

## Влияние ЭМИ КВЧ на устойчивость пшеницы яровой к фитотоксическому стрессу

Е.В. МИЩЕНКО

В работе представлены результаты воздействия ЭМИ КВЧ в диапазонах частот 42 ГГц и 55 ГГц на прорастающие семена пшеницы яровой в условиях фитотоксического стресса. В качестве экотоксиканта использовался фосфогипс. Определялось влияние ЭМИ КВЧ на основные морфометрические показатели проростков в неблагоприятных условиях. Показан эффект минимизации фитотоксического стресса при облучении семян ЭМИ КВЧ частотами 41,2–41,3 ГГц, 42,2–42,5 ГГц и 42,85–43,1 ГГц, время экспозиции 60 минут.

**Ключевые слова:** ЭМИ КВЧ, яровая пшеница, развитие, стресс.

The results of exposure to EMF VHF in the frequency ranges 42 GHz and 55 GHz on germinating seeds of spring wheat under phytotoxic stress are presented. Phosphogypsum was used as toxic agents. The influence of the physical factor on the basic morphometric parameters of seedlings growing in adverse conditions was determined. The effect of minimizing phytotoxic stress during exposure to EMF VHF seeds with frequencies of 41,2–41,3 GHz, 42,2–42,5 GHz and 42,85–43,1 GHz, exposure time of 60 minutes is shown.

**Keywords:** EMF VHF, spring wheat, growth, stress.

**Введение.** Производство качественной сельскохозяйственной продукции является важной задачей для экономики Республики Беларусь. Обеспечение растущего ВВП, экспорта, инвестиций в основной капитал в этой отрасли требуют решения ряда сопутствующих задач. Внесение химических удобрений позволяет снизить давление со стороны биотических факторов, однако химические способы ухода имеют отрицательное влияние на общую экологическую обстановку. В отчете Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций отмечается, что настоящие масштабы воздействия сельского хозяйства на окружающую среду остаются достоверно неопределёнными, а также акцентируется внимание на необходимости развития экологически устойчивого сельского хозяйства [1].

Воздействие негативных природных и антропогенных факторов имеет прямое влияние на снижения эффективности сельского хозяйства. Учёт рельефно-климатических условий, наличие долгосрочных метеопрогнозов позволяют выбирать оптимальную стратегию для достижения максимально возможной урожайности [2]. Ведение деятельности в условиях техногенно нарушенных почв требует правильных действий со стороны аграриев. Одной из наиболее актуальных проблем является химическое загрязнение почв.

Для решения ряда проблем исследователи обращают внимание на применение физических факторов, считая физическое воздействие природным способом, повышающим общую резистентность растений к стресс-факторам, увеличивающим основные морфометрические показатели, а также позволяющим избегать деградации обрабатываемых пахотных земель, вызываемой попаданием избыточного количества химических веществ. К таким факторам относят КВЧ-излучение, излучение крайне высокой частоты (30–300 ГГц) нетепловой интенсивности, миллиметрового диапазона (1–10 мм).

Воздействие ЭМИ КВЧ находит свое отражение на уровне целостного организма. Это предположение подтверждается результатами многочисленных исследований, в которых доказано воздействие электромагнитного излучения на рост и развитие растений. Причем данный фактор оказывает заметное воздействие на всех фазах развития растений (от семян и проростков до взрослого растения), может влиять на процессы прорастания семян, роста побегов и корней. В ряде исследований показано, что воздействие ЭМИ может снижать всхожесть [3]–[5], но в других экспериментах всхожесть семян либо совсем не изменилась [6], либо повысилась [7].

Отмечается возможность использования КВЧ-излучения для активации внутренних ресурсов растения и повышения их резистентности к фитотоксическому стрессу при правильном подборе режима облучения. Задачей настоящего исследования стало выявление эффектов ЭМИ КВЧ на стресс-реакцию растений в ответ на химическое загрязнение среды. Полученные результаты помогут выявить оптимальные режимы воздействия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на растительные организмы для повышения их адаптационного потенциала, общей резистентности и продуктивности.

В качестве модельного загрязнителя использован крупнотоннажный побочный продукт химического производства фосфорных удобрений по сернокислотной технологии – фосфогипс (ФГ). ФГ содержит наряду с биогенными элементами (Si, Ca, S), также соединения F, Sr, Pb, Cd и некоторые другие, которые считаются токсичными и потому вызывают негативное отношение к его практическому использованию в сельском хозяйстве [8]. Тем не менее, исследования фосфогипса как удобрения ведутся весьма широко, и многие исследователи отмечают, что регулируемое использование ФГ позволяет добиваться улучшения агрохимических показателей почвы. Отмечается, что смесь ФГ со сточными водами, опилками, отходами пищевой промышленности и другими органическими субстанциями в различных пропорциях улучшает качество компоста. Внесение ФГ в чернозем улучшает агрофизические свойства и питательный режим почвы, увеличивает микробное сообщество и ингибирует развитие нитрифицирующих бактерий [9]. Внесение в почву ФГ, апатита и сульфата калия усиливало всхожесть семян и развитие корневой системы проростков, увеличивало содержание кальция и кремния в стеблях, а также содержание сульфатной серы в зерне озимой пшеницы и овса [10].

Но при всем вышеизложенном следует отметить, что практика полигонного хранения данного побочного продукта неизбежно влияет на проникновение ФГ в геологические слои через основания отвалов и полигонов. Это приводит к неконтролируемому включению ФГ в биогеоценозы, затрагивая в том числе и пахотные земли. Активное использование ФГ в сельском хозяйстве приведет к загрязнению почв, последствием чего станет угнетение роста и развития растений, что неизбежно приводит к снижению качественного и количественного показателей урожая [11].

**Объекты и методика исследований.** Объект исследования – пшеница яровая, сорт «Рассвет», категория РС, репродукция 1. Объект исследований был выбран опираясь на международный стандарт ISO 11269-2 [12]. Пшеница относится к семейству Мятликовые (Poaceae), представители которого обычно входят в состав травосмесей, используемых при фиторемедиации техногенно нарушенных территорий [13].

Измеряемые параметры в тесте: всхожесть (%); длина побега (см), длина зародышевого корешка (см); масса проростка (г). На основании ранее полученных данных по оценке влияния различных концентраций ФГ на семена растений была выбрана интенсивность фактора, вызывающая существенное угнетение развития проростков – 80 % ФГ от массы субстрата.

Почва для проращивания семян отобрана на участке сельскохозяйственных угодий рядом с г. Гомелем. Ее агрохимический анализ выполнен до начала эксперимента. Используемая в эксперименте почва характеризуется близкой к нейтральной среде (рН – 6,17), избыточным содержанием подвижного калия ( $K_2O$  – 1180 мг/кг), очень высоким содержанием подвижного фосфора ( $P_2O_5$  – 1424 мг/кг), очень высоким содержанием обменного кальция (Ca – 2668 мг/кг), повышенным содержанием обменного магния (Mg – 251 мг/кг) и очень высоким содержанием гумуса (8,97 %). Таким образом, учитывая интервалы оптимальных параметров агрохимических показателей дерново-подзолистых супесчаных почв, можно охарактеризовать агрохимические показатели почвы как оптимальные. В чашу Петри помещалась смесь почвы и ФГ (20 г), которая увлажнялась дистиллированной водой до 70 % от полной влагоемкости. В каждую чашку Петри на поверхности субстрата помещалось по 20 семян. Чашки закрывались крышкой и вместе с семенами помещались на 5 суток в термостат ТС-1/80 СПУ, где поддерживалась температура 23°C. По окончании срока экспозиции проростки снимались с субстрата и очищались от его остатков. Каждый экспериментальный вариант выполнялся в трехкратной повторности (в трех различных чашках Петри).

В каждой чашке определялся процент проросших семян. У каждого проростка в свежем состоянии определялись основные морфометрические параметры.

Выполнен анализ влияния ЭМИ диапазонов частот 42 ГГц (от 40,00 до 44,00 ГГц) и 55 ГГц (от 52,50 до 54,50 ГГц) с шагом 0,05 ГГц. Режим облучения ЭМИ КВЧ: продолжительность – 60 мин, мощность потока ЭМИ – 100 мкВт/м<sup>2</sup> (расстояние до излучателя 10 см). Облучение производилось через 24 часа после помещения семян на проращивание и начала воздействия ФГ. Облучалось 120 семян, которые рандомизировано распределяются на шесть чашек Петри с контрольной (незагрязненной) почвой и почвой с ФГ. Для каждой партии образцов готовились варианты сравнения без облучения на чистой и загрязненной почве (каждый в трехкратной повторности).

**Результаты и их обсуждение.** Наши исследования включали в себя проведение оценки изменения показателей развития проростков пшеницы яровой при воздействии ЭМИ КВЧ диапазонов 42 ГГц и 55 ГГц при содержании ФГ 80 % от общей массы почвы.

В оптимальных условиях проращивания облучение семян пшеницы электромагнитным излучением крайне высокой частоты с мощностью потока 100 мкВт/см<sup>2</sup> практически на всем диапазоне участка частот 40,0–44,0 ГГц оказывает легкое угнетающее воздействие на рост корешка (рисунок 1). В то же время масса проростков в естественном состоянии у облученных семян, как правило, выше контрольных значений. Статистически значимое влияние ЭМИ КВЧ на всхожесть семян не установлено. Возможно, это связано с их высокой исходной всхожестью 97–99 %. Частоты 41,5–41,8 ГГц и 42,3 ГГц стимулируют рост побега (рисунок 2), при этом отрицательно воздействуя на развитие корешков проростка пшеницы. Частотные диапазоны 40,3–41,4 ГГц, 41,9–42,2 ГГц и 43,3–43,9 ГГц угнетают развитие побега пшеницы при проращивании.

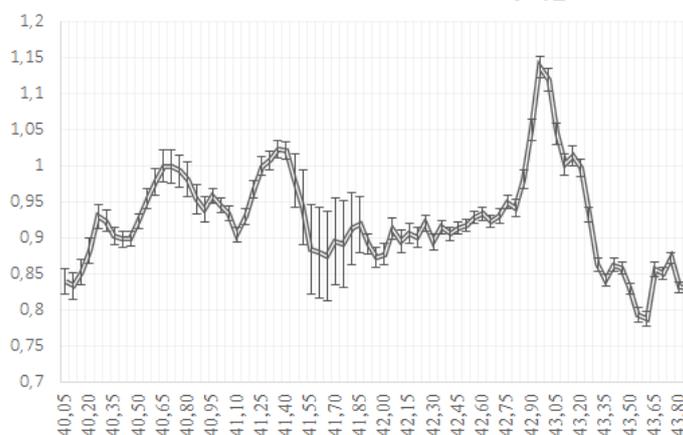


Рисунок 1 – Воздействие ЭМИ КВЧ диапазона частот 40,05ГГц – 43,80ГГц на развитие корешка пшеницы яровой (отношение показателя при воздействии ЭМИ КВЧ к данному показателю в контроле)

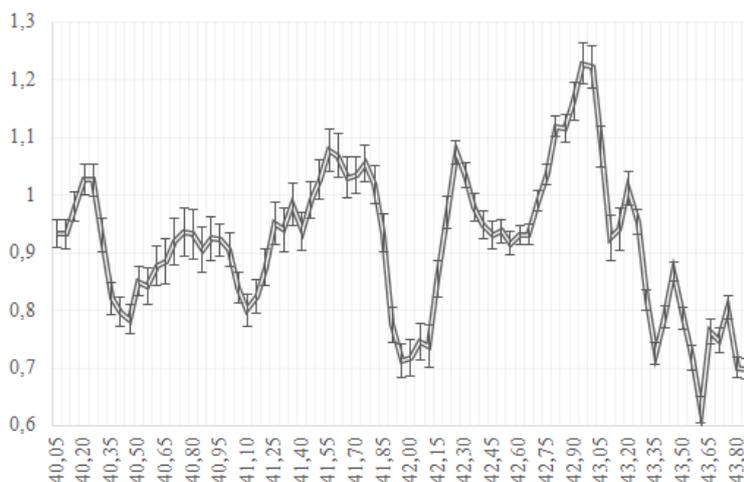


Рисунок 2 – Воздействие ЭМИ КВЧ диапазона частот 40,05ГГц – 43,80ГГц на развитие побега пшеницы яровой (отношение показателя при воздействии ЭМИ КВЧ к данному показателю в контроле)

Воздействие ЭМИ в диапазоне частот 52,5–54,5 ГГц угнетает развитие корешка (рисунок 3), особенно сильное негативное воздействие наблюдается в диапазоне 52,7–53,5 ГГц. Развитие побегов также угнетается одночасовой экспозицией ЭМИ с частотами 52,5–54,2 ГГц (рисунок 4). Легкое стимулирующее действие выявлено только при частоте 54,3 ГГц.

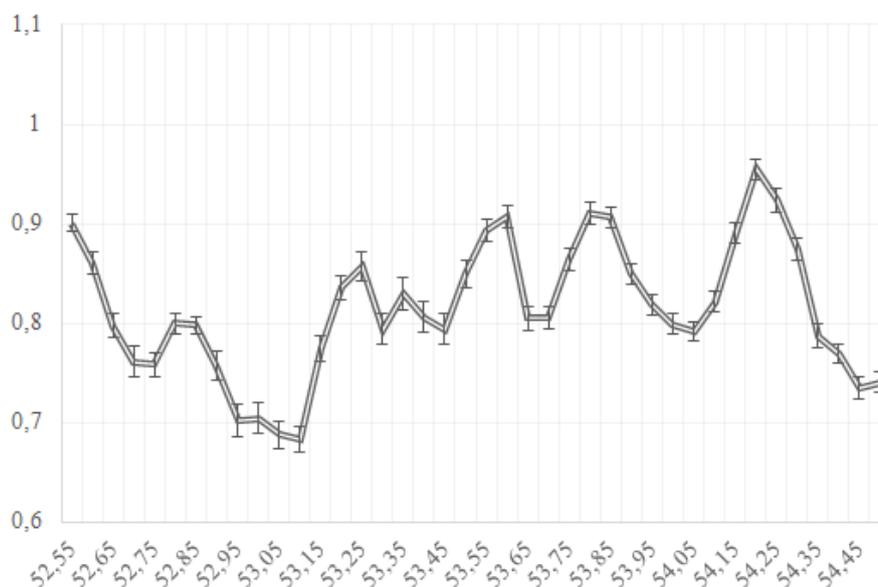


Рисунок 3 – Воздействие ЭМИ КВЧ диапазона частот 52,55ГГц – 54,45ГГц на развитие корня пшеницы яровой (отношение показателя при воздействии ЭМИ КВЧ к данному показателю в контроле)

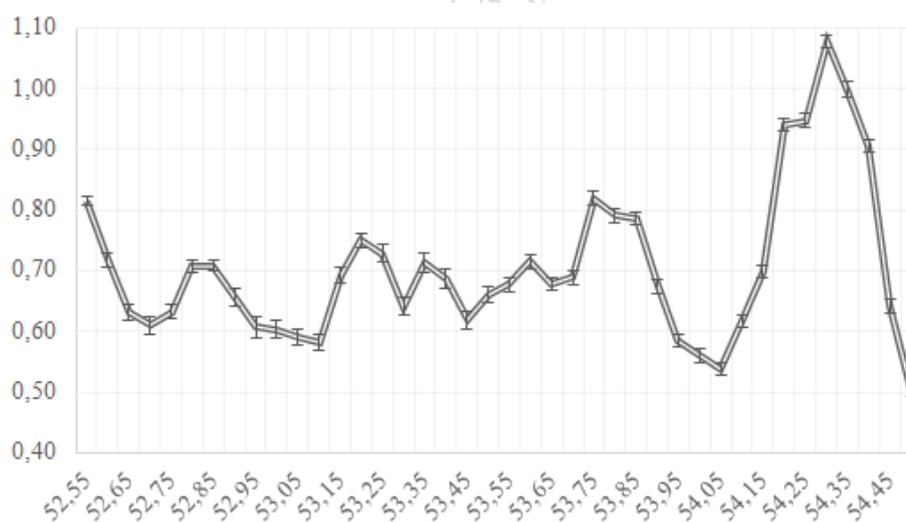


Рисунок 4 – Воздействие ЭМИ КВЧ диапазона частот 52,55ГГц – 54,45ГГц на развитие побега пшеницы яровой (отношение показателя при воздействии ЭМИ КВЧ к данному показателю в контроле)

На фоне фитотоксического стресса стимулирующее действие ЭМИ КВЧ сильнее, чем в оптимальных условиях прорастания. Впрочем, и угнетающее действие тоже более выражено (рисунки 5, 6). Обращая внимание на частоту 42 ГГц, мы можем увидеть, что практически полностью пропадает действие фитотоксического стресса при 1-часовой экспозиции прорастающих семян в ЭМИ частотой 41,2–41,3 ГГц, 42,2–42,4 ГГц.

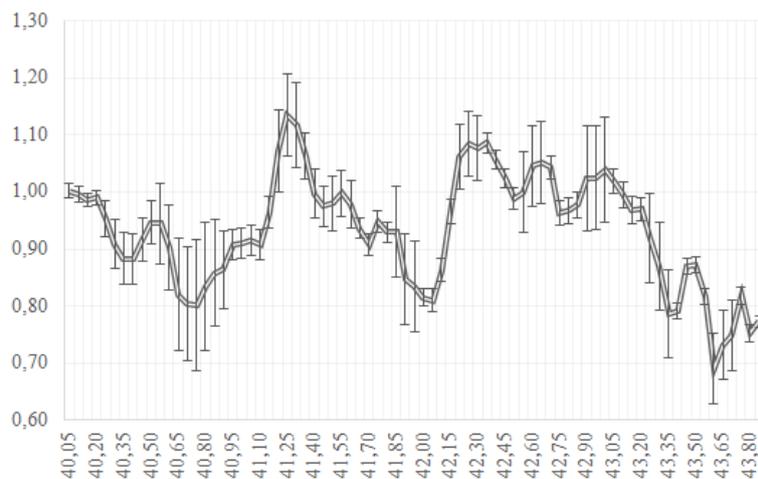


Рисунок 5 – Эффект воздействия ЭМИ КВЧ диапазона 40,05ГГц – 43,80ГГц и фитотоксического стресса на развития корешка пшеницы яровой (отношение показателя при воздействии ЭМИ КВЧ к данному показателю в контроле)

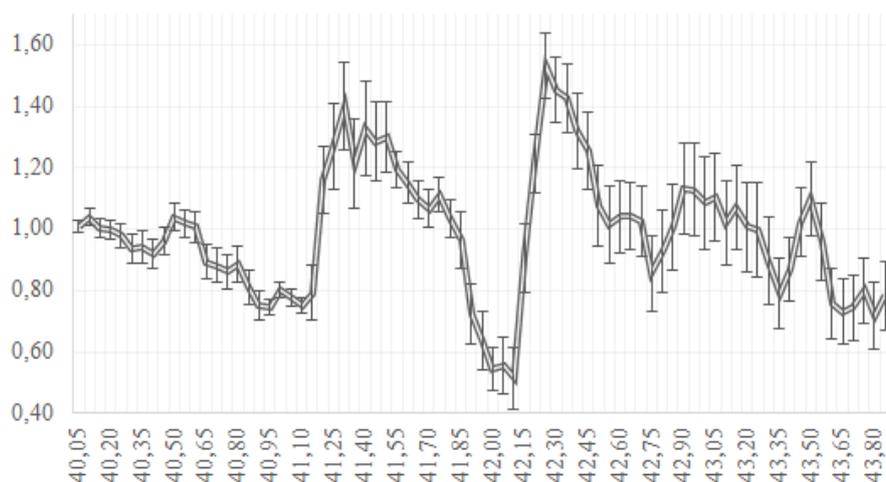


Рисунок 6 – Эффект воздействия ЭМИ КВЧ диапазона 40,05ГГц – 43,80ГГц и фитотоксического стресса на развитие побегов пшеницы яровой (отношение показателя при воздействии ЭМИ КВЧ к данному показателю в контроле)

В диапазоне частот 55 ГГц положительным эффектом обладают частоты 53,25 и 54,30 ГГц. На всем остальном исследованном диапазоне облучение прорастающих семян ЭМИ КВЧ усугубляет действие фитотоксического стресса.

Данные других исследователей, также изучающих влияние предпосевной обработки КВЧ ЭМИ семян злаковых, показывают как стимулирующий эффект применяемого внешнего физического поля [14], так и угнетающее воздействие КВЧ излучения [15]. Проводятся исследования подтверждающие стимуляцию ростовых показателей других видов растений диапазоном частот в 42 ГГц и 52 ГГц [16]. Действительно важными и актуальными являются дальнейшие исследования влияния ЭМИ КВЧ на показатели роста и развития высших растений при воздействии фитотоксического стресса. Необходимо углубленное изучение механизмов влияния ЭМИ КВЧ на клеточном и биохимическом уровнях. Полученные данные могут быть использованы для повышения урожайности культурных растений, что является одной из приоритетных задач сельского хозяйства.

**Заклучение.** Выявлена частотная зависимость изменения устойчивости проростков пшеницы к цитотоксическому стрессу при их стимуляции электромагнитным излучением крайне высокой частоты. В исследованном диапазоне повышает устойчивость проростков пшеницы к фитотоксическому стрессу облучение частотами 41,2–41,3 ГГц, 42,2–42,5 ГГц и

42,85–43,1 ГГц при мощности потока 100 мкВт/см<sup>2</sup> и времени экспозиции – 60 мин. Данные диапазоны совпадают с частотами, стимулирующими развитие побегов прорастающей пшеницы в отсутствии фитотоксического стресса.

### Литература

1. Global strategy to improve agricultural and rural statistics: A conceptual framework for the collection of agricultural statistics / The World Bank. – Washington : The International Bank for Reconstruction and Development, 2010. – 55 p.
2. Дериглазова, Г.М. Влияние природных и антропогенных факторов на урожай и качество зерна ярового / Г.М. Дериглазова // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 43–45.
3. Cell phone radiations affect early growth of *Vigna radiata* (Mung Bean) through biochemical alterations / V.P. Sharma [et al.] // Zeitschrift für Naturforschung C. – 2010. – Т. 65, № 1–2. – P. 66–72.
4. Chen, C. Effects of mobile phone radiation on germination and early growth of different bean species / C. Chen // Polish Journal of Environmental Studies. – 2014. – Vol. 23. – P. 1949–1958.
5. Scialabba, A. Microwave effects on germination and growth of radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings / A. Scialabba, C. Tamburello // Acta Botanica Gallica. – 2002. – Vol. 149, № 2. – P. 113–123.
6. Sharma, S. Effect of mobile phone radiation on nodule formation in the leguminous plants / S. Sharma, L. Parihar // Curr. World Environ. – 2014. – Vol. 9 (1). – P. 145–155.
7. Growth characteristics of mung beans and water convolvuluses exposed to 425-MHz electromagnetic fields / P. Jinapang [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2010. – Vol. 31, № 7. – P. 519–527.
8. Муравьев, Е.И. Свойства фосфогипса и возможность его использования в сельском хозяйстве / Е.И. Муравьев, И.С. Белюченко // Экологич. вестник северного Кавказа. – 2008. – Т. 4, № 2. – С. 5–17.
9. Волошина, Г.В. Влияние фосфогипса на развитие почвенных микробных сообществ / Г.В. Волошина // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2009. – С. 141–145.
10. Использование фосфогипса для рекультивации загрязненных нефтью почв / И.С. Белюченко [и др.] // Тр. КубГАУ. – 2008. – № 12. – С. 72–77.
11. Третьяков, Н.Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений: учебник для вузов / Н.Н. Третьяков ; ред. Н.Н. Третьяков [и др.]. – М. : Колос, 2005. – 640 с.
12. Boluda, R. Soil plate bioassay: An effective method to determine ecotoxicological risks / R. Boluda, L. Roca-Pérez, L. Marimón // Chemosphere. – 2011. – Vol. 84. – Soil plate bioassay. – № 1. – P. 1–8.
13. Халилова, Д.Н. Анализ методов очистки нефтезагрязненных почв при авариях на объектах нефтегазовой отрасли и транспорте / Д.Н. Халилова, Д.М. Юнусова // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – С. 23–31.
14. Mukhaelyan, Z.H. Effect of extremely high frequency EMI on lipid peroxidant and activities of antioxidant enzymes of wheat shoots / Z.H. Mukhaelyan, G.H. Poghosyan, P.H. Vardevanyan // Biolog. Journal of Armenia. – 2016. – № 68. – P. 24–29.
15. Abbate, P.E. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat / P.E. Abbate, F.H. Andrade, J.P. Culot // The Journal of Agricultural Science. – 1995. – Vol. 124, № 3. – P. 351–360.
16. Мухаелян, Ж.Г. Изменение некоторых морфометрических показателей проростков пшеницы, облученных ЭМИ КВЧ-диапазона / Ж.Г. Мухаелян // Биолог. журн. Армении. – 2017. – № 69. – С. 96–101.