Исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200

Р.Ф. Гарипова, А.Е. Столповских

**Оренбургский государственный аграрный университет,
460014 г. Оренбург, Российская Федерация**

Определение валидности метода биотестирования факторов окружающей среды в экспериментах с применением биопрепаратов и природного цеолита

В статье приводится апробация нового метода тестирования плодородия почв. Для выявления биологической активности почв предлагается учитывать морфометрические реакции фитотеста и сравнивать их с нормальным математическим распределением, характерным для нормы реакции однородной по генотипу совокупности растений на фоне стабильных условий культивирования. В качестве тест-объекта использованы семена пшеницы *Triticum durum*. Тестированию подвергались почвы, обработанные биопрепаратами «Флора-С», «Фитоп-Флора-С» в комбинации с природными цеолитами. Выдвинута гипотеза: факторы, вызывающие нормализацию распределения морфометрических признаков проростков в фитотесте, способствуют сохранению генофонда и полной реализации репродуктивного потенциала популяции. Новый метод тестирования основан на использовании авторской компьютерной матрицы на основе MS Excel и статистических критериев. Валидность метода определялась по корреляции рангов, полученной при обобщении признаков оптимизации условий культивирования в лабораторных и полевых опытах. Показана высокая валидность метода, выделены статистические показатели, позволяющие дать объективную оценку математическим характеристикам совокупности растений.

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Ключевые слова: биотестирование, плодородие почв, биопрепараты, агроэкоценозы.

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Гарипова Р.Ф., Столповских А.Е. Определение валидности метода биотестирования факторов окружающей среды в экспериментах с применением биопрепаратов и природного цеолита // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 2. С. 176–200. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200.

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200

R.F. Garipova, A.E. Stolpovsky

Orenburg State Agrarian University,
Orenburg, 460014, Russian Federation

Determination of validity of the biotesting method of environmental factors in experiments with the use of biological preparationson the basis of *Bacillus subtillis* and natural zeolite

Approbation of a new method of soil fertility testing is given in the article. To identify the biological activity of soils, it is proposed to take into account the morphometric reactions of the phytotest and to compare them with the normal mathematical distribution characteristic of the rate of reaction of a plant population homogeneous in genotype against stable cultivation conditions. Seeds of *Triticum durum* are used as a test object. The soils processed by biological preparations: Flora-S, Fitop-Flora-S in a combination with natural zeolites were tested. A hypothesis is put forward: factors that cause the normalization of the distribution of morphometric characteristics of seedlings in the phytotest contribute to the conservation of the gene pool and the full realization of the reproductive potential of the population. The new testing method is based on the use of the authorial computer matrix based on MS Excel and statistical criteria. The validity of the method was determined by the correlation of ranks obtained by summarizing the signs of optimization

of cultivation conditions in laboratory and field experiments. The article points out high validity of the method, and the statistical indicators that allow an objective assessment of the mathematical characteristics of the plant population.

Key words: biotesting, soil fertility, biological preparations, agroecocoenosis.

CITATION: Garipova R.F., Stolpovsky A.E. Determination of validity of the biotesting method of environmental factors in experiments with the use of biological preparation on the basis of *Bacillus subtillis* and natural zeolite. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. № 2. Pp. 176–200. DOI: 10.31862/2500-2961-2019-9-2-176-200.

Один из приемов экологизации современного сельскохозяйственного производства предполагает использование новаторских технологий обогащения почв бактериальными препаратами, обладающими антагонистическим действием по отношению к фитопатогенной микрофлоре. В литературе популярно представлена необходимость применения биологически активных веществ, в том числе микробного происхождения, для стимуляции фитоиммуных реакций [Мельников, Колесников, Базыкина, 2016]. Применение таких препаратов обосновано тем, что все растения поддерживают в своих тканях эпифитные и эндофитные комплексы микроорганизмов, отличающиеся от почвенных по таксономической структуре [Структура и функции бактериальных сообществ…, 2016], а в условиях агроценозов утрата таких комплексов наиболее вероятна, но нежелательна.

Последовательное осуществление динамического моделирования почв и экосистем позволяет наиболее корректно проводить анализ и обобщение данных о содержания органического вещества почв [Чертов, Комаров, 2013]. Для моделирования продуктивной агроэкосистемы требуется учет факторов оптимизации для устойчивого развития полезной микробиоты в почвах. Одним из таких факторов, по нашему мнению, является обогащение почв синтетическими и природными цеолитами, которые обладают уникальными свойствами адсорбции водных растворов и пролонгированной ее отдачи в окружающую среду. Цеолиты в настоящее время получают применение в составе некоторых минеральных удобрений и кормовых добавок [Способ повышения плодородия..., 2004; Применение природных цеолитов…, 2007]. С нашей точки зрения, цеолиты целесообразно использовать и для снижения концентрации различных продуктов химизации в почвах сельскохозяйственных угодий и коррекции водно-воздушного режима почв, что актуально применительно к условиям Оренбуржья. Оптимизация почвенной среды

невозможна без участия основного звена агроэкоценоза – растений. Актуальная для производства растениеводческой продукции биоактивация почв предполагает насыщение почвы, прежде всего, факторами плодородия и деструкции пестицидного загрязнения. При этом классическое определение биологической активности почв по целлюлозоразлагающему эффекту отходит на второй план, и важное значение приобретает реакция растений-фитотестов на обогащение корнеобитаемого слоя живой микробной культурой.

В основе настоящей работы лежит идея тестирования плодородия почв по характерной реакции однородной по генотипу популяции растений пшеницы на оптимизацию почвенных условий. Так как любое сообщество растений природного или искусственного происхождения в оптимальных условиях среды обеспечивает высокую репродукцию потомства, подчиняется стабилизирующему отбору, нами предложена следующая гипотеза: факторы, вызывающие нормализацию распределения морфометрических признаков проростков в фитотесте, способствуют сохранению генофонда и полной реализации репродуктивного потенциала популяции. При этом нами разработана компьютерная матрица на базе приложения MS Excel, которая позволяет по морфометрическим показателям проростков пшеницы строить графики распределения признака роста и развития растений на фоне действия препарата, а также дает описание всех статистических критериев анализируемой совокупности наблюдений.

Целью проведенных исследований являлось определение валидности метода фитотестирования почв, выявление целесообразности применения изучаемых биопрепаратов и природных цеолитов для оптимизации культивирования пшеницы. Для ее решения поставлены следующие задачи:

1) проведение биотестирования почв, подвергшихся обработке биопрепаратами и природным цеолитом, на проростках пшеницы;

2) определение приоритетных вариантов обработки почв по результатам фитотестирования и по массе зерна, полученной в полевом эксперименте, а также выявление валидности предложенного метода для прогнозирования оптимизации условий культивирования пшеницы.

Методика

В качестве факторов, повышающих биологическую активность почв, применили: бактериальный препарат «Фитоп-Флора-С» на основе *Bacillus subtilis* (штамм ВКПМ B7048) и препарат «Флора-С», представляющий собой высококонцентрированную смесь биологически

активных веществ, выделенных из экологически чистого сырья природного происхождения, сбалансированных по макро- и микроэлементам, с высоким содержанием гуминовых кислот [Косачев, 2014; Боярский, 2015]. В качестве фактора, позволяющего улучшить физико-химические и, косвенно, биологические свойства почв, применили природный цеолит, поставляемый ООО «Терравит» (Волгоград). В соответствии с прилагаемой документацией к сертификату соответствия товара, природный цеолит характеризовался физико-химическими свойствами, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства природного цеолита [Physical-chemical properties of natural zeolite]

Наименование показателя [Name of indicator]	**Значение показателя [Indicator value]**
Внешний вид [Appearance]	Мелкозернистая крошка светло-серого, серого цвета [Fine-grained crumb of light gray, gray color]
Массовая доля влаги, %, не более [Mass fraction of moisture, %, no more]	12
Крупность помола [Grinding size]	Менее 1,0 мм
Содержание целевой фракции, %, не менее [The content of the target fraction, %, not less]	90
Наличие металломагнитных примесей с острыми краями [The presence of metal-magnetic impurities with sharp edges]	Нет
Массовая доля содержания оксидов, % [Mass fraction of oxide content, %]:	
– SiO_2	84–86
– MgO	До 1
– Fe_2O_3	1,0–1,56
– CaO	0,8–1,0
– K_2O	0,9–1,2
– Na_2O	До 0,5
– Al_2O_3	3,8–4,15
– TiO_2	0,1–0,2
Другие элементы присутствуют в незначительных количествах [Other elements are present in minor amounts]	

Окончание табл. 1

Наименование показателя [Name of indicator]	**Значение показателя [Indicator value]**
Массовое содержание клиноптилолита, %, не менее [Mass content of clinoptilolite,%, not less]	80
Массовое содержание монтмориллонита, %, не менее [Mass content of montmorillonite, %, not less]	12–20

Полевые испытания действия препаратов проводили на опытных участках площадью 20 м^2 в трех повторностях, расположенных рандомизированно на территории крестьянского фермерского хозяйства (КФК) Вертелецкого Н.В. Оренбургской области, Пономарёвского района, пос. Река Дёма. Почвы характеризовались как черноземы обыкновенные.

Варианты опыта: контроль (без внесения препаратов); цеолит; «Фитоп-Флора-С»; «Фитоп-Флора-С» + цеолит; «Флора-С»; «Флора-С» + цеолит. Внесение биопрепаратов и цеолитов в почвы проводили по рекомендациям производителей: для «Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» – 350 мл жидкого концентрата, для природных цеолитов – 6 кг на 100 м² увлажненной почвы. Усредненные образцы отобранных с экспериментальных участков почв сушили до воздушно-сухого состояния, просеивали.

В качестве биотеста использовали семена твердой яровой пшеницы (*Triticum durum*) сорта Безенчукская-205. Растения проращивали в стерильных стеклянных лабораторных стаканах на увлажненном почвенном субстрате. В каждый стакан высевали по 50 семян, опыт проводили в трех повторностях. Изменчивость в характере роста растений оценивали по трем морфометрическим признакам проростков: длина стебля, длина колеоптиля, масса стебля. Учитывали число проросших семян для определения всхожести по стандартной методике. В анализе применили графическое описание распределения морфометрических признаков и сравнивали статистические параметры генеральной совокупности растений [Гарипова, 2009; Гарипова, Корнеева, 2014]. Для статистической обработки данных использовали *t*-критерий Стъюдента и критерий Фишера.

Валидность метода выявляли при помощи метода ранговой корреляции по Спирмену между показателями массы семян, полученной в полевых испытаниях, и баллами по результатам биотестирования.

Ранжирование вариантов по количеству набранных баллов по признакам оптимизации графиков распределения и статистических параметров проводили по критериям: 1 – форма кривой распределения; 2 – предельные значения интервалов; 3 – среднее значение показателя; 4 – эксцесс распределения; 5 – асимметрия распределения; 6 – коэффициент вариации признака; 7 – всхожесть семян. При этом признаки оптимизации по вышеуказанным показателям выявляли относительно контрольных величин, балл добавлялся к сумме баллов по каждому критерию только в случае отклонения показателя в сторону улучшения признака; в противоположном случае – изменение не учитывалось.

Результаты и обсуждение

Фитоп-Флора-С и его комбинации с цеолитом

Графики фактического распределения по показателю – длина стебля – во всех вариантах характеризовались одновершинностью. Однако мы наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения признака в сторону меньших величин относительно контроля в вариантах: цеолит (от 324 в контроле до 225 мм), «Фитоп-Флора-С» + цеолит (до 269 мм), «Фитоп-Флора-С» (до 286 мм). Во всех вариантах выявлено статистически достоверное уменьшение средней длины стебля относительно контрольных величин на 8, 34 и 12% (рис. 1). Следовательно, фактор вызывал ингибирование линейного роста проростков. Коэффициент вариации относительно контроля в варианте цеолит не изменился, в вариантах «Фитоп-Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» + цеолит незначительно увеличился, вариабельность признака оценивалась как большая (более 21%). Значение эксцесса в варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит приблизилось к нулю, в вариантах цеолит и «Фитоп-Флора-С» имели положительные значения. Асимметрия во всех вариантах относительно контрольных значений отклонилось в сторону меньшей асимметрии. Таким образом, по данному показателю – длина стебля – во всех вариантах наблюдали тенденцию к стабилизирующему отбору в популяции, на фоне подавления линейного роста.

Графики фактического распределения по показателю – длина колеоптиля – во всех вариантах характеризовались одновершинностью. Наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения признака – длина стебля – в сторону меньших величин относительно контроля в варианте цеолит (от 106,6 в контроле до 85,6 мм), в варианте «Фитоп-Флора-С» (до 79,4 мм), в варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит (до 83,9 мм).

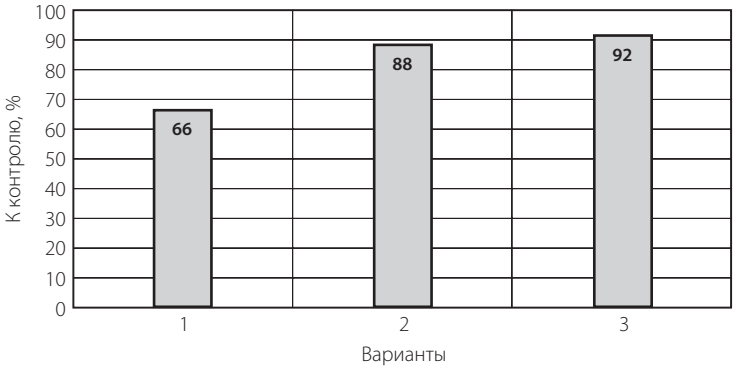

Рис. 1. Средняя длина стебля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 1. The average length of the stem to the control in options:
1 – zeolite; 2 – "Fitop-Flora-S"; 3 – "Fitop-Flora-S" + zeolite

Во всех вариантах выявлено статистически достоверное уменьшение длины колеоптиля относительно контрольных величин на 14, 16 и 25%, т.е. фактор вызывает ингибирование линейного роста колеоптиля (рис. 2). Коэффициент вариации в варианте цеолит и «Фитоп-Флора-С» + цеолит незначительно увеличился относительно контрольных величин, изменчивость признака в этих вариантах, так же как и в контроле, определена как большая вариабельность (более 21%), в варианте «Фитоп-Флора-С» коэффициент изменчивости уменьшился относительно контроля и вариабельность определена как значительная (более 11%). Значения эксцесса во всех вариантах имели положительные значения. Асимметрия кривых распределения во всех вариантах отклонялась в сторону больших величин, чем в контроле, трактовалась как крайне асимметричное распределение (более 0,5). Таким образом, по данному показателю – длина колеоптиля – оптимизация условий роста проростков относительно контроля не выявлена, все испытанные препараты вызывали подавление линейного роста колеоптиля.

Выявлено стимулирующее действие препарата Фитоп-Флора-С и его комбинации с природным цеолитом на формирование массы стебля, которое отразилось на диаграммах распределения существенным смещением интервалов фактического распределения признака – масса стебля относительно контроля вправо с увеличением крайних значений интервалов в варианте «Фитоп-Флора-С» (от 0,167 г в контроле до 0,180 г), в варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит (до 0,198 г), и с сокращением крайних значений интервалов в варианте цеолит (до 0,108 г относительно контроля).

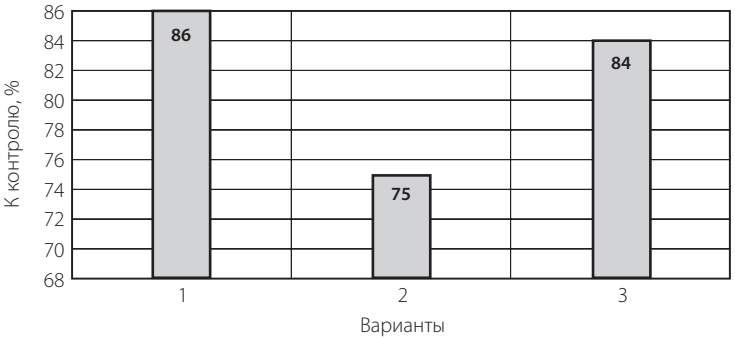

Рис. 2. Средняя длина колеоптиля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 2. The average length of coleoptile to control in the options:
1 – zeolite; 2 – "Fitop-Flora-S"; 3 – "Fitop-Flora-S" + zeolite

Графики фактического распределения в вариантах «Фитоп-Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» + цеолит приняли уплощенную форму относительно контрольных кривых. В варианте контроль + цеолит наблюдали двухвершинность распределения, что свидетельствует о признаках дестабилизации популяции. В варианте «Фитоп-Флора-С» + цеолит выявлено статистически достоверное увеличение массы стебля на 10%, в варианте «Фитоп-Флора-С» изменений массы стебля в сторону увеличения или уменьшения не наблюдалось. Относительно контрольных величин в варианте цеолит было выявлено статистически достоверное сокращение массы стебля на 50% (рис. 3). Коэффициент вариации относительно контроля в варианте цеолит незначительно уменьшился, а в вариантах «Фитоп-Флора-С» и «Фитоп-Флора-С» + цеолит увеличился, при этом все значения коэффициента вариации соответствуют значениям большой изменчивости (более 21%). Эксцесс в контроле отсутствует (менее 0,2), в вариантах цеолит и «Фитоп-Флора-С» + цеолит имел отрицательные значения и определяется как заметный, но небольшой (менее 1); в варианте «Фитоп-Флора-С» имел положительное значение. Значение асимметрии кривых распределения во всех вариантах относительно контроля менялись незначительно, оценивается как умеренная асимметрия в вариантах контроль, «Фитоп-Флора-С», «Фитоп-Флора-С» + цеолит; в варианте цеолит небольшая асимметрия (–0,14). Таким образом, по данному показателю оптимизация условий роста проростков выявлена только в варианте «Фитоп-Флора-С».

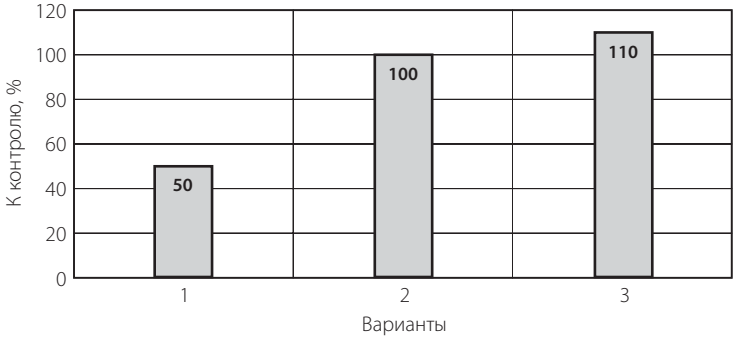

Рис. 3. Средняя масса стебля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 3. The average mass of the stem to control in the options:
1 – zeolite; 2 – "Fitop-Flora-S"; 3 – "Fitop-Flora-S" + zeolite

В целом по трем морфометрическим показателям в трех вариантах «Фитоп-Флора-С», «Фитоп-Флора-С» + цеолит, цеолит наблюдали статистически достоверное подавление линейного роста проростков, что отразилось в показателях средней длины стебля и колеоптиля; в варианте цеолит выявлено угнетение органообразования, что отслеживается на статистически значимых сокращениях значений всех трех показателей (табл. 2). По показателю «длина колеоптиля» оптимизация условий роста проростков не выявлена. F-критерий Фишера в предлагаемом тесте используется для подтверждения или отклонения стабилизирующего действия фактора. По показателю «длина стебля» в вариантах «Фитоп-Флора-С», «Фитоп-Флора-С» + цеолит, а также по показателю «масса стебля» в варианте «Фитоп-Флора-С» признаки стабилизирующего отбора, выявленные по графикам распределения и значениям эксцесса и асимметрии, не получили статистического подтверждения по F-критерию (табл. 2).

Значения всхожести относительно контроля во всех вариантах статистически не отличались (рис. 4). Сравнивая результаты морфогенетической оценки и всхожести семян относительно контроля, можно сделать заключение об отсутствии токсического действия почв, в которые вносились препараты «Фитоп-Флора-С» или его комбинации с цеолитом, а также о регуляторном действии изученных субстратов, ведущему к подавлению апикального доминирования в морфогенезе пшеницы, что может являться основой адаптивных реакций растений.

ISSN 2500-2961

Таблица 2

Средние значения морфометрических показателей проростков и критериев значимости их различий в опыте с препаратом «Фитоп-Флора-С» и цеолитом [Average values of morphometric indicators of seedlings and criteria for the significance of their differences in the experience with “Fitop-Flora-S” and zeolite]

Вариант [Option]	Длина стебля, мм [Stem length, mm]	Критерии [Criteria]		Длина колеоптиля, мм [Coleoptile length, mm]	Критерии [Criteria]		Масса стебля, г [The mass of the stem, g]	Критерии [Criteria]	
		t**	F***		t	F		t	F
Контроль [Option]	191,47 ± 8,60*	–	–	63,09 ± 2,31	–	–	0,10 ± 0,002	–	–
Цеолит [Zeolite]	125,55 ± 5,61	12,62	2,42	54,19 ± 2,64	4,41	1,28	0,05 ± 0,002	22,36	1
«Фитоп-Флора-С» [“Fitop-Flora-S”]	167,78 ± 8,57	3,83	1,0	47,63 ± 1,58	9,02	3,48	0,10 ± 0,006	0	1
«Фитоп-Флора-С» + цеолит [“Fitop-Flora-S” + zeolite]	178,63 ± 8,83	2,30	0,87	50,78 ± 2,00	4,49	0,76	0,11 ± 0,004	2,24	2

* Доверительные интервалы среднего значения при p = 0,05; ** $t_{табл}$ = 1,96; *** $F_{табл}$ = 1,21.
[* Confidence intervals of the average value at p = 0.05; ** t_{table} = 1.96; *** F_{table} = 1.21.]

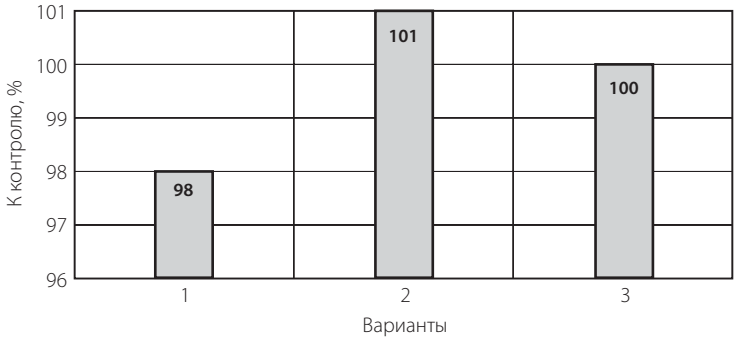

Рис. 4. Всхожесть семян в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Фитоп-Флора-С»; 3 – «Фитоп-Флора-С» + цеолит

Fig. 4. Seed germination in options:
1 – zeolite; 2 – "Fitop-Flora-S"; 3 – "Fitop-Flora-S" + zeolite

Флора-С и его комбинации с цеолитом

Графики фактического распределения по показателю «длина стебля» характеризовались одновершинностью во всех вариантах. При этом наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения во всех вариантах относительно контроля в сторону больших величин в вариантах цеолит (от 239 в контроле до 282 мм), «Флора-С» (до 292 мм), «Флора-С» + цеолит (до 264 мм). Во всех вариантах выявлено статистически достоверное увеличение средней длины стебля относительно контрольных величин на 9, 14 и 22% (рис. 5). Коэффициент вариации во всех вариантах характеризовался как большая степень изменчивости (более 21%). Относительно контрольных значений вариабельность оказалась выше в вариантах «Флора-С» (на 8%), цеолит (на 6%). В варианте «Флора-С» + цеолит вариабельность не изменилась. Эксцесс практически отсутствовал в вариантах цеолит, «Флора-С» + цеолит (менее 0,2), в варианте «Флора-С» характеризовался как небольшой, но заметный (менее 1), в контроле – небольшой (менее 0,5). Асимметрия слабая отмечалась в варианте «Флора-С» + цеолит. В остальных вариантах выявлена умеренная асимметрия. По данному показателю (длина стебля) наблюдали стимуляцию стеблевого органогенеза относительно контроля во всех вариантах; оптимизация условий культивирования по графикам распределения и по значениям эксцесса и асимметрии выявлена в варианте «Флора-С» + цеолит.

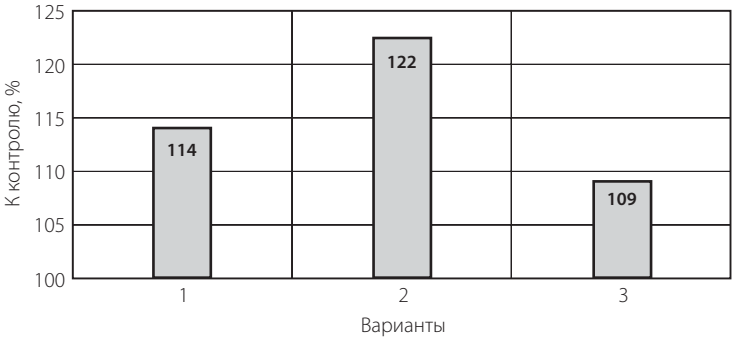

Рис. 5. Средняя длина стебля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 5. The average length of the stem to the control in the options:
1 – zeolite; 2 – "Flora-S"; 3 – "Flora-S" + zeolite

Графики фактического распределения по показателю «длина колеоптиля» характеризовались одновершинностью во всех вариантах. При этом наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения во всех вариантах относительно контроля в сторону больших величин в вариантах цеолит (от 88,7 в контроле до 96,4 мм), «Флора-С» (до 103,7 мм) и незначительно в варианте «Флора-С» + цеолит (до 96,8 мм). В вариантах «Флора-С» + цеолит и «Флора-С» выявлено статистически достоверное увеличение длины колеоптиля на 9 и 15% относительно контроля, в варианте цеолит длина колеоптиля сократилась более чем на 6% (рис. 6).

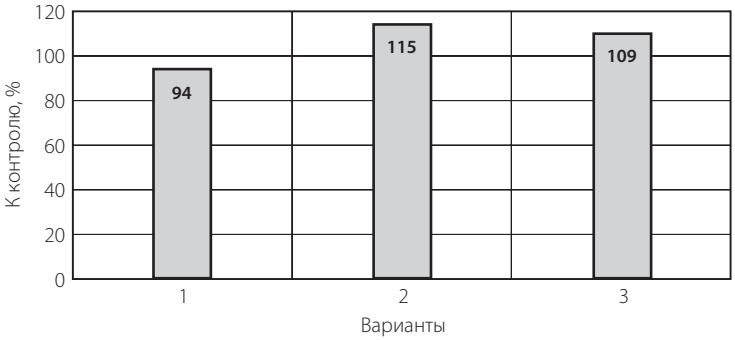

Рис. 6. Средняя длина колеоптиля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 6. The average length of the coleoptile to control in the options:
1 – zeolite; 2 – "Flora-S"; 3 – "Flora-S" + zeolite

Коэффициент вариации во всех вариантах был идентичен контролю или изменялся несущественно (±4%). Эксцесс практически отсутствовал в варианте «Флора-С» + цеолит, цеолит (менее 0,2), в варианте «Флора-С» имел положительное значение. В контроле эксцесс характеризовался как небольшой, но заметный. Слабая асимметрия выявлена в варианте цеолит и в контроле (менее 0,25); умеренная асимметрия – в варианте «Флора-С» + цеолит (менее 0,5); крайне асимметричное распределение – в варианте «Флора-С» (более 0,5). Таким образом, по данному признаку (длина колеоптиля) стимуляция роста колеоптиля выявлена в вариантах «Флора-С», «Флора-С» + цеолит, дестабилизации органогенеза не выявлено. Признаки оптимизации условий культивирования по графикам распределения, значениям эксцесса и асимметрии выражены в варианте цеолит.

Графики фактического распределения по показателю «масса стебля» во всех вариантах характеризовались одновершинностью и некоторой уплощенностью. При этом наблюдали смещение крайних правых интервалов фактического распределения во всех вариантах относительно контроля в сторону больших величин в вариантах цеолит (от 0,119 в контроле до 0,148 г), «Флора-С» (до 0,139 г) и «Флора-С» + цеолит (до 0,128 г). В варианте цеолит выявлено статистически достоверное увеличение массы стебля на 14%, в варианте «Флора-С» + цеолит средние значение массы стебля сократилось на 14%. Изменений в варианте «Флора-С» относительно контроля не наблюдалось (рис. 7). Коэффициент вариации во всех вариантах относительно контроля увеличился, что свидетельствует о повышении чувствительности растений к факторам среды. Относительно контроля в варианте «Флора-С» эксцесс приобрел положительное значение, в остальных вариантах существенно не менялся и соответствует небольшому, но заметному эксцессу. Относительно контрольных значений асимметрия в варианте «Флора-С» отклонилась в сторону большей асимметрии, в вариантах цеолит и «Флора-С» + цеолит снизилась, но незначительно, соответствует умеренной асимметрии. По графикам, эксцессу и асимметрии оптимизация значений в данных вариантах не выявлена. По данному показателю (масса стебля) стимуляция формирования фотосинтезирующей массы выявлена в варианте цеолит, масса не изменилась или сократилась в вариантах с внесением препарата «Флора-С»; признаков оптимизации к условиям культивирования не выявлено.

В целом по трем морфометрическим показателям в вариантах «Флора-С», «Флора-С» + цеолит наблюдали усиление линейного роста проростков. По показателю «длина стебля» наблюдали статистически

значимую стимуляцию стеблевого органогенеза относительно контроля во всех вариантах по *t*-критерию (табл. 3), выявлена статистически значимая оптимизация условий культивирования по графикам распределения и по значениям эксцесса и асимметрии, а также по F-критерию в варианте «Флора-С» + цеолит; по показателю «длина колеоптиля» выявлена статистически значимая стимуляция роста колеоптиля в вариантах «Флора-С», «Флора-С» + цеолит (см. табл. 3) и не выявлены признаки дестабилизации органогенеза; по показателю «масса стебля» статистически значимая стимуляция выявлена в варианте цеолит. По F-критерию удалось определить статистическую значимость изменчивости длины стебля относительно контроля во всех опытных вариантах; по длине колеоптиля и массе стебля статистически значимые различия в дисперсиях признака не выявлены.

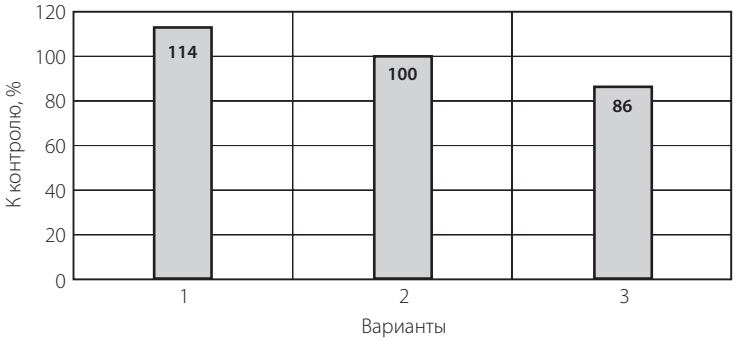

Рис. 7. Средняя масса стебля к контролю в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 7. The average mass of the stem to control in the options:
1 – zeolite; 2 – "Flora-S"; 3 – "Flora-S" + zeolite

Средние значения всхожести семян пшеницы сорта Безенчукская 205 в вариантах «Флора-С» + цеолит, цеолит были значительно снижены относительно контроля на 8 и 12% соответственно (рис. 8).

Сравнивая результаты морфогенетической оценки и всхожести семян относительно контроля, можно сделать заключение о том, что почвы, в которые вносили цеолит или препарат «Флора-С» совместно с цеолитом, сочетали токсическое действие со стимулирующим линейный рост проростков, которое сопровождалось снижением фотосинтезирующей массы проростков, что свидетельствует о регуляторном действии изученных субстратов, ведущему к усилению апикального доминирования в морфогенезе пшеницы.

Таблица 3

Средние значения морфометрических показателей проростков и критериев значимости их различий в опыте с препаратом «Флора-С» и цеолитом [Average values of morphometric indicators of seedlings and criteria for the significance of their differences in the experience with the preparation “Flora-S” and zeolite]

Вариант [Option]	Длина стебля, мм [Stem length, mm]	Критерии [Criteria]		Длина колеоптиля, мм [Coleoptile length, mm]	Критерии [Criteria]		Масса стебля, г [The mass of the stem, g]	Критерии [Criteria]	
		t	F		t	F		t	F
Контроль [Option]	131,61 ± 5,46	–	–	49,56 ± 2,45	–	–	0,07 ± 0,002	–	–
Цеолит [Zeolite]	149,44 ± 8,24	3,54	2,10	45,85 ± 2,42	1,68	1,07	0,08 ± 0,002	3,54	1
«Флора-С» [“Flora-S”]	159,91 ± 9,28	5,21	2,65	56,91 ± 2,79	3,89	1,19	0,07 ± 0,001	0	1
«Флора-С» + цеолит [“Flora-S” + zeolite]	142,95 ±6,56	2,64	1,21	54,22 ± 2,48	2,63	0,87	0,06 ± 0,002	3,54	1

* Доверительные интервалы среднего значения при p = 0,05; ** $t_{табл}$ = 1,96; ***$F_{табл}$ = 1,21.

[* Confidence intervals of the average value at p = 0.05; ** t_{table} = 1.96; *** F_{table} = 1.21.]

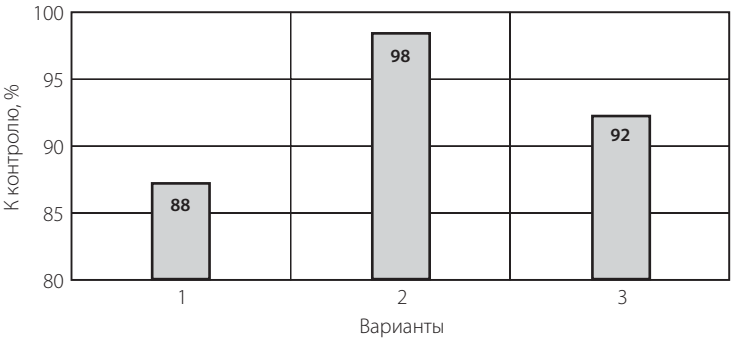

Рис. 8. Всхожесть семян в вариантах:
1 – цеолит; 2 – «Флора-С»; 3 – «Флора-С» + цеолит

Fig. 8. Seed germination in options:
1 – zeolite; 2 – "Flora-S"; 3 – "Flora-S" + zeolite

Схема интерпретации результатов, примененная для проведения ранжирования вариантов по результатам фитотестирования, представлена в табл. 5.

Ранжирование вариантов по количеству набранных баллов по признакам оптимизации графиков распределения и статистических параметров показало преимущество следующих вариантов относительно контроля: «Фитоп-Флора-С», «Флора-С», «Флора-С» + цеолит, цеолит (табл. 6).

Валидность метода определялась по корреляции результатов полевых и лабораторных испытаний. По итогам вычисления ранговой корреляции по Спирмену между признаками «сумма баллов по результатам фитотестирования» и «масса зерна, полученная в полевом опыте», получена положительная высокая зависимость. Пример проведения корреляционного анализа показан в табл. 7.

Заключение

По итогам проведенного эксперимента по апробации нового метода биотестирования на основе тест-объекта пшеницы твердой *Triticum durum* сорта Безенчукская-205 показана эффективность применения лабораторных методов экспресс-диагностики влияния биопрепаратов на ростовые процессы растений. Метод перспективен для предварительной оценки токсического или адаптогенного действия новых препаратов сельскохозяйственного значения, внедряемых в агротехнологии, и представляет ценность как способ выделения факторов оптимизации агрофитоценозов и целенаправленного моделирования агроэкосистем.

Таблица 5

Принцип анализа графиков и статистических показателей
[The principle of analysis of graphs and statistical indicators]

Критерии	Выводы	Пояснения
Форма кривой распределения относительно контроля: а) одновершинные; б) двувершинные, уплощенные, многовершинные	Фактор вызывает: а) стабилизирующий отбор; б) дизруптивный или селективный отбор	Оптимизация условий культивирования растений происходит при стабилизирующем отборе в популяции. Дизруптивный или селективный отбор свидетельствуют о наличии лимитирующего фактора, разрушающего генофонд популяции
Предельные значения интервалов изменяются: а) в сторону возрастания б) в сторону убывания	Фактор вызывает: а) стимуляцию ростовых процессов; б) ингибирование ростовых процессов	Стимуляция ростовых процессов растений может свидетельствовать о способности испытуемых препаратов усиливать органогенез на основе повышения скорости клеточного деления или в результате детоксикации среды. Ингибирование ростовых процессов возникает при токсическом или регуляторном действии вещества. Для выявления регуляторного действия фактора сравнивают соотношение показателей массы и длины стебля относительно этих соотношений в контроле
Среднее значение показателей длины стебля, колеоптиля, массы стебля изменяются: а) в сторону возрастания; б) в сторону убывания	Фактор вызывает: а) стимуляцию ростовых процессов; б) ингибирование ростовых процессов	Стимуляция или ингибирование ростовых процессов подтверждаются сравнением средних значений показателей для выявления статистической достоверности различий по *t*-критерию Стьюдента
Эксцесс-распределение изменяется относительно контрольных значений: а) приближается к нулю, приобретает положительные значения; б) приобретает отрицательные значения	Фактор вызывает: а) стабилизирующий отбор; б) дизруптивный или селективный отбор	Оптимизация условий культивирования подтверждается, если эксцесс в контроле менее –0,2 или приобретает положительные значения. Характеризуются как умеренный (при значениях от –0,2 до –0,4); небольшой (от 0,5 до –1); существенный (более –1); недопустимый для однородной популяции (–2 и большие величины отрицательных значений)

ISSN 2500-2961

Окончание табл. 5

Критерии	Выводы	Пояснения
Асимметрия распределения изменяется относительно контрольных значений: а) приближается к нулю; б) отклоняется в сторону большей асимметрии	Фактор вызывает: а) стабилизирующий отбор; б) дизруптивный или селективный отбор	При стабилизирующем отборе значения асимметрии приближаются к нулю относительно контроля, при дизруптивном или селективном отборе асимметрия усиливается: $A_s < 0,25$ – слабая асимметрия; $A_s = –0,25–0,5$ – умеренная асимметрия; $A_s > 0,5$ – крайне асимметричное распределение
Коэффициент вариации признака изменяется относительно контрольных значений: а) в сторону возрастания; б) в сторону убывания	Фактор: а) повышает чувствительность популяции к факторам среды (сенсибилизацию) б) не вызывает сенсибилизацию к факторам среды	При оптимизации условий культивирования вариабельность признаков снижается, что является признаком стабилизирующего влияния фактора на популяцию. Градация для анализа коэффициента вариации: до 5% – слабая изменчивость; 6–10% – умеренная; 11–20% – значительная; 21–50% – большая; более 50% – очень большая. F-критерий Фишера используется для подтверждения или отклонения стабилизирующего действия фактора

Таблица 6

Пример ранжирования вариантов по количеству набранных баллов по результатам фитотестирования [Example of ranking options according to the number of points scored according to the results of phytotesting]

Критерии [Criteria]* / Варианты [Options]	Длина стебля [Stem length]						Длина колеоптиля [Coleoptile length]						Масса стебля [The mass of the stem]						Всхожесть [Germination]	Σ
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
«Фитоп-Флора-С» [“Fitop-Flora-S”]	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	12
«Фитоп-Флора-С» + цеолит [“Fitop-Flora-S” + zeolite]	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	9
«Флора-С» [“Flora-S”]	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	13
«Флора-С» + цеолит [“Flora-S” + zeolite]	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	13
Цеолит [Zeolite]	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	12

* Критерии: 1 – форма кривой распределения; 2 – предельные значения интервалов; 3 –среднее значение показателя; 4 – эксцесс распределения; 5 – асимметрия распределения; 6 – коэффициент вариации признака. []

ISSN 2500-2961

Таблица 7

Значения ранговой корреляции по Спирмену между признаками «сумма баллов по результатам фитотестирования» и «масса зерна, полученная в полевом опыте» [The values of the rank correlation according to Spearman between the signs “the sum of points according to the results of phytotesting” and “the mass of grain obtained in the field experiment”]

Варианты [Options]	∑ баллов по результатам фитотестирования [∑ points according to the results of phytotesting]			Масса зерна, полученная по результатам полевых испытаний [Grain mass obtained from field tests]		
	Повторности [Repetitions]			Повторности [Repetitions]		
	1	2	3	1	2	3
«Флора-С» [“Flora-S”]	13 (1,5)*	12 (1,5)	13 (1,5)	554 (1)	407(2)	420 (1)
«Флора-С» + цеолит [“Flora-S” + zeolite]	13 (1,5)	12 (1,5)	13 (1,5)	436 (2)	440 (1)	417 (2)
Цеолит [Zeolite]	12 (3,5)	11 (3,5)	12 (3,5)	246 (4)	402 (3)	355 (5)
«Фитоп-Флора-С» [“Fitop-Flora-S”]	12 (3,5)	11 (3,5)	12 (3,5)	267(3)	351 (4)	398 (3)
«Фитоп-Флора-С» + цеолит [“Fitop-Flora-S” + zeolite]	9 (5)	7 (5)	8 (5)	237 (5)	305 (5)	374 (4)

Среднее значение корреляции [The average value of the correlation]	0,90
Достоверность коэффициента корреляции [Reliability of the correlation coefficient]	1,80
t-критерий при $p \geq 99\%$ [t-criterion at $p \geq 99\%$]	5,84

В скобках указаны ранги, использованные при вычислении ранговой корреляции по Спирмену.
[The brackets indicate the ranks used in calculating the Spearman rank correlation.]

По результатам проведенной исследовательской работы можно сделать следующие выводы.

1. Анализ корреляции между результатами лабораторных данных и полевых испытаний показал высокую валидность изученного метода фитотестирования, что позволяет использовать его для прогнозирования эффективности применения препаратов в сельскохозяйственном производстве. Корреляция между значениями суммы баллов по результатам фитотестирования и массой зерна, полученной в полевом опыте, характеризовалась как высокая и составляла 0,9.

2. Варианты «Флора-С», «Флора-С» + цеолит, цеолит, «Фитоп-Флора-С» выделены как перспективные для внедрения в агротехнологии возделывания яровой пшеницы, т.к. по данным фитотестирования на способность оптимизировать условия культивирования растений эти варианты показали наивысшие баллы (12–13 из 19 возможных).

Библиографический список / References

Гарипова Р.Ф. Анализ эффектов последействия в фитотестах при микроэлементном загрязнении окружающей среды // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 2. С. 305–308. [Garipova R.F. Aftereffect analysis in phytotests of environment polluted with microelements. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2009. № 2. Pp. 305–308.]

Гарипова Р.Ф. Метод биотестирования вод, почв, подверженных техногенному загрязнению // Проблемы региональной экологии. 2009. № 5. С. 112–117. [Garipova R.F. Method for biological testing of pollutions of water, soil. *Problemy regionalnoj ekologii*. 2009. № 5. Pp. 112–117.]

Гарипова Р.Ф., Корнеева Ю.А. Прогнозирование экологической безопасности применения химических и биологических фунгицидов при возделывании пшеницы на учебно-опытном поле ОГАУ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4. С. 153–158. [Garipova R.F., Korneeva Yu.A. Prediction of ecological safety of chemical and biological fungicides application in wheat cultivation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. № 4. Pp. 153–158.]

Косачев И.А. Оценка влияния препаратов «Флора-С», «Фитоп-Флора-С» и анолита АНК на патогенную микрофлору почв в питомнике при выращивании саженцев облепихи // Агроэкология. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (111). С. 29. [Kosachev I.A. Evaluation of the effect of fertilizers “Flora C”, “Phytop-Flora C” and anolyte ANK on pathogenic soil microflora in a nursery when growing sea-buckthorn seedlings. *Agroekologiya. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. № 1 (111). Pp. 029–033.]

Мельников С.П., Колесников Л.Е. Базыкина А.Н. Влияние препаратов на основе гуминовых веществ и серебра на элементы структуры урожайности и устойчивость яровой мягкой пшеницы к болезням // Известия Санкт-

Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 43. С. 67–75. [Melnikov S.P., Kolesnikov L.E. Bazykina A.N. The impact of drugs on the basis of humic substances and silver elements on the structure and stability of yields of spring wheat disease. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. № 43. Pp. 67–75.]

Применение природных цеолитов в сельском хозяйстве / Резникова В.И., Болякина Г.К., Соколова Н.А. и др. М., 2007. Деп. в ВИНИТИ. ГРНТИ 34.39.57; 341.39.57.93.07.23. [Reznikova V.I., Bolyakina G.K., Sokolova N.A. et al. Application of natural zeolites in agriculture. Moscow, 2007. Deposited manuscript, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information RAS. 34.39.57; 341.39.57.93.07.23.]

Способ повышения плодородия почвы. Пат. РФ 2259032 / Худяков А.В., Сухотина Е.А., Клевайчук Н.И. и др. 23.03.2004. [The way to improve soil fertility. RF patent 2259032. Hudyakov A.V., Suhotina E.A., Klevajchuk N.I. et al. 23.03.2004.]

Структура и функции бактериальных сообществ в агроценозе / Добровольская М., Хуснетдинова К.А., Манучарова Н.А., Балабко П.Н. // Почвоведение. 2016. № 1. С. 79–86. [Dobrovolskaya M., Husnetdinova K.A., Manucharova N.A., Balabko P.N. The structure and functions of bacterial communities in agrocenosis. *Pochvovedenie*. 2016. № 1. Pp. 79–86.]

Сухой торфо-гуминовый препарат и способ его получения. Пат. РФ 0002543811 / Боярский Н.М. 10.03.2015. [Dry peat-humic preparation and method for preparing it. RF patent 0002543811. Boyarskiy N.M. 10.03.2015.]

Чертов О.Г., Комаров А.С. Теоретические подходы к моделированию динамики содержания органического вещества почв // Почвоведение. 2013. № 8. С. 937–946. [Chertov O.G., Komarov A.S. Theoretical approaches to modelling the dynamics of soil organic matter. *Pochvovedenie*. 2013. № 8. Pp. 937–946.]

Статья поступила в редакцию 20.02.2019, принята к публикации 1.04.2019
The article was received on 20.02.2019, accepted for publication 1.04.2019

Сведения об авторах / About the authors

Гарипова Розалия Фановна – доктор биологических наук; профессор кафедры агротехнологий, ботаники и селекции растений, Оренбургский государственный аграрный университет

Rosalia F. Garipova – Dr. Biol. Hab.; professor at the Department of Agricultural Technology, Botany and Plant Breeding, Orenburg State Agrarian University

ORCID: 0000-0002-8431-5661

E-mail: garipova-r@yandex.ru

Столповских Александра Евгеньевна – аспирант кафедры агротехнологий, ботаники и селекции растений, Оренбургский государственный аграрный университет

Alexandra E. Stolpovsky – PhD student at the Department of Agricultural Technology, Botany and Plant breeding, Orenburg State Agrarian University

E-mail: stolpovskih3355@bk.ru

Заявленный вклад авторов

Р.Ф. Гарипова – общее руководство исследованием, участие в подготовке текста статьи, анализ данных, подготовка рисунков и таблиц

А.Е. Столповских – обзор данных по исследованиям моделирования продуктивной агроэкосистемы, подготовка текста статьи, участие в подготовке рисунков и таблиц

Contribution of the authors

R.F. Garipova – general management of the research, participation in the preparation of the text of the article, data analysis, preparation of figures and tables

A.E. Stolpovskikh – review of data on studies of modeling a productive agroecosystem, preparation of the text of the article, participation in the preparation of figures and tables

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript