peas yield by 42 percent, and that of beans – by 23 percent.

**Keywords:** peas, beans, magnetic field, magnetic induction, seed movement speed, pole division, germination energy, germination, energy amount required per treatment, yield.

**For citation:** Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Predposevnaya obrabotka semyan zernobobovykh kul'tur v magnitnom pole [Pre-sowing treatment of leguminous crop seeds with a magnetic field]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. Vol. 13. N1. 21-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26 (In Russian).

Для предпосевной обработки семян начинают использовать различные электрофизические методы, один из которых – обработка семян в магнитном поле [1]. Его преимущества заключаются в большой производительности установок, низких затратах энергии, безопасности для окружающей среды и обслуживающего персонала.

Ранее установили положительное влияние магнитного поля на семена сельскохозяйственных культур, которое проявляется в улучшении посевных качеств, биометрических показателей растений, уменьшении заболеваемости, повышении урожайности и качества продукции [2-5].

Однако отсутствие объяснения действия магнитного поля на процессы, происходящие в семенах, не позволяет установить все влияющие факторы при магнитной обработке семян и определить их оптимальные значения.

**Цель исследования** – установить механизм действия магнитного поля на семена, определить наиболее эффективный режим предпосевной обработки семян зернобобовых культур в магнитном поле и конструктивные параметры оборудования.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Обработка семян в магнитном поле влияет на физико-химические процессы, происходящие в них.

Под действием магнитного поля возрастает скорость химических и биохимических реакций, которые в основном носят окислительно-восстановительный характер. В результате увеличивается концентрация продуктов реакции и происходит стимуляция семян [6]:

$$\omega_m = \omega(\exp m(K^2 B^2 + 2KBv_n)N_a/2RT), \quad (1)$$

где  $\omega$  – скорость химической реакции при отсут-

ствии магнитного поля, моль/л·с;

$m$  – приведенная масса частиц, кг;

$K$  – коэффициент, зависящий от концентрации и вида ионов, а также количества перематничиваний, м/(с·Тл);

$B$  – магнитная индукция, Тл;

$v$  – скорость движения частицы, м/с;

$N_a$  – число Авогадро, молекул/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$T$  – температура раствора, К.

При этом в растительной клетке повышается растворимость солей и кислот.

Изменение скорости химических и биохимических реакций, а также растворимости солей влияет на биопотенциал и  $pH$  среды [5].

В результате действия силы Лоренца усиливается транспорт ионов через клеточную мембрану, увеличивая концентрацию минеральных веществ в клетке, участвующих в химических реакциях [7]:

$$\Delta C_{i_2} = C_{i_1} f_i l_i \frac{\varphi}{L} (a + 2K_m B/\tau) (a + 2K_m B/\tau) + K_K K_b Bv) e^{\frac{m(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}}, \quad (2)$$

где  $C_{i_1}$ ,  $C_{i_2}$  – концентрации веществ в растительных клетках, разделенных мембраной, моль/л;

$l_i$  – путь, который проходит ион в магнитном поле, м;

$\varphi$  – диффузионный потенциал, В;

$L$  – толщина мембраны, м;

$a$  – размер поры в мембране, м;

$K_m$ ,  $K_K$ ,  $K_b$ ,  $K_i$  – коэффициенты;

$\tau$  – полюсное деление, м.

Магнитное поле повышает проницаемость мем-



браны и ускоряет диффузию молекул через нее. Вследствие этого увеличиваются водопоглощение семян и концентрация кислорода в клетке [6-9]:

$$\Delta C = \frac{(C_{1O_2} - C_{2O_2}) e^{K_{li}^2 B^2 + K_2 B v}}{2} \times \left(1 - e^{-\frac{E_a}{kT} - \frac{2k_0(a + K_m B / \tau)^2}{L^2} t}\right), \quad (3)$$

где  $k_0$  – коэффициент,  $c^{-1}$ ;

$E_a$  – энергия активации диффузии, Дж;

$k$  – постоянная Больцмана, Дж/К.

Увеличение концентрации кислорода в клетках подавляет процесс спорообразования фитопатогенных грибов, повышает энергию прорастания и всхожесть семян, положительно влияя на урожайность сельхозкультур.

Семена гороха сорта Адагумский и фасоли сорта Грибовский перемещали на транспортере через магнитное поле. Магнитную индукцию регулировали изменением расстояния между магнитами в пределах 0-0,5 Тл и измеряли тесламетром 43205/1. Скорость движения семян на транспортной ленте через магнитное поле регулировали в пределах 0,4-0,8 м/с посредством приводного двигателя транспортера и преобразователя частоты *Delta VFD004EL43A*.

Энергию прорастания и всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84.

Исследования проводили на базе теории планирования эксперимента [9]. В качестве факторов принимали магнитную индукцию ( $X_1$ ) и скорость движения семян ( $X_2$ ), а выходными величинами служили энергия прорастания, всхожесть семян, высота растения, урожайность.

Проведенные однофакторные эксперименты определили значения верхнего, нижнего и основного уровней фактора, которые составили для магнитной индукции соответственно 0; 0,065 и 0,130 Тл, для скорости движения семян – 0,4; 0,6 и 0,8 м/с.

**Результаты и обсуждение.** При изменении магнитной индукции от 0 до 0,065 Тл энергия прорастания и всхожесть семян гороха и фасоли возрастают, а при дальнейшем увеличении магнитной индукции начинают уменьшаться (рис. 1 и 2). Установили, что при магнитной индукции, превышающей 0,130 Тл, энергия прорастания и всхожесть семян изменялись незначительно, но были выше, чем в контроле.

По результатам проведенного многофакторного эксперимента получили уравнения регрессии, которые в физических величинах имеют вид:

для энергии прорастания гороха:

$$E = 43,315 + 1327B - 5,278v - 192,308Bv - 7232B^2; \quad (4)$$

для энергии прорастания фасоли:

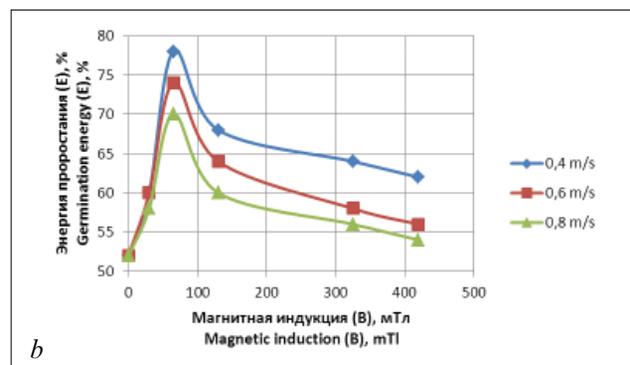
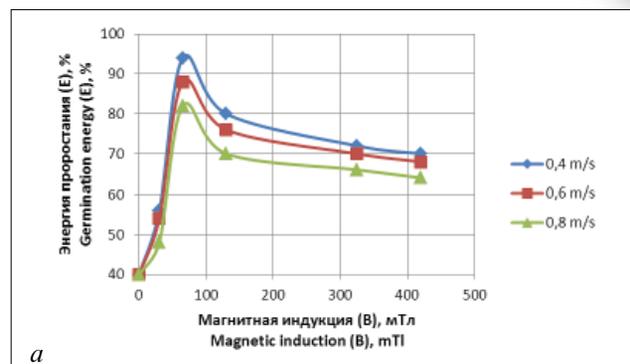


Рис. 1. Влияние магнитной индукции и скорости движения семян на энергию их прорастания: а – гороха; б – фасоли

Fig. 1. The dependence of germination energy of peas (a) and beans (b) seeds on magnetic induction

$$E = 54,75 + 626,923B - 4,583v - 96,154Bv - 3629B^2; \quad (5)$$

для всхожести семян гороха:

$$G = 68,111 + 730,769B - 4,444v - 115,385Bv - 4103B^2; \quad (6)$$

для всхожести семян фасоли:

$$G = 69,491 + 504,701B - 2,917v - 96,154Bv - 2827B^2. \quad (7)$$

Наилучшие результаты получили при магнитной индукции 0,065 Тл и четырехкратном перемагничивании (рис. 3). Эффект магнитной обработки зависит также от скорости движения семян. Но в диапазоне скоростей 0,4-0,8 м/с она сказывается меньше, чем магнитная индукция. Максимальные значения по сравнению с контрольными получены при скорости 0,4 м/с.

Биометрические показатели растений гороха наибольшие при магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения семян 0,4 м/с (рис. 4).

Предпосевная обработка семян в магнитном поле способствует повышению урожайности гороха и фасоли. При магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения семян 0,4 м/с урожайность гороха увеличилась на 42% по сравнению с контролем, фасоли – на 23%.

Проведенные многофакторные эксперименты позволили определить энергетическую дозу обработки семян в магнитном поле:

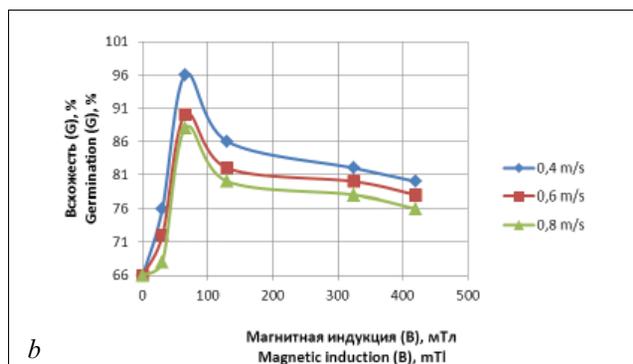
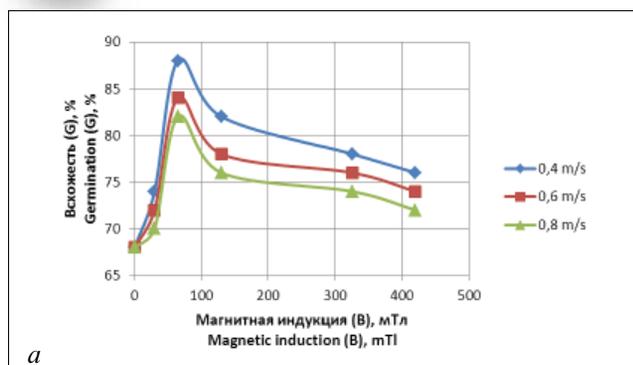


Рис. 2. Влияние магнитной индукции и скорости движения семян на их всхожесть: а – гороха; б – фасоли  
 Fig. 2. The dependence of germination of peas (a) and beans (b) seeds on magnetic induction

$$D = \int \frac{W}{m} dt = \int \frac{B^2 dl}{2\mu\mu_0\rho v}, \quad (8)$$

где  $W$  – энергия магнитного поля, Дж;  
 $t$  – время обработки, с;  
 $m$  – масса семян, кг;  
 $\mu$  – относительная магнитная проницаемость;  
 $\mu_0$  – магнитная постоянная, Гн/м;  
 $\rho$  – плотность семян, кг/м<sup>3</sup>,  
 $l$  – путь, который проходят семена в магнитном поле, м.

Магнитная индукция изменяется вдоль ленты транспортера при движении семян в магнитном поле (рис. 5).

Интеграл (8) определили методом трапеций. Для этого отдельные участки представленной на рисунке зависимости аппроксимировали линейными функциями. Проверка по критерию Фишера показала адекватность такой аппроксимации:

$$\int_0^L B^2 dl = \int_0^{L/8} \left(-\frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{L/8}^{3L/8} \left(-2B_m + \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{3L/8}^{5L/8} \left(4B_m - \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{5L/8}^{7L/8} \left(-6B_m + \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{7L/8}^L \left(8B_m - \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl = \frac{B_m^2 L}{24} + \frac{B_m^2 L}{12} + \frac{B_m^2 L}{12} + \frac{B_m^2 L}{12} + \frac{B_m^2 L}{24} = \frac{B_m^2 L}{3}, \quad (9)$$



Рис. 3. Развитие ростков гороха при обработке семян в магнитном поле с различной магнитной индукцией, Тл:  
 1 – контроль; 2 – 0,03; 3 – 0,065; 4 – 0,13; 5 – 0,325; 6 – 0,42 Тл  
 Fig. 3. Development of pea sprouts during seed treatment in a magnetic field with different magnetic induction, T: 1 – control; 2 – 0.03 T; 3 – 0.065 T; 4 – 0.13 T; 5 – 0.325 T; 6 – 0.42 T

Тогда энергетическая доза обработки семян равна:

$$D = \frac{B_m^2 n \tau}{6\mu\mu_0\rho v}, \quad (10)$$

где  $B_m$  – значение магнитной индукции в плоскости установки магнитов, Тл;  
 $n$  – число перемагничиваний.

Установили, что энергия прорастания, всхожесть

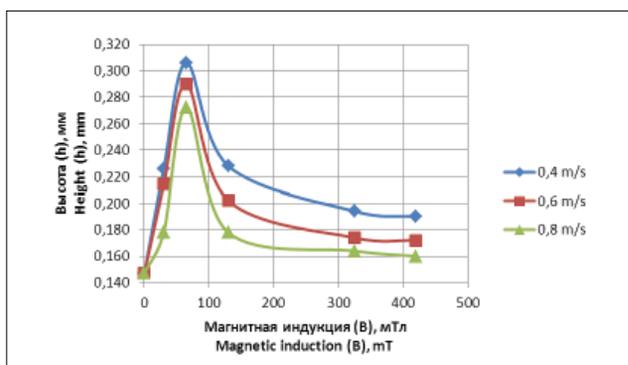


Рис. 4. Влияние магнитной индукции и скорости движения семян на рост растений гороха через 4 недели после высева  
 Fig. 4. Effect of magnetic induction and seed movement speed on the growth of peas in 4 weeks after sowing

семян и биометрические показатели гороха имели наибольшее значение при энергетической дозе обработки 1,90 Дж·с/кг, а фасоли – 1,86 Дж·с/кг.

Исходя из требования обеспечения необходимой энергетической дозы обработки семян, определили значение полюсного деления, которое при магнитной индукции 0,065 Тл, четырехкратном перемагничивании и скорости движения 0,4 м/с составляет 230 мм.

Создали установку для предпосевной обработки семян в магнитном поле (рис. б). Она состоит из транспортера напольного типа с электроприводом; устройства для магнитной обработки, где непо-

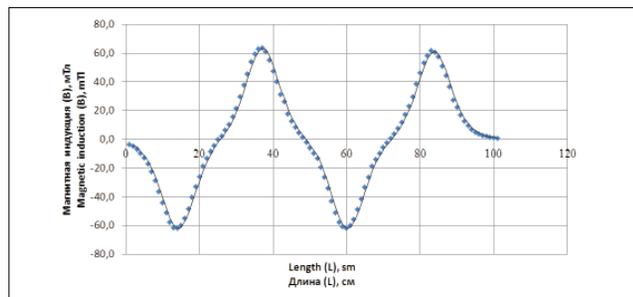


Рис. 5. Изменение магнитной индукции в центре воздушного зазора вдоль оси транспортера

Fig. 5. The change of magnetic induction in the centre of air gap along the conveyor axis

средственно происходит обработка семян; загрузочного транспортера и пульта управления.

Конструкция установки для обработки семян в магнитном поле предусматривает применение четырех пар магнитов из интерметаллического композита  $NdFeB$ , установленных параллельно над и под лентой транспортера с переменной полярностью. Магниты приклеены к плите, выполненной из стали. Промежутки между магнитами заполнены текстолитом. С лицевых сторон плиты обшиты нержавеющей сталью.

Транспортер имеет четыре ролика для обеспечения возможности монтажа магнитной плиты под лентой транспортера. Привод транспортера осуществляется от трехфазного асинхронного электродвигателя мощностью 0,25 кВт через понижающий редуктор.

Используя программу моделирования двумерных полей методом конечных элементов *ELCUT*, выполнили расчет магнитной системы установки. Выяснили, что магнитная индукция 0,065 Тл в центре воздушного зазора обеспечивается при использовании четырех пар постоянных магнитов из интерметаллического композита  $NdFeB$  марки *N38SH*, которые размещены на плите из стали Ст3 толщиной 10 мм. Полусное деление составляет 230 мм, величина воздушного зазора – 90 мм.

**Выводы.** Установили, что всхожесть семян, энергия прорастания и развитие растений гороха и фасоли при предпосевной обработке в магнитном поле пропорциональны квадрату магнитной индукции, числу перемагничиваний и скорости движения семян в магнитном поле. Определили наиболее эффективный режим обработки: при магнитной индукции 0,065 Тл, четырехкратном перемагничивании и скорости движения семян 0,4 м/с, что

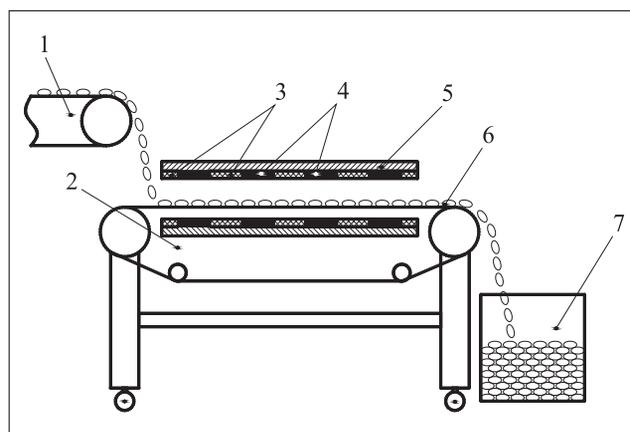


Рис. 6. Установка для предпосевной обработки семян в магнитном поле: а – общий вид; в – функциональная схема:

1 – загрузочный транспортер; 2 – транспортер установки для предпосевной обработки семян в магнитном поле; 3 – текстолитовые вставки; 4 – постоянные магниты; 5 – плита из электротехнической стали; 6 – объект обработки; 7 – контейнер

Fig. 6. The installation for magnetic seed treatment: a – general view; в – functional scheme: 1 – a loader; 2 – a conveyor to process seeds in a magnetic field before sowing; 3 – textolite inserts; 4 – permanent magnets; 5 – a plate made of electric technical steel; 6 – an object to be treated; 7 – a container

обеспечивает повышение урожайности гороха на 42%, фасоли – на 23%.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным из-

лучением // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 22-28.

2. Zepeda-Bautista R., Hernández-Aguilar C., Suazo-Ló-

pez F., Domínguez-Pacheco A. F., Virgen-Vargas J., Pérez-Reyes C., Peón-Escalante I. Electromagnetic field in corn grain production and health. *African Journal of Biotechnology*. 2014. Vol. 13(1). 76-83.

3. Martínez F.R., Pacheco A.D., Aguilar C.H., Pardo G.P., Ortiz E.M. Effects of magnetic field irradiation on broccoli seed with accelerated aging. *Acta Agrophysica*. 2014. Vol. 21(1). 63-73.

4. Меньшова Е.А., Нижарадзе Т.С. Влияние предпосевной обработки семян ячменя на его устойчивость к болезням и урожайность // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. №5. С. 241-244.

5. Савченко В.В., Синявский А.Ю. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур

при предпосевной обработке семян в магнитном поле // *Вестник ВИЭСХ*. 2013. №2(11). С. 33-37.

6. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений // *Вестник ВИЭСХ*. 2014. №3(16). С. 18-22.

7. Козирський В.В., Савченко В.В., Синявський О.Ю. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння // *Науковий вісник НУБіП України*. 2014. Вип. 194. Ч.1. С. 16-20.

8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука. 1976. 278 с.

9. Kozyrskiy V., Savchenko V., Sinyavsky O. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global. 2018. 576-620.

### REFERENCES

1. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.U., V., Bidey I. A., Elizarova O.V. Predposevnaia obrabotka semyan podsolnechnika, soi i kukuruzy nizkochastotnym elektromagnitnym izlucheniyem [Pre-sowing treatment of sunflower, soybean and maize seeds with low frequency electromagnetic radiation] *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12. №4. 22-28 (In Russian).

2. Zepeda-Bautista R., Hernández-Aguilar C., Suazo-López F., Domínguez-Pacheco A.F., Virgen-Vargas J., Pérez-Reyes C., Peón-Escalante I. Electromagnetic field in corn grain production and health. *African Journal of Biotechnology*. 2014. Vol. 13(1). 76-83 (In English).

3. Martínez F.R., Pacheco A.D., Aguilar C.H., Pardo G.P., Ortiz E.M. Effects of magnetic field irradiation on broccoli seed with accelerated aging. *Acta Agrophysica*. 2014. Vol. 21(1). 63-73 (In English).

4. Men'shova E.A., Nizharadze T.S. Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan yachmenya na ego ustoychivost' k bolezniam i urozhaynost' [Effect of presowing treatment of barley seeds on its resistance to disease and yield]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2014. Vol. 14. №5. 241-244 (In Russian).

5. Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Izmeneniye biopotentsiala

i urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur pri predposevnoy obrabotke semyan v magnitnom pole [Change biopotential and crop yields at the pre-treatment of seeds in a magnetic field]. *Vestnik VIESH*. 2013. N.2(11). 33-37 (In Russian).

6. Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Vliyanie magnitnogo polya na transport ionov v kletke rasteniy [The influence of magnetic field on the transport of ions in the cell of plants]. *Vestnik VIESH*. 2014. №3(16). 18-22 (In Russian).

7. Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Vpliv magnitnogo polya na vodopoglinaniya nasinnya [The influence of magnetic field on the diffusion of molecules through the cell membrane of seed crops]. *Naukoviy Visnik NUBiP Ukraini*. 2014. Vip. 194. Ch. 1. 16-20 (In Ukrainian).

8. Adler Yu.P., Markova Ye.V., Granovskiy Yu.V. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Planning an experiment in search for optimal conditions]. Moscow: Nauka. 1976. 278 (In Russian).

9. Kozyrskiy V., Savchenko V., Sinyavskiy O. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global. 2018. 576-620 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16.11.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 16.11.2018

Статья принята к публикации 31.01.2019  
The paper was accepted  
for publication on 31.01.2019