

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-16-31

EDN: GSUJSG

УДК 502/504


Научная статья / Research article

Экспериментальная оценка протекторных свойств гуминового препарата по отношению к культурным растениям в условиях солевого стресса

С.В. Гальченко , А.С. Чердакова  

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,

Рязань, Российская Федерация

 cerdakova@yandex.ru

Аннотация. В связи с широким распространением проблемы засоления почв всю большую актуальность приобретает вопрос повышения солеустойчивости культурных растений. Весьма перспективны в данном аспекте гуминовые вещества и препараты на их основе. Целью исследования являлась оценка влияния гуминовых препаратов на сельскохозяйственные культуры и газонные злаки в условиях солевого стресса. В лабораторных условиях оценивались протекторные свойства гуминового препарата «Экорост» по отношению к технической сельскохозяйственной культуре *Brassica rapa* L. и газонным злакам при воздействии солевого стресса, индуцированного избыточными концентрациями хлорида натрия и антигололедного реагента. Выявлено, что гуминовый препарат «Экорост» проявляет протекторные свойства по отношению к указанным тест-культурам в условиях искусственно смоделированного солевого стресса, что выражается в заметной стимуляции их всхожести и ростовых процессов. Во всех проведенных экспериментах наиболее действенным был 0,1 % водный раствор препарата «Экорост», что позволяет рекомендовать его в указанной дозировке для повышения солеустойчивости редьки масличной (*Brassica rapa* L.) и газонных злаков.

Ключевые слова: гуминовые препараты, культурные растения, солевой стресс, солеустойчивость растений, противогололедные реагенты

Вклад авторов. С.В. Гальченко осуществлялась разработка концепции исследования, общее руководство и контроль за выполнением исследовательских работ, анализ и интерпретация полученных данных; А.С. Чердаковой проведены экспериментальные исследования и осуществлена камеральная обработка, анализ и интерпретация полученных

данных с использованием отечественных и зарубежных научных литературных источников.


История статьи: поступила в редакцию 10.06.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.11.2023.

Для цитирования: Гальченко С.В., Чердакова А.С. Экспериментальная оценка протекторных свойств гуминового препарата по отношению к культурным растениям в условиях солевого стресса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 16–31. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-16-31>

Experimental evaluation of the protective properties of a humic preparation in relation to cultivated plants under salt stress

Svetlana V. Galchenko , Alina S. Cherdakova  

Ryazan State University named for S. Yesenin, Ryazan, Russian Federation

 cerdakova@yandex.ru

Abstract. In connection with the widespread problem of soil salinity, the issue of increasing the salt tolerance of cultivated plants is becoming increasingly important. In this aspect, humic substances and preparations based on them are very promising. The aim of the study was to evaluate the effect of humic preparations on agricultural crops and lawn cereals under salt stress. Under laboratory conditions, the protective properties of the humic preparation «Ekorost» were evaluated in relation to the industrial crop *Brassica rapa* L. and to lawn grasses under the influence of salt stress induced by excessive concentrations of sodium chloride and anti-icing agent. It was revealed that the humic preparation «Ekorost» exhibits protective properties in relation to the indicated test cultures under conditions of artificially simulated salt stress, which is expressed in a noticeable stimulation of their germination and growth processes. In all the experiments, the most effective was a 0.1% aqueous solution of the drug «Ekorost», which allows us to recommend it in the indicated dosage to increase the salt tolerance of oil radish (*Brassica rapa* L.) and lawn cereals.

Keywords: humic preparations, cultivated plants, salt stress, salt tolerance of plants, anti-icing reagents

Authors' contributions. *S. Galchenko* the development of the research concept, general management and control over the implementation of research work, analysis and interpretation of the data obtained were carried out; *A. Cherdakova* experimental studies were carried out and desk processing, analysis and interpretation of the data obtained were carried out using domestic and foreign scientific literary sources.

Article history: received 10.06.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.11.2023.

For citation: Galchenko SV, Cherdakova AS. Experimental evaluation of the protective properties of a humic preparation in relation to cultivated plants under salt stress. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):16–31. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-16-31>

Введение

Концентрация солей в окружающей среде является для растений одним из важнейших абиотических экологических факторов. Избыточные их дозы зачастую вызывают солевой стресс у растительного организма, лимитируя тем самым многие физиологические процессы. Одной из ключевых причин развития солевого стресса у растений выступает засоление почв, которому способствуют как естественные, так и антропогенные факторы. Среди последних главную роль в агроэкосистемах играют процессы орошения, а в урбоэкосистемах – использование противогололедных смесей на основе различных солей, среди которых хлориды.

С неблагоприятными последствиями солевого стресса у культурных растений связан целый ряд как экологических, так и социально-экономических проблем, в том числе изменение структуры агро- и урбоценозов, потеря значительной части урожая и снижение экологического потенциала городских зеленых насаждений. В этой связи возникает необходимость научного поиска средств повышения устойчивости сельскохозяйственных и декоративных культур к солевому стрессу.

Устойчивость растений к повышенному содержанию солей в почве является чертой видоспецифичной, генетически детерминированной и выступает результатом их эволюционного развития. Современные средства биотехнологии позволяют в определенной степени повысить устойчивость культур к действию неблагоприятных факторов окружающей среды, но, к сожалению, на данном этапе развития их возможности ограничены и экономически затратны.

По мнению ряда исследователей, в данном аспекте весьма перспективны природные физиологически активные соединения – гуминовые вещества и промышленные препараты на их основе [1–5]. Данное обстоятельство обусловлено тем фактом, что гуминовые препараты могут выступать источником питательных веществ, обладают гормоноподобной и антиоксидантной активностью, являются модификаторами ферментов и редокс-соединениями [6–7].

Однако в настоящее время в рамках вопроса использования препаратов на основе гуминовых веществ, в качестве адаптогенов культурных растений к солевому фактору, остается еще целый ряд малоизученных аспектов, среди которых реакция отдельных культур на препараты, оптимальные дозировки препаратов, перспективы их применения в отношении декоративных и сельскохозяйственных культур.

Цель исследования – оценка влияния гуминовых препаратов на сельскохозяйственные культуры и газонные злаки в условиях солевого стресса.

Материалы и методы

Исследования по реализации указанной цели включали в себя два лабораторных эксперимента, в рамках которых искусственно моделировался солевой стресс растений. В эксперименте № 1 оценивались протекторные свойства гуминового препарата по отношению к технической сельскохозяйственной культуре *Brassica rapa* L. в условиях влияния избыточных концентраций хлорида натрия, в эксперименте № 2 – протекторные свойства гуминового препарата по отношению к газонным злакам в условиях влияния избыточных концентраций хлорида натрия и антигололедного реагента.

Основным методом исследования служил метод биотестирования, а именно метод проростков, который широко используется для оценки физиологической и ростостимулирующей активности различных биологически активных веществ.

В качестве источника гуминовых веществ во всех экспериментах применялся промышленный гуминовый препарат «Экорост», полученный из низинного торфа по технологии гидродинамической кавитации, краткая характеристика которого представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика используемого в экспериментах гуминового препарата «Экорост»*

Показатели	Характеристика
Агрегатное состояние	Жидкое (раствор)
Сырье	Низинный торф
Технология получения	Гидродинамическая кавитация
pH, ед. pH	7,3
Сумма гуминовых и фульвовых кислот, г/л	70,0
Азот общий, г/л	2,8
Калий общий, г/л	5,8
Фосфор общий, г/л	0,01

*По данным производителя.

Источник: составлено авторами.

Table 1. Characteristics of the humic preparation «Ekorost» used in the experiments*

Indicators	Characteristic
State of aggregation	Liquid (solution)
Raw material	Low-lying peat
Production technology	Hydrodynamic cavitation
pH	7.3
The sum of humic and fulvic acids, g/l	70.0
Total nitrogen, g/l	2.8
Total potassium, g/l	5.8
Total phosphorus, g/l	0.01

*According to the manufacturer.

Source: compiled by the authors.

В лабораторном эксперименте № 1 в качестве тест-объекта использовалась техническая сельскохозяйственная культура – редька масличная (*Brassica rapa* L.). Выбор тест-объекта обусловлен высокой чувствительностью и отзывчивостью данной культуры к действию биологически активных

веществ уже на ранних этапах ее развития, ввиду чего она очень часто применяется в рамках биотестирования различных агропрепаратов¹.

В рамках эксперимента семена тест-культуры проращивались в чашках Петри в условиях искусственно смоделированного солевого стресса, где в качестве субстрата для проращивания использовали 0,15-молярный водный раствор хлорида натрия. На опытных вариантах дополнительно вносили 0,01, 0,1 и 1,0 % водные растворы гуминового препарата «Экорост». Ранее проведенный литературный анализ мирового научного опыта и результаты собственных исследований показывают, что именно в этих концентрациях гуминовые препараты в наибольшей степени проявляют защитные и ростостимулирующие свойства [2; 8; 9]. Контролем в эксперименте служили варианты с чашками Петри без внесения гуминового препарата. Повторность на всех вариантах эксперимента – четырехкратная. Схема лабораторного эксперимента № 1 представлена в табл. 2.

Таблица 2. Схема лабораторного эксперимента № 1 с редькой масличной (*Brassica rapa* L.)

№ п/п	Вариант эксперимента	Краткое условное обозначение
1.	Контроль: 0,15 М водный раствор NaCl	NaCl К
2.	0,15 М водный раствор NaCl + 0,01 % водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,01 ГП
3.	0,15 М водный раствор NaCl + 0,1 % водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,1 ГП
4.	0,15 М водный раствор NaCl + 1,0 % водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 1,0 ГП

Источник: составлено авторами.

Table 2. Scheme of laboratory experiment No. 1 with *Brassica rapa* L.

№	Experiment variant	Short designation
1.	Control: 0,15 molar water solution NaCl	NaCl C
2.	0,15 molar water solution NaCl + 0,01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.01 HP
3.	0,15 molar water solution NaCl + 0,1 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.1 HP
4.	0,15 molar water solution NaCl + 1,0 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 1.0 HP

Source: compiled by the authors.

Экспозиция всех вариантов эксперимента осуществлялась в течение 72 ч при постоянной температуре + 25 °С.

Интегральным показателем физиологического состояния растений и критерием благоприятности абиотических условий выступают ростовые процессы. В этой связи в качестве тест-реакции рассматривалась всхожесть семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.), рассчитанная как число

¹ ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений (дата введения 2011-01-01). М.: Стандартинформ, 2011. 33 с.

проросших семян, выраженное в % от общего количества семян, взятых для проращивания, а также средняя длина зародышевого корешка².

В лабораторном эксперименте № 2 в качестве тест-объекта использовалась газонная смесь «Евро-Универсал», состав которой представлен следующими злаками: овсяница красная (*Festuca rubra* L.) – 65 % смеси, райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) – 25 % смеси, мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – 10 % смеси. Перечисленные злаки наиболее часто применяются в практике озеленения как селитебных, рекреационных, так и промышленных, и транспортных функциональных зон городов. В этой связи указанные злаки в условиях урбоэкосистемы зачастую подвергаются воздействию высоких концентраций солей, входящих в состав противогололедных реагентов и накапливающихся в городских почвах за зимний период.

В рамках эксперимента семена тест-культуры проращивались в чашках Петри в условиях искусственно смоделированного солевого стресса. В качестве субстрата для проращивания на различных вариантах эксперимента применяли 10 % водные растворы хлорида натрия и антигололедного реагента «Бионорд-Универсальный», широко используемого многокомпонентного реагента для борьбы с наледью, в состав которого входят дихлорид кальция, хлорид натрия, биофильная и антикоррозионная добавки³.

Как и в первом эксперименте, на опытных вариантах дополнительно внесли 0,01, 0,1 и 1,0 % водные растворы гуминового препарата «Экорост». Контролем в эксперименте выступали варианты с чашками Петри без внесения гуминового препарата. Фоновым контролем служили чашки Петри с дистиллированной водой, без внесения солевых агентов и гуминовых препаратов. Повторность на всех вариантах эксперимента – четырехкратная. Схема лабораторного эксперимента № 2 представлена в табл. 3.

Экспозиция всех вариантов эксперимента осуществлялась в течение 10 сут. при постоянной температуре + 25 °С.

В качестве тест-реакции рассматривалась всхожесть семян газонных злаков, рассчитанная как число проросших семян, выраженное в % от общего количества семян, взятых для проращивания.

Статистическая обработка всех полученных экспериментальных данных проводилась с использованием приложения Microsoft Office Excel и программного пакета Statistica.

² ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений (дата введения 2019-09-13). М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.

³ Паспорт безопасности проивогололедного материала «Бионорд-Универсальный». URL: https://bionord.store/upload/iblock/c79/_-.pdf?ysclid=llfa5kgw81797037646 (дата обращения: 17.08.2023).

Таблица 3. Схема лабораторного эксперимента № 2 с газонными злаками

№ п/п	Вариант эксперимента	Краткое условное обозначение
Экспериментальная линия с водным раствором NaCl		
1.	<i>Фоновый контроль:</i> дистиллированная вода	ФК
2.	<i>Контроль:</i> 10 % водный раствор NaCl	NaCl К
3.	10 %-й водный раствор NaCl + 0,01 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,01ГП
4.	10 %-й водный раствор NaCl + 0,1 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,1ГП
5.	10 %-й водный раствор NaCl + 1,0 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 1,0 ГП
6.	10 %-й водный раствор NaCl + 0,01 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,01ГП
Экспериментальная линия с водным раствором антигололедного реагента «Бионорд-Универсальный»		
7.	<i>Фоновый контроль:</i> дистиллированная вода	ФК
8.	<i>Контроль:</i> 10 % водный раствор «Бионорд-Универсальный»	БУ К
9.	10 %-й водный раствор «Бионорд-Универсальный» + 0,01 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	БУ 0,01ГП
10.	10 %-й водный раствор «Бионорд-Универсальный» + 0,1 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	БУ 0,1ГП
11.	10 %-й водный раствор «Бионорд-Универсальный» + 1,0 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	БУ 1,0ГП

Источник: составлено авторами.

Table 3. Scheme of laboratory experiment No. 2 with lawn cereals

№	Experiment variant	Short designation
Experimental line with water solution NaCl		
1.	<i>Background control:</i> distilled water	BC
2.	<i>Control:</i> 10 % water solution NaCl	NaCl C
3.	10 % water solution NaCl + 0.01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.01HP
4.	10 % water solution NaCl + 0.1 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.1HP
5.	10 % water solution NaCl + 1.0 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 1,0 HP
6.	10 % water solution NaCl + 0.01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0,01HP
Experimental line with an water solution of anti-icing agent «Bionord Universal»		
7.	<i>Background control:</i> distilled water	BC
8.	<i>Control:</i> 10 % water solution «Bionord Universal»	BU C
9.	10 % water solution «Bionord Universal» + 0.01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	BU 0.01HP
10.	10 % water solution «Bionord Universal» + 0.1 % water solution of humic preparation «Ekorost»	BU 0.1HP
11.	10 % water solution «Bionord Universal» + 1.0 % water solution of humic preparation «Ekorost»	BU 1.0HP

Source: compiled by the authors.

Результаты и их обсуждение

В лабораторном эксперименте № 1 на контрольном варианте в условиях солевого стресса, вызванного влиянием 0,15-молярного водного раствора хлорида натрия, всхожесть семян тест-культуры составила чуть более 30 % (рис. 1).

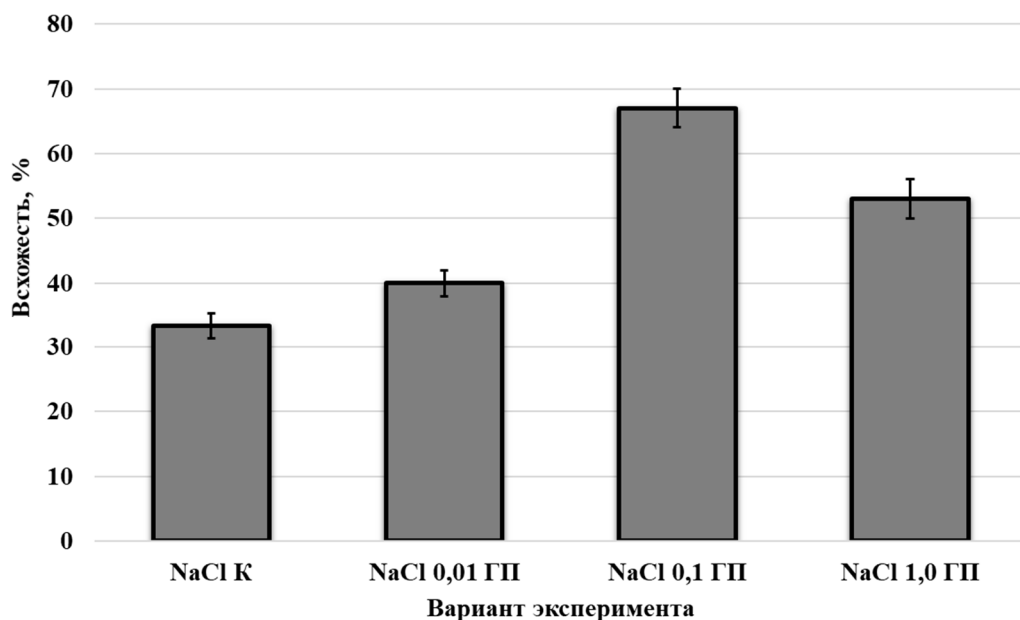


Рис. 1. Всхожесть семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях смоделированного солевого стресса

Источник: составлено авторами.

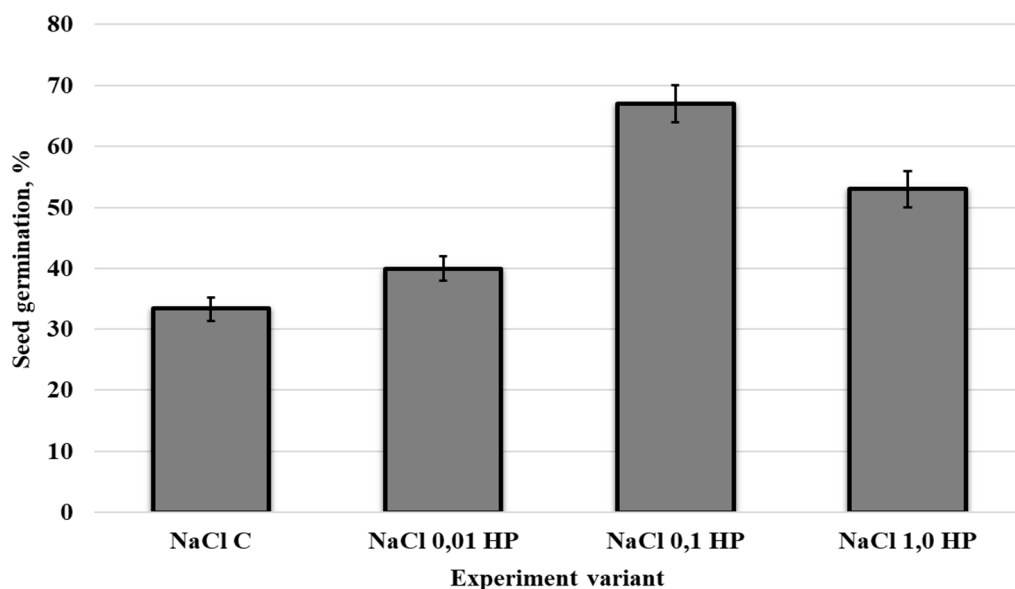


Figure 1. Seed germination of *Brassica rapa* L. under simulated salt stress

Source: compiled by the authors.

При проращивании семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в присутствии гуминового препарата «Экорост» отмечалось увеличение их всхожести по сравнению с контролем от 7 до 35 % в зависимости от дозы препарата. Максимальный протекторный эффект наблюдался при использовании

0,1 % водного раствора гуминового препарата. Его применение позволило существенно нивелировать воздействие хлорида натрия и увеличить всхожесть семян практически до 70 %.

Аналогичная тенденция прослеживалась и в отношении другого анализируемого критерия ростовых процессов тест-культуры – средней длины зародышевого корешка (рис. 2).

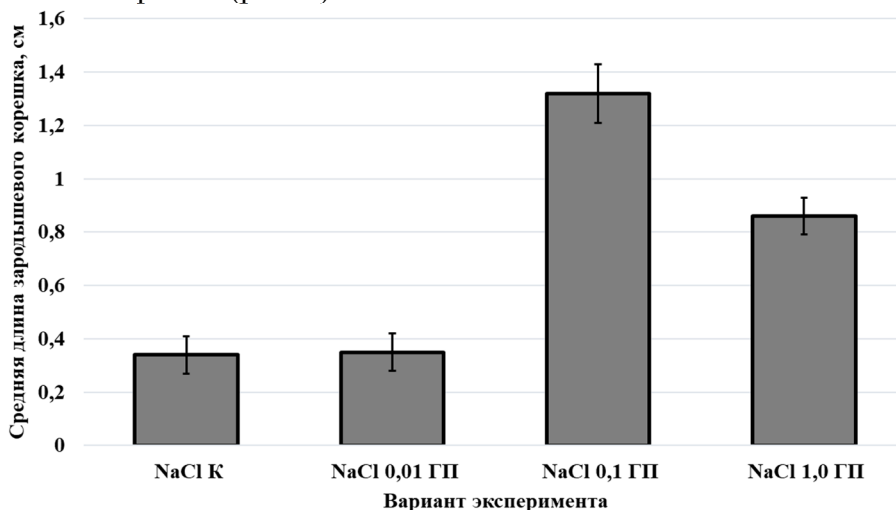


Рис. 2. Изменение средней длины зародышевых корешков редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях смоделированного солевого стресса

Источник: составлено авторами.

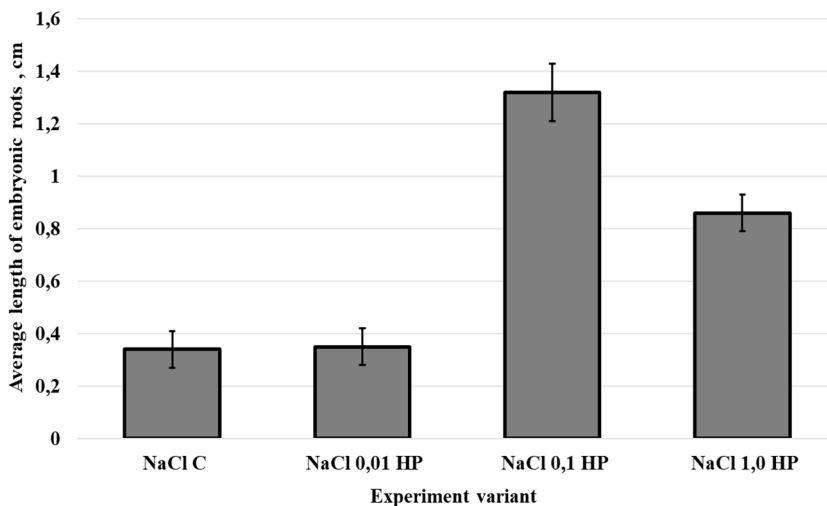


Figure 2. Changes in the average length of embryonic roots of *Brassica rapa* L. under simulated salt stress

Source: compiled by the authors.

В эксперименте отмечена стимуляция ростовых процессов семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях солевого стресса под влиянием гуминового препарата. Данный эффект отчетливо наблюдался на вариантах с использованием препарата «Экорост» в виде 0,1 и 1,0 % водных растворов,

где средняя длина зародышевого корешка была в 2,5...3,8 раза больше по сравнению с контролем. К тому же и по показателю всхожести наиболее действенной оказалась доза 0,1 % водного раствора гуминового препарата.

В лабораторном эксперименте № 2 гуминовый препарат «Экорост» также проявил выраженные протекторные свойства по отношению к тест-культуре – смеси газонных злаков в условиях смоделированного солевого стресса.

Установлено, что 10 % водный раствор NaCl практически полностью ингибировал процессы прорастания семян газонных злаков (рис. 3).

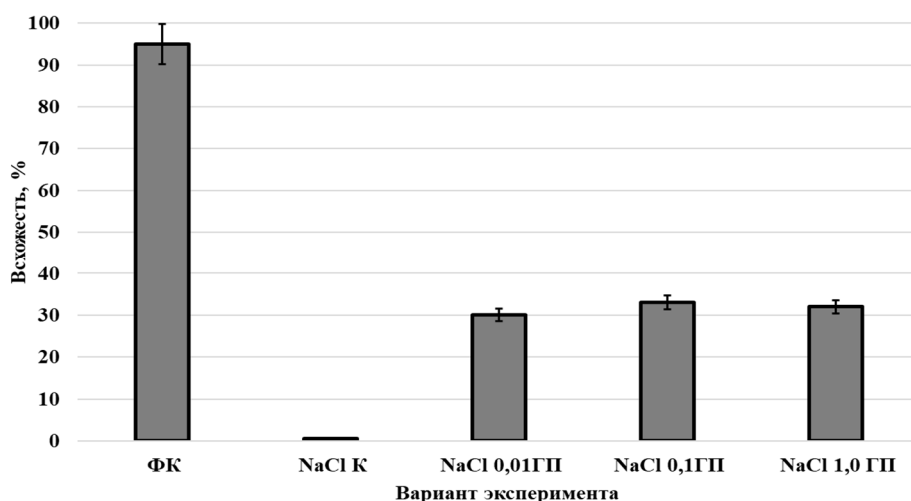


Рис. 3. Всхожесть семян газонных злаков в условиях солевого стресса, индуцированного 10% водным раствором NaCl

Источник: составлено авторами.

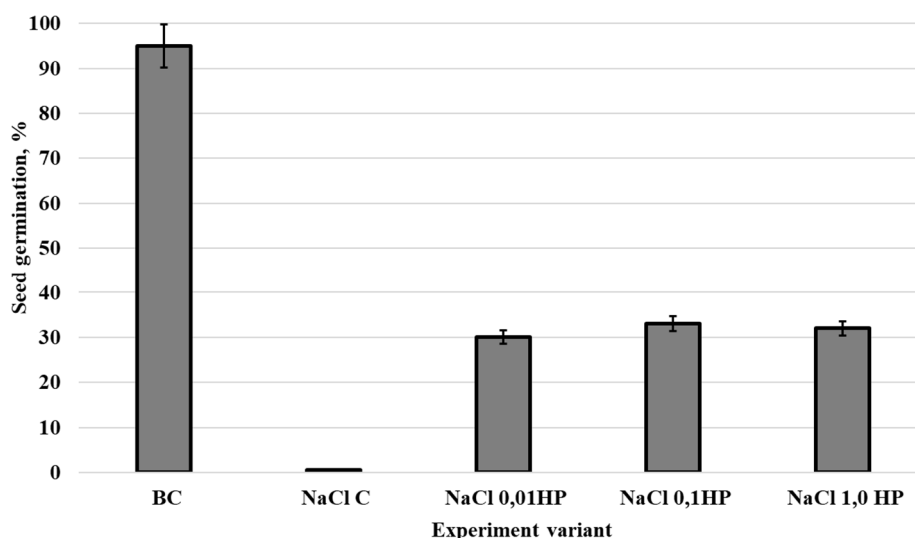


Figure 3. Germination of seeds of lawn cereals under conditions of salt stress induced by 10% water solution NaCl

Source: compiled by the authors.

Однако при внесении гуминового препарата «Экорост» токсичное действие солевого стрессирующего агента удалось нивелировать и позволило повысить всхожесть семян газонных злаков до 30...33 %. При этом доза препарата существенного значения не имела.

В эксперименте отмечена и высокая чувствительность семян газонной смеси к влиянию другого рассматриваемого нами солевого стрессора – противогололедного реагента «Бионорд-Универсальный» (рис. 4).

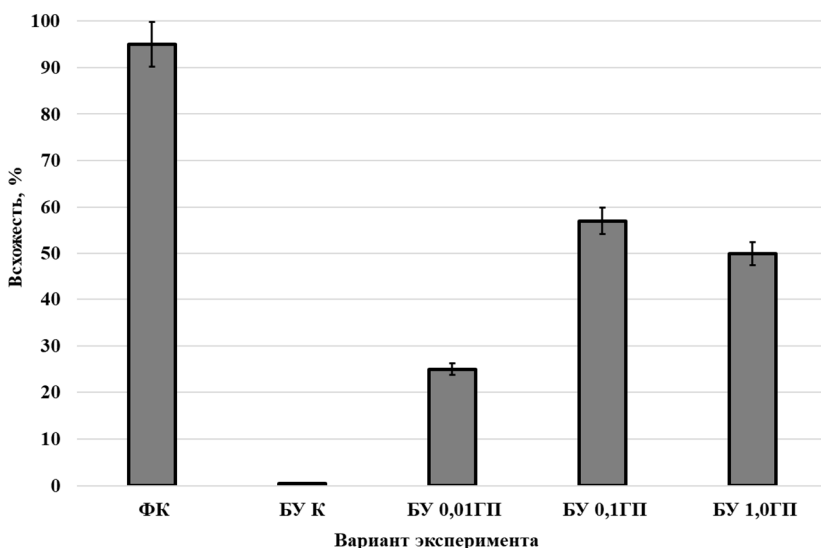


Рис. 4. Всхожесть семян газонных злаков в условиях солевого стресса, индуцированного 10% водным раствором противогололедного реагента «Бионорд-Универсальный»
 Источник: составлено авторами.

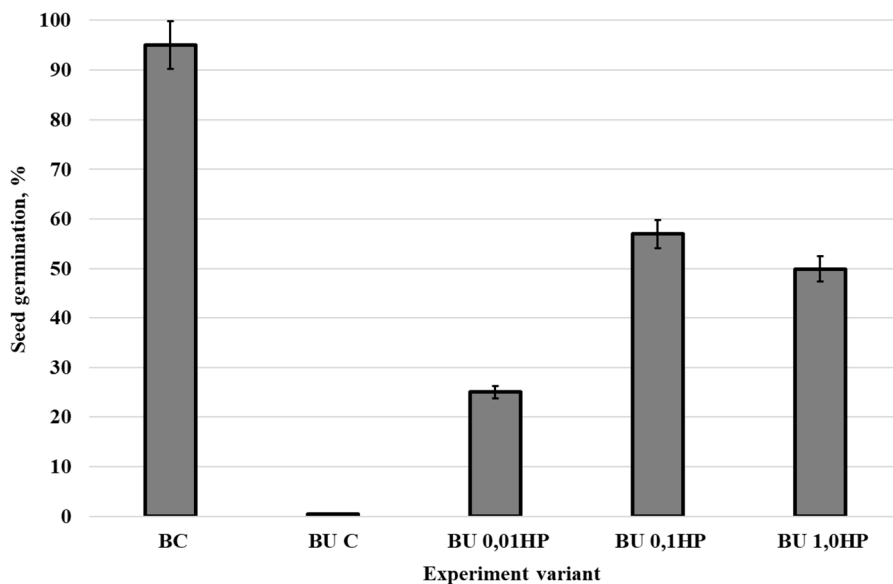


Figure 4. Germination of seeds of lawn cereals under conditions of salt stress induced by 10% water solution of anti-icing agent «Bionord Universal»
 Source: compiled by the authors.

Так, в присутствии указанного реагента процессы прорастания семян газонной смеси были практически полностью подавлены. Но внесение гуминового препарата «Экорост» позволило снизить уровень солевого стресса и способствовало увеличению всхожести семян тест-культуры до 25...57 % в зависимости от дозы препарата. Как и в эксперименте № 1, максимальная стимуляция тест-реакции отмечалась при использовании препарата «Экорост» в дозе 0,1 % водного раствора.

Проведенные исследования показали, что солевой стресс оказывает выраженное ингибирующее влияние на ростовые процессы, рассматриваемые в рамках экспериментов тест-культур. При этом гуминовые препараты проявляют защитные свойства по отношению к культурным растениям в условиях такого стресса. Однако выраженность указанного эффекта существенно зависит характера и специфики стрессирующего агента, а также от дозы гуминового препарата.

Полученные нами данные подтверждают и по ряду аспектов дополняют мировой научный опыт в рамках рассматриваемых вопросов. В ходе проведенных исследований нами установлена перспективность применения гуминовых препаратов в целях повышения устойчивости культурных растений к солевому стрессу, на что указывают и результаты работ ряда зарубежных авторов [10–13]. Так, данные, полученные турецкими исследователями, что гуминовые препараты способны минимизировать токсичное действие избыточных концентраций солей в почве на посевы Сои культурной (*Glycine max* L.) [10]. Защитное действие препаратов заключалось в увеличении длины корня и стебля, площади листа и содержания хлорофилла побегов сои. В работах египетской научной группы под руководством Mohamed Abu-Ria установлено повышение солеустойчивости Риса посевного (*Oryza sativa* L.) под воздействием гуминовых препаратов при возделывании на засоленных почвах [11; 12]. По мнению авторов, адаптогенное действие препаратов связано с поддержанием ионного гомеостаза, увеличением содержания осмолитов и антиоксидантов в тканях культуры. В экспериментах, проведенных бразильскими исследователями с однодольными (*Zea mays* L.) и двудольными (*Solanum lycopersicum* L.) культурами, показано, что гуминовые кислоты активируют механизмы клеточной и молекулярной защиты от солей, снижая уровень стресса, вызванного засолением почв [13].

При этом приводимые в отечественной и зарубежной литературе данные разнятся касательно вопроса о рекомендуемых дозах гуминовых препаратов [1; 2; 5; 10–13]. Поскольку, как уже было отмечено, солеустойчивость является чертой видоспецифичной, то, вероятно, и оптимальная протекторная доза гуминовых препаратов должна подбираться для каждой культуры индивидуально.

Следует отметить, что внимание исследователей в фокусе рассматриваемой проблемы по большей части сосредоточено на сельскохозяйственных культурных растениях [1; 3; 5; 10–13]. Практически не освещенным остается

вопрос о перспективах применения гуминовых препаратов для снижения уровня солевого стресса декоративных культур [14]. Полученные нами результаты указывают на значительный потенциал гуминовых препаратов в данном аспекте и необходимость проведения дальнейших исследований в указанном направлении.

Заключение

Таким образом, установлено, что солевой стресс, индуцированный различными агентами (водные растворы хлорида натрия различной концентрации, водный раствор антигололедного реагента «Бионорд-Универсальный»), в значительной степени ингибирует ростовые процессы редьки масличной (*Brassica rapa* L.) и газонных злаков (овсяница красная (*Festuca rubra* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) вплоть до полного их подавления.

При этом выявлено, что гуминовый препарат «Экорост» проявляет протекторные свойства по отношению к указанным тест-культурам в условиях искусственно смоделированного солевого стресса, что выражается в заметной стимуляции их всхожести и ростовых процессов. Наличие и степень проявления данного эффекта во многом зависят от дозы гуминового препарата. Во всех проведенных экспериментах наиболее действенным был 0,1 % водный раствор препарата «Экорост». Под его влиянием в данной концентрации всхожесть семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях солевого стресса возрастала более чем на 30 % по сравнению с контролем, а газонных злаков – практически на 60 %.

Указанное обстоятельство позволяет рекомендовать гуминовый препарат «Экорост» в дозе 0,1 % водного раствора для повышения солеустойчивости редьки масличной (*Brassica rapa* L.) и газонных злаков.

Отдельно следует отметить, что газонные злаки оказались весьма чувствительны к солевому стрессу, вызванному как водным раствором хлорида натрия, так и раствором противогололедного агента «Бионорд-Универсальный», но применение препарата «Экорост» позволило нивелировать их выраженный токсический эффект. Довольно широкое применение в практике благоустройства городов антигололедных реагентов и развития процессов засоления городских почв обуславливает необходимость проведения подобных исследований и в отношении других культурных растений, используемых для озеленения урбанизированных территорий, особенно учитывая тот факт, что подобные вопросы довольно мало освещены в зарубежной и отечественной научной литературе.

Список литературы

- [1] Gulmezoglu N., İzci E. Ionic responses of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity stress and humic acid applications // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2020. Vol. 48. N 3. P. 1317–1331. <http://doi.org/10.15835/nbha48311950>

- [2] Karimian Z., Samiei L., Nabat J. Alleviating the salt stress effects in *Salvia splendens* by humic acid application // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2019. Vol. 18. No. 5. P. 73–82. <http://doi.org/10.24326/asphc.2019.5.7>
- [3] Matuszak-Slamani R., Bejger R., Ciesla J., Bieganowski A., Koczanska M., Gawlik A., Kulpa D., Sienkiewicz M., Włodarczyk M., Golebiowska D. Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress // *Plant Growth Regulation*. 2017. Vol. 83. No. 3. P. 465–477. <http://doi.org/10.1007/s10725-017-0312-1>
- [4] Nigania S., Sharma Y., Kumar U. Role of humic acid and salicylic acid on growth, yield and biochemical parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under salt and water stress // *Trends in Biosciences*. 2017. Vol. 10. No. 17. P. 3096–3101.
- [5] Sofi A., Ebrahimi M., Shirmohammadi E. Effect of humic acid on germination, growth, and photosynthetic pigments of *Medicago sativa* L. under salt stress // *Ecopersia*. 2018. Vol. 6. No. 1. P. 21–30.
- [6] Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водной и почвенной средах в условиях абиотических стрессов: дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2008. 302 с.
- [7] Поволоцкая Ю.С. Адаптогенные свойства гуминовых препаратов (обзор) // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 3-1. С. 128–130. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10635>
- [8] Чердакова А.С., Гальченко С.В. Изменение фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2020. Т. 28. № 4. С. 336–348. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10635>
- [9] Чердакова А.С., Гальченко С.В., Воробьева Е.В. Экспериментальная оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации почв, загрязненных нефтепродуктами // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 3. С. 30–35. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-30-35>
- [10] Bahjat N.M., Tuncturk M., Tuncturk R. Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions // *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 33. No. 1. P. 1–9. <http://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288>
- [11] Abu-Ria M., Shukry W., Abo-Hamed S., Albaqami M., Almuqadam L., Ibraheem F. Humic acid modulates ionic homeostasis, osmolytes content, and antioxidant defense to improve salt tolerance in rice // *Plants*. 2023. Vol. 12. No. 9. P. 1834. <http://doi.org/10.3390/plants12091834>
- [12] Shukry W.M., Abu-Ria M.E., Abo-Hamed S.A., Anis G.B., Ibraheem F. The efficiency of humic acid for improving salinity tolerance in salt sensitive rice (*Oryza sativa*): growth responses and physiological mechanisms // *Gesunde Pflanzen*. 2023. Vol. 75. No. 2. P. 525–540. <http://doi.org/10.1007/s10343-023-00885-6>
- [13] Souza A.C., Zandonadi D.B., Santos M.P., Aguiar Canellas N.O., Soares C.P., Souza da Silva Irineu L.E., Rezende C.E., Spaccini R., Piccolo A., Olivares F.L., Canellas L.P. Acclimation with humic acids enhances maize and tomato tolerance to salinity // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021. Vol. 8. No. 1. P. 40. <http://doi.org/10.1186/s40538-021-00239-2>
- [14] Аминева Е.Ю., Табацкая Т.М., Машикина О.С. Оценка солеустойчивости *Populus* L. в условиях моделируемого стресса *in vitro* // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021. № 79. С. 60–66. <http://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79-60-66>

References

- [1] Gulmezoglu N, İzci E. Ionic responses of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity stress and humic acid applications. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2020;48(3):1317–1331. <http://doi.org/10.15835/nbha48311950>
- [2] Karimian Z, Samiei L, Nabat J. Alleviating the salt stress effects in *Salvia splendens* by humic acid application. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2019;18(5):73–82. <http://doi.org/10.24326/asphc.2019.5.7>
- [3] Matuszak-Slamani R, Bejger R, Ciesla J, Bieganowski A, Koczanska M, Gawlik A, Kulpa D, Sienkiewicz M, Włodarczyk M, Golebiowska D. Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*. 2017;83(3):465–477. <http://doi.org/10.1007/s10725-017-0312-1>
- [4] Nigania S, Sharma Y, Kumar U. Role of humic acid and salicylic acid on growth, yield and biochemical parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under salt and water stress. *Trends in Biosciences*. 2017;10(17):3096–3101.
- [5] Sofi A, Ebrahimi M, Shirmohammadi E. Effect of humic acid on germination, growth, and photosynthetic pigments of *Medicago sativa* L. under salt stress. *Ecopersia*. 2018;6(1):21–30.
- [6] Kulikova NA. *The protective effect of humic substances in relation to plants in aquatic and soil environments under conditions of abiotic stress* (dissertation). Moscow, 2008. 302 p. (In Russ.).
- [7] Povolotskaya YuS. Adaptogenic properties of gum preparations (review). *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;3–1:128–130. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10635> (In Russ.).
- [8] Cherdakova AS, Galchenko SV. Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):336–348. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348> (In Russ.).
- [9] Cherdakova AS, Galchenko SV, Vorob'eva EV. Experimental assessment of the effect of humic preparations on the processes of microbiological remediation of soils contaminated with oil products. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(3):30–35. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-30-35> (In Russ.).
- [10] Bahjat NM, Tuncurk M, Tuncurk R. Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023;33(1):1–9. <http://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288>
- [11] Abu-Ria M, Shukry W, Abo-Hamed S, Albaqami M, Almuqadam L, Ibraheem F. Humic acid modulates ionic homeostasis, osmolytes content, and antioxidant defense to improve salt tolerance in rice. *Plants*. 2023;12(9):1834. <http://doi.org/10.3390/plants12091834>
- [12] Shukry WM, Abu-Ria ME, Abo-Hamed SA, Anis GB, Ibraheem F. The efficiency of humic acid for improving salinity tolerance in salt sensitive rice (*Oryza sativa*): growth responses and physiological mechanisms. *Gesunde Pflanzen*. 2023;75(2):525–540. <http://doi.org/10.1007/s10343-023-00885-6>
- [13] Souza AC, Zandonadi DB, Santos MP, Aguiar Canellas NO, Soares CP, Souza da Silva Irineu LE, Rezende CE, Spaccini R, Piccolo A, Olivares FL, Canellas LP. Acclimation with humic acids enhances maize and tomato tolerance to salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021;8(1):40. <http://doi.org/10.1186/s40538-021-00239-2>

- [14] Amineva YeYu, Tabatskaya TM, Mashkina OS. Assessment of *Populus L.* salt resistance under simulated stress conditions *in vitro*. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021;79:60–66. <http://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79-60-66> (In Russ.).

Сведения об авторах:

Гальченко Светлана Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии и методики ее преподавания, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Российская Федерация, 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46. ORCID: 0009-0005-2510-7802, eLIBRARY SPIN-код: 1524-2513. E-mail: s.galchenko2017@yandex.ru

Чердакова Алина Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры географии, экологии и природопользования, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Российская Федерация, 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46. ORCID: 0009-0001-7281-8675, eLIBRARY SPIN-код: 5372-7424. E-mail: cerdakova@yandex.ru

Bio notes:

Svetlana V. Galchenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology and Methods of its Teaching, Ryazan State University named for S. Yesenin, 46 Svobody St, Ryazan 390000, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-2510-7802, eLIBRARY SPIN-code: 1524-2513. E-mail: s.galchenko2017@yandex.ru

Alina S. Cherdakova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Nature Management, Ryazan State University named for S. Yesenin, 46 Svobody St, Ryazan 390000, Russian Federation. ORCID: 0009-0001-7281-8675, eLIBRARY SPIN-code: 5372-7424. E-mail: cerdakova@yandex.ru