

Илдар Зуфарович Аширов, кандидат технических наук, доцент, ildarashirow@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9390-1989>

Игорь Владимирович Герасименко, кандидат технических наук, доцент, gerasimenko-iv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5749-8311>

Андрей Петрович Козловцев, доктор технических наук, профессор, ap_kozlovcev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5622-9598>

Марат Рустамович Курамшин, кандидат технических наук, доцент, Allua@inbox.ru

Александр Александрович Панин, кандидат технических наук, доцент, panin049@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1683-9698>

Ildar Z. Ashirov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ildarashirow@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9390-1989>

Igor V. Gerasimenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, gerasimenko-iv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5749-8311>

Andrey P. Kozlovcev, Doctor of Technical Sciences, Professor, ap_kozlovcev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5622-9598>

Marat R. Kuramshin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Allua@inbox.ru

Alexander A. Panin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, panin049@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1683-9698>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024; принята к публикации 29.10.2024.

The article was submitted 11.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 29.10.2024.

Научная статья

УДК 635.015:537.8

doi: 10.37670/2073-0853-2024-110-6-158-164

Влияние дистанционной обработки слабыми нетепловыми импульсными электромагнитными полями на рост и урожайность зерновых культур*

Игорь Фёдорович Турканов¹, Екатерина Анатольевна Галкина¹, Владимир Габдуллович Зайнуллин², Салис Добаевич Каракотов³, Александр Иванович Прянишников³, Александр Иванович Беляев⁴

¹ АО «Концерн «ГРАНИТ», Москва, Россия

² Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского – обособленное подразделение ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

³ АО «Щёлково-Агрохим», Щёлково, Московская область, Россия

⁴ Федеральный научный центр агроэкологии, Волгоград, Россия

Аннотация. Проведённое исследование позволило расширить представление о влиянии на растительные организмы импульсных электромагнитных полей (ЭМП) как фактора, вызывающего неспецифическую реакцию – развитие положительного стресса (эустресса). Полученные результаты обработки растений слабыми импульсными ЭМП по выраженному количественному и качественному эффекту подтвердили возможность использования данной технологии для повышения урожайности зерна на больших площадях, улучшения количественных показателей посевного материала после обработки в поле по сравнению с предпосевной обработкой (в мешках). В то же время обработка семян ярового ячменя перед посевом позволила снизить процент белка в зерне более чем на 22 % по сравнению с контролем (в котором обработка ЭМП не проводилась), приблизив его к пивоваренным стандартам. Технология дистанционной обработки ЭМП позволяет улучшить агротехнические показатели зерновых культур, а именно повысить урожайность на 7–48 %, а также снизить содержание микотоксинов в зерне. Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности применения дистанционной электромагнитной технологии «ТОР» для повышения климатической устойчивости зерновых культур в различных сельскохозяйственных зонах.

Ключевые слова: дистанционное электромагнитное воздействие, электромагнитные поля (ЭМП), эустресс, злаки, урожай, агротехнические показатели, частота.

* Работа в части экспериментов выполнена в рамках темы государственного задания «Повышение ресурсного потенциала сортов картофеля собственной селекции путём обработки семенного материала слабыми импульсными электромагнитными полями (FUUU-2024-0015)» (рег. номер 1024031100067-7-4.1.1).

Для цитирования: Влияние дистанционной обработки слабыми нетепловыми импульсными электромагнитными полями на рост и урожайность зерновых культур / И.Ф. Турканов, Е.А. Галкина, В.Г. Зайнуллин и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 6 (110). С. 158–164. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-110-6-158-164>.

Original article

The effect of remote treatment with weak non-thermal pulsed electromagnetic fields on the growth and yield of grain crops

Igor F. Turkanov¹, Ekaterina A. Galkina¹, Vladimir G. Zainullin², Salis D. Karakotov³, Alexander I. Pryanishnikov³, Alexander I. Belyaev⁴

¹ Concern GRANIT JSC, Moscow, Russia

² A.V. Zhuravsky Komi Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Institute of Agrobiotechnologies, Syktyvkar, Russia

³ JSC Shchelkovo-Agrochem, Shchelkovo, Moscow region, Russia

⁴ Federal Scientific Center of Agroecology, Volgograd, Russia

Abstract. The conducted research has made it possible to expand the understanding of the influence of pulsed electromagnetic fields (EMF) on plant organisms as a factor causing a non-specific reaction – the development of positive stress (eustress). The obtained results of processing plants with weak pulsed EMF in terms of a pronounced quantitative and qualitative effect confirmed the possibility of using this technology to increase grain yield over large areas, improve the quantitative indicators of the seed material after processing in the field compared with pre-sowing treatment (in bags). At the same time, the treatment of spring barley seeds before sowing allowed to reduce the percentage of protein in the grain by more than 22 % compared to the control (in which EMF treatment was not carried out), bringing it closer to brewing standards. The technology of remote EMF processing makes it possible to improve the agrotechnical indicators of grain crops, namely, to increase productivity by 7-48 %, as well as reduce the content of mycotoxins in grain. The results obtained indicate the high prospects of using the remote electromagnetic technology “TOR” to increase the climatic stability of grain crops in various agricultural zones.

Keywords: remote electromagnetic impact, electromagnetic fields (EMF), eustress, cereals, harvest, agrotechnical indicators, frequency.

For citation: The effect of remote treatment with weak non-thermal pulsed electromagnetic fields on the growth and yield of grain crops / I.F. Turkanov, E.A. Galkin, V.G. Zainullin et al. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2024; 110(6): 158-164. (In Russ.). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-110-6-158-164>.

Известно, что электромагнитные поля, особенно низкочастотные, могут влиять на устойчивость растений к неблагоприятным факторам [1]. ЭМП в низкочастотном диапазоне возникают в природе за счёт так называемых резонансов Шумана, возбуждаемых грозовыми разрядами. N.S. Mshenskaaya и др. показали влияние воздействия магнитного поля (14,3 Гц, что соответствует второй гармонике Шумана) на транспирацию и фотосинтез пшеницы, возделываемой в условиях засухи.

Наряду с постоянным геомагнитным полем (так называемым главным геомагнитным полем) на представителей биоты воздействуют переменные электромагнитные поля в разном диапазоне волновых и частотных характеристик [2]. Ряд исследований подтвердили влияние ЭМП на важнейшие физиологические процессы, включая митоз, антиоксидантный статус и др. [3]. Показано, что переменные ЭМП приводят к изменению метаболизма этилена у растений томата. Воздействие в течение 5–15 мин. на плоды томата ЭМП частотой 9,3 ГГц приводит к снижению экспрессии генов, связанных с этиленсинтазой и синтазой аминокислоты циклопропан-1-карбоновой кислоты [4]. На основании полученных результатов авторами был сделан вывод, что микроволновое воздействие после сбора урожая можно применять для продления срока хранения плодов томатов [5, 6].

В неблагоприятных условиях абиотического стресса, таких, как засуха, засоление почвы и её загрязнение тяжёлыми металлами, ЭМП уменьшают воздействие стресса, индуцируя синтез антиоксидантов и снижая окислительный стресс у растений [7, 8]. Замедление роста растений при различных световых и температурных условиях можно преодолеть воздействием ЭМП, вызывающих эустресс. При применении электромагнитных технологий на растения происходит прямое воздействие на ионы кальция Ca^{2+} [9].

Значимость ЭМП в развитии растений, их росте и урожайности подчёркивается исследованиями биологической активности, инициируемой слабыми импульсными ЭМП. Однако многочисленные эксперименты с проростками различных видов растений, обработанными ЭМП, показали, что рост их первичных корней на ранних стадиях прорастания угнетается по сравнению с контролем [10]. Под действием слабых ЭМП в меристеме корней растений снижаются пролиферативная активность, функциональная активность генома и размножение клеток, происходит перенасыщение Ca^{2+} во всех органеллах и в цитоплазме, в отличие от контрольных растений [11].

Представленные данные позволяют предположить, что длительное воздействие ЭМП на растения может вызывать различные биологические эффекты на клеточном, тканевом и органном

уровнях [12]. В ходе эволюции растения, как и любой другой организм, приспособились к существующему электромагнитному фону, и изменения этого фона могут нарушать гомеостаз организма растений, приводя к разнообразным реакциям [13].

В данном исследовании дана оценка влияния дистанционной электромагнитной обработки семян на основные зерновые культуры – озимую пшеницу и яровой ячмень. Оценена эффективная дальность действия электромагнитной технологии «ТОР», которая в полевых экспериментах составляла 100 м и более.

Материал и методы. В исследованиях были выбраны семена озимой пшеницы сорта Ермолвка и ярового ячменя сорта Новониколаевский. Полученные данные были обработаны стандартными статистическими методами [14, 15].

1.1 Первая серия экспериментов. Перед посевом семена подвергались дистанционной обработке ЭМП аппаратом «ТОР» в течение 10 мин. с частотой импульсов 125 Гц. Показатели периодического магнитного поля на расстоянии 10 см от излучателя прибора «ТОР» не превышали 1,5 мкТл с точностью 0,22 мкТл, электрическая компонента не превышала 214 В/м с точностью 32 В/м. м, плотность мощности излучения на частоте 2,45 ГГц не превышала 36 мВт/см² [16].

Для изучения влияния суточной изменчивости растений, обусловленной циркадными механизмами, обработку ЭМП проводили в период с 05:00 до 13:00.

Семена озимой пшеницы и ярового ячменя обрабатывали двумя способами: сухие семена и семена в почве, оба варианта по 10 мин. Для каждого варианта опыта (5 повторностей) было взято по 50 семян. Растения проращивали в течение 10 дн. в климатической камере «Фитотрон» (условия освещения 16 × 8, фитолампы, влажность – 60 %) на дерново-подзолистой почве: рН – 5,5; гидролитическая кислотность – 1,53 ммоль/100 г; подвижный фосфор – 906,5 мг/кг; подвижные соединения цинка – 9,90 мг/кг; подвижные соединения марганца – 5,12 мг/кг; подвижные соединения меди – 2,86 мг/кг; подвижные соединения серы – 15,3 мг/кг; подвижные соединения калия – 71,7 мг/кг; обменный кальций – 12,0 мг/кг; обменный магний – 6,50 мг/кг; азот щелочногидролизующий – 151 мг/кг.

Учитывали рост растений (надземную и корневую части) и массу растений.

1.2 Вторая серия экспериментов. Исследования проводились в Волгоградской области, в лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального научного центра агроэкологии РАН (лабораторные) и на земельном участке Федерального научного центра агроэкологии им. Российской академии наук, Камышинский р-н, пос. Госселектстанция (полевые). Объектом исследования были семена ярового ячменя. Обработку семян проводили на аппарате «ТОР»: экспозиция обработки – 15 мин. каждый вариант, повторность – 4 раза. Были проведены следующие варианты обработки: 1. Контроль – без обработки; 2. Обработка семян перед посевом; 3. Обработка после посева в почву.

Результаты и обсуждение. Циркадный ритм растительных организмов включает 24-часовой цикл с 16-часовым световым периодом и 8-часовым ночным периодом [17]. Различия в действии абиотических и биотических факторов среды в разные дни суток оптимизируют эффективность адаптивных реакций на стрессовые факторы, изменение активности и содержания гормонов в тканях, морфогенеза и активности метаболических процессов [18, 19]. Нашей команде было чрезвычайно важно определить реакцию изучаемых растений на действие импульсного ЭМП в зависимости от суточного цикла.

2.1 Первая серия экспериментов. В первой серии опытов оценивали зависимость показателей роста растений от обработки ЭМП предпосевных семян в разное время суток. Как видно по таблице 1, наибольшие значения изучаемых показателей после воздействия ЭМП выявлены в период с 07:00 до 11:00.

Для минимизации влияния суточной изменчивости растений, обусловленной механизмами циркадности, на величины реакции растительных организмов на электромагнитное воздействие обработку проводили с 09:00 до 10:00. В этом эксперименте для каждой культуры было проведено 5 повторностей. Как видно по данным таблицы 2, обработки ЭМП приводят к достоверному увеличению длины листьев как у пшеницы, так и у ячменя ($P < 0,05$) при их обработке in-situ (обработка семян в почве).

1. Характеристики фенологических и биометрических показателей после обработки аппаратом «ТОР» семян ярового ячменя в разное время суток

Время суток	05:00	07:00	08:00	11:00	13:00
Превышение энергии роста проросших семян через 48 час., 100 семян, обработанных ЭМП, по сравнению с контролем (79 шт.)	67	87	93	81	71
Средняя длина coleoptilia за 48 час., 100 семян, обработанных ЭМП, по сравнению с контролем (16,9 мм)	21,6	27,4	31,5	21,3	16,3
Полное прорастание семян ярового ячменя за 120 час., 100 семян, обработанных ЭМП, по сравнению с контролем (87 шт.)	91	98	96	92	84

2. Биометрические показатели после обработки ЭМП семян озимой пшеницы и ярового ячменя аппаратом «ТОР»

Среднее на 1 растение	Контроль	Сухие обработанные семена	Семена, обработанные в почве
Пшеница озимая			
Среднее число растений на 1 повторность	43,6	47,8	46,8
Листья, см	17,4 ± 0,37	18,1 ± 0,32	19 ± 0,42
Корень, см	14,9 ± 0,48	15,4 ± 0,44	14,2 ± 0,45
Вес растения, г	0,34	0,4	0,41
Вес листа, г	0,20	0,23	0,24
Вес корня, г	0,13	0,17	0,17
Ячмень яровой			
Среднее число растений на 1 повторность	42,4	44,2	44,8
Листья, см	20,7 ± 0,53	19,8 ± 0,53	22 ± 0,56
Корень, см	16,9 ± 0,5	16,1 ± 0,51	17,8 ± 0,52
Вес растения, г	0,57	0,63	0,65
Вес листа, г	0,35	0,35	0,37
Вес корня, г	0,23	0,28	0,28

Сложность определения длины корней не позволяет сделать однозначные выводы о влиянии ЭМП на эту часть растений. Однако весовые показатели свидетельствуют о том, что средняя масса растений (рис. 1) значительно выше у обработанных растений пшеницы и ячменя ($P < 0,05$).

Обработка семян ярового ячменя аппаратом «ТОР» с разной продолжительностью экспозиции (табл. 3) показала, что лучший результат по всхожести наблюдался при длительной обработке семян – 30 мин., тогда как лучшие показатели длины растений характерны при кратковременной экспозиции – 5 мин. Наилучшее развитие корневой системы растений отмечалось при среднем времени экспозиции 10–15 мин.

2.2 Вторая серия экспериментов. В следующей серии опытов оценивали влияние ЭМП аппарата «ТОР» на урожайность и качество зерна ярового ячменя при различных вариантах обработки семян и посевов.

В полевых условиях количество всходов в контрольном варианте находилось в пределах 81 %, тогда как семена, обработанные ЭМП, улучшили результаты на 5–17 %. Максимальное увеличение полевой всхожести по сравнению с контролем, а также таких показателей, как коэффициент кущения, длина корня и высота растений, наблюдалось при обработке семян *In-Situ* после посева (табл. 4).

В полевом опыте также выявлена разница в урожайности зерна ярового ячменя между вариантами при обработке аппаратом «ТОР». Вариант предпосевной обработки семян продемонстрировал более интенсивное развитие ассимиляции.

В дальнейшем в фазу восковой спелости и подсчета продуктивных стеблей лучший результат урожайности по сравнению с контрольным

вариантом (без обработки – 2,29 т/га) установлен на варианте обработки семян аппаратом «ТОР» в почве после посева (4,61 т/га), что превышало контрольный вариант на 48 % (табл. 5).

В зависимости от вариантов обработки наблюдалось снижение содержания белка в зерне, что является положительным показателем ячменя для пивоваренных стандартов. Наименьшее содержание белка отмечено на варианте обработки семян ячменя аппаратом «ТОР» перед посевом.

В таблице 6 представлен анализ качества зерна при различных вариантах обработки. После обработки происходило явное снижение содержания такого микотоксина, как зеараленон – продукта гриба рода *Fusarium graminearum*. Зеараленон часто является причиной эстрогенных реакций у животных при использовании контаминированного этим возбудителем кормового зерна. Содержание других микотоксинов в зерне было достоверно ниже, чем на контрольном варианте. Эти результаты показывают, что обработка ЭМП может привести к снижению содержания фитотоксинов в продуктах.

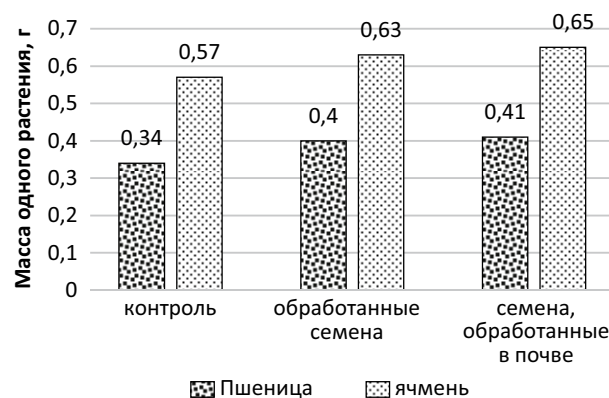


Рис. 1 – Весовые показатели растений после обработки ЭМП

3. Зависимость биометрических показателей ярового ячменя после обработки семян аппаратом «ТОР» от продолжительности экспозиции

Показатель, через 70 час. после посева	Время экспозиции, мин.				Контроль
	5	10	15	30	
Всхожесть, шт.	242	244	241	247	223
Длина ростков, мм	14,5	6,5	13,5	7,5	4,0
Длина корешков, мм	5,5	7,7	7,8	6,7	3,0

4. Структура ярового ячменя после обработки аппаратом «ТОР» в поле при подборе растений на 1 м² в фазу продуктивного кущения

Вариант	Полевая всхожесть, %	Коэффициент кущения	Длина корешков, мм	Длина растений, мм
Контроль	81	1,87	20–30	190–120
Обработка семян перед посевом	87	1	30–40	150
Обработка посеянных семян <i>In-Situ</i>	98	2,34	40–50	220–230

5. Качественные показатели зерна ярового ячменя в зависимости от варианта обработки аппаратом «ТОР», %

Вариант	Протеин	Влажность	Клетчатка
Контроль	14,0	9,9	5,7
Обработка семян перед посевом	10,9	9,6	5,6
Обработка посеянных семян <i>In-Situ</i>	12,4	9,9	6,3

6. Влияние электромагнитной обработки на содержание микотоксинов в зерне ячменя

	Перед посевом	После посева	Контроль	ГОСТ 28672–2019
Зеараленон	0,32 ± 0,001	0,81 ± 0,004	0,78 ± 0,004	Менее 1,0

Выводы. Проведённые исследования позволили расширить представление о механизмах действия слабых импульсных электромагнитных полей (ЭМП) на растительные организмы как фактора, вызывающего развитие неспецифической реакции – зюстресса. Эти результаты подтверждают возможность повышения урожайности сельскохозяйственных культур путём обработки ЭМП больших площадей сельскохозяйственных угодий на разных стадиях вегетации. У семян, обработанных ЭМП, увеличивается скорость прорастания, повышаются всхожесть и показатели морфологии растений

Обработка ЭМП в большей степени стимулировала ростовые показатели посевных семян, обработанных непосредственно в поле. Вариант обработки семян перед посевом (непосредственно в мешках) снизил содержание белка в зерне более чем на 22 % по сравнению с контрольным вариантом (без обработки ЭМП), приблизив его к пивоваренным стандартам. Такое снижение, по мнению авторов, произошло из-за возбуждения семян и резкого потребления влаги и запасов питательных веществ.

Следует отметить, что технология обработки семян аппаратом «ТОР» позволяет обеспечить устойчивость растений к факторам окружающей среды, в результате чего на высоко засушливых

землях (Волгоградская область, Россия) повышается урожайность на 48 %, а также снижается содержание микотоксинов в зерне.

Полученные результаты показывают высокие перспективы использования технологии обработки семян аппаратом «ТОР» для увеличения урожая зерновых в районах с засушливым климатом.

Список источников

1. The Effect of an Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field on the Drought Sensitivity of Wheat Plants / N.S. Mshenskaya, M.A. Grinberg, E.A. Kalyasova et al. *Plant Signaling & Behavior*. 2023. 12: 826. <https://doi.org/10.3390/plants12040826>
2. Maffei M.E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*. 2014; 5: 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>.
3. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth / A. De Souza-Torres, L. Sueiro-Pelegrin, M. Zambrano-Reyes et al. *Int. J. Radiat. Biol.* 2020; 96: 951-957. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1748912>.
4. Verma S., Sharma V., Kumari N. Microwave pretreatment of tomato seeds and fruit to enhance plant photosynthesis, nutritive quality and shelf life of fruit. *Postharvest Biol Technol*. 2020; 159: 111015. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111015>.
5. Belyavskaya N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Adv Space Res*. 2004; 34(7): 1566-1574. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.01.021>.

6. Belyaev I.Y. Dependence of non-thermal biological effects of microwaves on physical and biological variables: implications for reproductivity and safety standards. *European Journal of Oncology*. 2010; 5: 187-217. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111137883>.

7. Kielbowicz-Matuk A., Rey P., Rorat T. Interplay between circadian rhythm, time of the day and osmotic stress constraints in the regulation of the expression of a *Solanum Double B-box* gene. *Ann. Bot.* 2014; 113: 831-842. <https://doi.org/10.1093/aob/mct303>.

8. Effects of Low-Power Microwave Fields on Seed Germination and Growth / L. Rate Ragha, S. Mishra, V. Ramachandran, M.S. Bhatia. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. 2011. 3: 165-171. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2011.35027>.

9. Eugene M., Michael T. Marron Effects of Electromagnetic Fields on Molecules and Cells. *International Review of Cytology*. 1995; 158: 279-338.

10. Ramalingam R. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiol Mol Biol Plants*. 2019; 25(5): 1107-1119. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>.

11. Mehmet E.E., Muhsin U. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2024. 46:5. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03631-7>.

12. Flower orientation influences floral temperature, pollinator visits and plant fitness / N.M. Creux, R.I. Brown, A.G. Garner et al. *New Phytologist*. 2021; 232: 868-879. <https://doi.org/10.1111/nph.17627>.

13. Sensitivity of plants to high frequency electromagnetic radiation: cellular mechanisms and morphological changes / S. Kaur, A. Vian, S. Chandel et al. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2021. 20: 55-74. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09563-9>.

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.; Агропромиздат, 1985. С. 351.

15. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Ленинград: Медицина, 1973. 141 с.

16. Патент № 2765973. Российская Федерация. Устройство для подавления жизнедеятельности патогенных микроорганизмов и вирусов электромагнитным излучением: № 2020124927; заяв. 27.07.2020; опубл. 07.02.2022. <https://patentimages.storage.googleapis.com/47/71/dd/8682b68ce2ece0/RU2765973C1.pdf>.

17. Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: A review / M.B. Hafeez, N. Zahra, N. Ahmad et al. *Plant Biol*. 2022; 25(1): 8-23. <https://doi.org/10.1111/plb.13459>.

18. Inoue K., Araki T., Endo M. Integration of input signals into the gene network in the plant circadian clock. *Plant Cell Physiol*. 2017; 58: 977-982. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcx066>.

19. Inoue K., Araki T., Endo M. Circadian clock during plant development. *J. Plant Res*. 2018; 131: 59-66. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0991-8>.

References

1. The Effect of an Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field on the Drought Sensitivity of Wheat Plants / N.S. Mshenskaya, M.A. Grinberg, E.A. Kalyasova et al. *Plant Signaling & Behavior*. 2023. 12: 826. <https://doi.org/10.3390/plants12040826>

2. Maffei M.E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*. 2014; 5: 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>.

3. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth / A. De Souza-Torres, L. Sueiro-Pelegrin, M. Zambrano-Reyes et al. *Int. J. Radiat. Biol.* 2020; 96: 951-957. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1748912>.

4. Verma S., Sharma V., Kumari N. Microwave pretreatment of tomato seeds and fruit to enhance plant photosynthesis, nutritive quality and shelf life of fruit. *Postharvest Biol Technol*. 2020; 159: 111015. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111015>.

5. Belyavskaya N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Adv Space Res*. 2004; 34(7): 1566-1574. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.01.021>.

6. Belyaev I.Y. Dependence of non-thermal biological effects of microwaves on physical and biological variables: implications for reproductivity and safety standards. *European Journal of Oncology*. 2010; 5: 187-217. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111137883>.

7. Kielbowicz-Matuk A., Rey P., Rorat T. Interplay between circadian rhythm, time of the day and osmotic stress constraints in the regulation of the expression of a *Solanum Double B-box* gene. *Ann. Bot.* 2014; 113: 831-842. <https://doi.org/10.1093/aob/mct303>.

8. Effects of Low-Power Microwave Fields on Seed Germination and Growth / L. Rate Ragha, S. Mishra, V. Ramachandran, M.S. Bhatia. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. 2011. 3: 165-171. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2011.35027>.

9. Eugene M., Michael T. Marron Effects of Electromagnetic Fields on Molecules and Cells. *International Review of Cytology*. 1995; 158: 279-338.

10. Ramalingam R. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiol Mol Biol Plants*. 2019; 25(5): 1107-1119. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>.

11. Mehmet E.E., Muhsin U. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2024. 46:5. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03631-7>.

12. Flower orientation influences floral temperature, pollinator visits and plant fitness / N.M. Creux, R.I. Brown, A.G. Garner et al. *New Phytologist*. 2021; 232: 868-879. <https://doi.org/10.1111/nph.17627>.

13. Sensitivity of plants to high frequency electromagnetic radiation: cellular mechanisms and morphological changes / S. Kaur, A. Vian, S. Chandel et al. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2021. 20: 55-74. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09563-9>.

14. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). М.; Агропромиздат, 1985. P. 351.

15. Gubler E.V., Genkin A.A. Application of nonparametric statistical criteria in medical and biological research. Ленинград: Медицина, 1973. 141 p.

16. Patent No. 2765973. Russian Federation. Device for suppressing the vital activity of pathogenic microorganisms and viruses by electromagnetic radiation: No. 2020124927; declared. 27.07.2020; published. 07.02.2022. <https://patentimages.storage.googleapis.com/47/71/dd/8682b68ce2ece0/RU2765973C1.pdf>

17. Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: A review / M.B. Hafeez, N. Zahra, N. Ahmad et al. *Plant Biol*. 2022; 25(1): 8-23. <https://doi.org/10.1111/plb.13459>.

18. Inoue K., Araki T., Endo M. Integration of input signals into the gene network in the plant circadian clock. *Plant Cell Physiol.* 2017; 58: 977-982. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcx066>.

19. Inoue K., Araki T., Endo M. Circadian clock during plant development. *J. Plant Res.* 2018; 131: 59-66. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0991-8>.

Игорь Фёдорович Турканов, заместитель генерального директора, руководитель научного центра, info@granit-concern.ru

Екатерина Анатольевна Галкина, научный специалист, <https://orcid.org/0000-0003-3824-2577>

Владимир Габдуллович Зайнуллин, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, zainullin.v.g@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9378-1170>

Салис Добаевич Каракотов, академик РАН, генеральный директор, s.karakotov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-7062-4386>

Александр Иванович Прянишников, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, a_pryan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1467-5960>

Александр Иванович Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, info@vfanc.ru

Igor F. Turkanov, Deputy General Director, Head of the Scientific Center, info@granit-concern.ru

Ekaterina A. Galkina, scientific specialist, <https://orcid.org/0000-0003-3824-2577>

Vladimir G. Zainullin, Doctor of Biology, Professor, Leading researcher, zainullin.v.g@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9378-1170>

Salis D. Karakotov, Academician of the Russian Academy of Sciences, General Director, s.karakotov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-7062-4386>

Alexander I. Pryanishnikov, Doctor of Agriculture, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, a_pryan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1467-5960>

Alexander I. Belyaev, Doctor of Agriculture, Professor, info@vfanc.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.09.2024; одобрена после рецензирования 26.09.2024; принята к публикации 29.10.2024.

The article was submitted 06.09.2024; approved after reviewing 26.09.2024; accepted for publication 29.10.2024.

Научная статья

УДК 004.428.4:636.084.12

doi: 10.37670/2073-0853-2024-110-6-164-172

Разработка системы защиты информации для программного обеспечения, основанного на облачных технологиях, применяемого в сельском хозяйстве (АВИС)*

**Денис Евгеньевич Белов¹, Вадим Владимирович Герасименко²,
Владимир Владимирович Голембовский¹, Алексей Андреевич Дробин¹,
Лидия Валентиновна Кононова¹**

¹ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия

² Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается разработка системы защиты информации для автоматизированной вычислительной информационной системы (АВИС), применяющейся в сельском хозяйстве для решения актуальных задач в области зоотехнии и ветеринарии. Система построена на основе облачных технологий и программного обеспечения с открытым исходным кодом, что позволяет обеспечить экономическую эффективность и масштабируемость. Особое внимание уделено вопросам информационной безопасности. Проведён анализ возможных угроз безопасности информации, в том числе связанных с использованием облачных платформ. Разработан модуль настройки разграничения прав доступа, который позволяет снизить риски несанкционированного доступа и модификации данных. Для обеспечения четвёртого уровня защищённости персональных данных при их обработке в АВИС определён комплекс сертифицированных средств защиты информации отечественного производства. Это включает операционную систему «Astra Linux Special Edition», антивирусное ПО Dr.Web и средства криптографической защиты «MagПро Крипто».

* Авторы выражают благодарность Александру Павловичу Жуку, кандидату технических наук, профессору кафедры организации и технологии защиты информации Северо-Кавказского федерального университета (ФГАОУ ВО СКФУ) за обстоятельный анализ представленной в данной работе системы защиты информации АВИС и рекомендаций по её совершенствованию.