

<https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137>

Влияние гуминового препарата на растения ярового ячменя в условиях стресса от повышенного содержания свинца

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ольга Степановна Безуглова
E-mail: lola314@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бесчетников В.В., Безуглова О.С. Влияние гуминового препарата на растения ярового ячменя в условиях стресса от повышенного содержания свинца. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):125-134. <https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137> EDN IIMBIF

ПОСТУПИЛА: 08.07.2026

ДОРАБОТАНА: 07.09.2026

ПРИНЯТА: 07.09.2026

ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 30.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ / ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2026-0019.

COPYRIGHT: © 2026 Бесчетников В.В., Безуглова О.С.



В.В. Бесчетников , О.С. Безуглова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Многочисленные исследования указывают на адаптогенную роль гуминовых веществ, что позволяет при их применении снижать негативные последствия не только погодных катаклизмов, но и уменьшать стресс от применения пестицидов, наличия в среде токсических соединений, включая тяжелые металлы. Однако существует недостаточная изученность механизмов их воздействия на сельскохозяйственные растения, в том числе на клеточные структуры растений.

ЦЕЛЬ. Показать влияние гуминового препарата на рост ячменя обыкновенного в условиях стресса, вызванного загрязнением свинцом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В условиях лабораторного эксперимента проведено моделирование загрязнения среды ацетатом свинца и попытка нейтрализации токсического действия свинца на растения ячменя обыкновенного введением в среду гуминового препарата. Модельный опыт проводили при помощи гидропонного метода выращивания растений. В качестве субстрата использовался промытый от ила и прокаленный кварцевый песок, в качестве питательного раствора была использована питательная смесь Прянишникова. Растения выращивались в течение 14 дней (для ячменя это начало кущения). Затем проводили морфометрические измерения, а также измеряли цитоморфометрические показатели.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Загрязнение субстрата свинцом вызывает изменения в размерах корневой системы и надземной части ячменя, снижает массу растений. Микроскопический анализ выявил изменения в цитоморфометрических показателях корней и листьев, которые выражались в увеличении поперечного размера корня растения по сравнению с контролем и доли проводящих тканей в нем, а также повреждении клеток хлоренхимы листьев и уменьшении количества пластид в них.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Применение гуминового препарата позволило частично скомпенсировать негативные эффекты, способствуя адаптации растений к действию поллютанта за счет оптимизации процессов корнеобразования и восстановления количества пластид в клетках листовых пластин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: загрязнение свинцом, гуминовый препарат из вермикомпоста, ячмень, цитоморфометрические показатели

<https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137>

Effect of a humic preparation on spring barley plants under elevated lead stress

CORRESPONDENCE:

Olga S. Bezuglova

E-mail: lola314@mail.ru

FOR CITATION:

Beschetnikov V.V., Bezuglova O.S.
Effect of a humic preparation
on spring barley plants under elevated
lead stress. *Agrarian Bulletin of the
North Caucasus*. 2026;16(3):125-134.
(In Russ.) <https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137>

RECEIVED: 08.07.2026

REVISED: 07.09.2026

ACCEPTED: 07.09.2026

PUBLISHED ONLINE: 30.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

ACKNOWLEDGEMENTS / FUNDING

The research was carried out with
the financial support of the Ministry
of Science and Higher Education of
the Russian Federation within the
framework of the state assignment
in the field of scientific activity No.
FENW-2026-0019

COPYRIGHT: © 2026 Beschetnikov V.V.,
Bezuglova O.S.



Vladimir V. Beschetnikov , Olga S. Bezuglova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Numerous studies indicate the adaptogenic role of humic substances, which allows their application to reduce the negative consequences of not only weather disasters but also to decrease stress from pesticide application and the presence of toxic compounds in the environment, including heavy metals. However, there is insufficient knowledge regarding the mechanisms of their impact on agricultural plants, including plant cellular structures.

AIM. To demonstrate the effect of a humic preparation on the growth of common barley under stress conditions caused by lead pollution.

MATERIALS AND METHODS. Under laboratory experiment conditions, environmental pollution with lead acetate was simulated, and an attempt was made to neutralize the toxic effect of lead on common barley plants by introducing a humic preparation into the medium. The pot experiment was modeled using the hydroponic method of plant cultivation. Silt-washed and calcined quartz sand was used as a substrate, and Pryanishnikov's nutrient mixture was used as a nutrient solution. Plants were grown for 14 days (which corresponds to the beginning of tillering for barley). Subsequently, morphometric measurements were performed, and cytomorphometric parameters were measured.

RESULTS. Substrate pollution with lead causes changes in the size of the root system and the aboveground part of barley, and reduces plant weight. Microscopic analysis revealed changes in the cytomorphometric parameters of roots and leaves, which were expressed in an increase in the root cross-sectional size compared to the control and the proportion of conducting tissues within it, as well as damage to leaf chlorenchyma cells and a decrease in the number of plastids inside them.

CONCLUSION. The application of the humic preparation allowed for a partial compensation of the negative effects, promoting plant adaptation to the pollutant action due to the optimization of root formation processes and the restoration of the number of plastids in the cells of leaf blades.

KEYWORDS: lead pollution, humic preparation from vermicompost, barley, cytomorphometric parameters

ВВЕДЕНИЕ

Гуминовые вещества представляют собой высокомолекулярные природные органические соединения, образующиеся в результате гумификации растительных и животных остатков. В данную группу химических веществ входят гуминовые кислоты и фульвокислоты, их соли (гуматы и фульваты), а также гумин, различающиеся молекулярной массой, растворимостью и химической активностью [1]. Их состав и свойства находятся в зависимости от исходного органического материала и условий гумификации, что обуславливает значительное разнообразие механизмов их взаимодействия с растениями [2–4].

В агрохимии удобрения и препараты на основе гуминовых веществ рассматриваются как эффективные регуляторы почвенного плодородия и физиологически активные соединения, способные оказывать комплексное влияние на растения. Установлено, что применение гуминовых препаратов стимулирует рост и развитие корневой системы [5; 6], активизирует процессы фотосинтеза и ферментативной активности [7–9], усиливает поглощение макро- и микроэлементов и повышает эффективность использования удобрений [10; 11]. Благодаря высокой емкости катионного обмена, наличию функциональных карбоксильных и фенольных групп, а также выраженным комплексообразующим свойствам они участвуют в трансформации и миграции элементов питания, улучшают агрохимические свойства почвы, способствуют формированию водопрочной структуры и повышают микробиологическую активность [12–15]. Совокупность этих эффектов позволяет рассматривать гуминовые вещества не только как стимуляторы роста, но и как эффективные адаптогены, повышающие устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Загрязнение почв тяжелыми металлами является одной из важных проблем современного земледелия, так как данные химические вещества обладают устойчивостью к биодegradации и способны накапливаться в почвенном профиле, постепенно достигая токсических концентраций [16; 17]. Это может приводить к снижению продуктивности сельскохозяйственных растений и ухудшению качества получаемой продукции. Среди наиболее распространенных и токсичных загрязнителей осо-

бое место занимает свинец, поступающий в окружающую среду вследствие промышленных выбросов или в качестве побочного компонента в составе фосфорных удобрений [18]. Ионы свинца не играют какой-либо роли в биохимических процессах растений, однако известно, что он может поглощаться и накапливаться в них. Это приводит к угнетению роста корневой системы и надземных органов, снижению интенсивности фотосинтеза и дыхания, нарушению водного и минерального обмена, а также вызывает развитие окислительного стресса и повреждение клеточных структур, что особенно опасно на ранних стадиях развития растений [19–21].

В связи с этим значительный интерес представляет использование препаратов на основе солей гуминовых веществ для снижения фитотоксичности тяжелых металлов. Тем не менее сложность и вариабельность химического состава гуминовых веществ обуславливает недостаточную изученность механизмов их воздействия на сельскохозяйственные растения. Причем наименее изучены гуминовые вещества с точки зрения их воздействия на клеточные структуры растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Этические аспекты

Работа не предусматривала экспериментов на животных или людях, поэтому этические заключения не требовались.

Материалы

При проведении исследования в качестве источника гуминовых веществ использовался препарат «БИО-Дон», получаемый при помощи щелочной экстракции из вермикомпоста. Данный препарат поставляется производителем в виде жидкого концентрата темно-бурого цвета.

В качестве тестовой культуры использовали ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.), сорт 'Ратник'. Данный среднеспелый сорт включен в государственный реестр в 2004 году и рекомендован для выращивания на территориях Ростовской области и Ставропольского края.

Оборудование

Ультрамикротом Leica EM UC6 (Германия).
Тринокуляр ЛОМО Микмед-6 (Россия).

Реактивы

Ацетат свинца (II) ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$).

Глutarовый альдегид (2,5 %) в натрий-фосфатном буфере ($\text{pH} = 7,3$).

Тетраоксид осмия (2 %) в натрий-фосфатном буфере ($\text{pH} = 7,3$).

Эпоксидная смола «Эпон-812».

Гипохлорит натрия (5 %).

Этиловый спирт.

Ацетон.

Дистиллированная вода.

Методы

Модельный опыт проводился при помощи гидропонного метода выращивания растений. В качестве субстрата использовался промытый от ила и прокаленный кварцевый песок, в качестве питательного раствора была использована питательная смесь Прянишникова¹, включающая макро- и микроэлементы.

Полученные результаты измерений были обработаны с использованием программного обеспечения (ImageJ, LibreOffice Calc) и методов математической статистики².

Процедура исследования

Лабораторный модельный эксперимент включал 4 варианта: 1. Контроль (чистая смесь Пряниш-

никова); 2. Контроль + ВЮ-Дон; 3. Контроль + + $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; 4. Контроль + $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ + ВЮ-Дон. Количество повторностей в каждом варианте – 3.

В полипропиленовый контейнер объемом 300 мл в два этапа помещалось 400 г подготовленного песка. Сначала насыпалась первая порция песка массой 300 г и на выровненную поверхность равномерно высевались пророщенные семена ячменя³ с одинаковой длиной корня в количестве 8 штук на контейнер. Затем сверху насыпалась вторая порция песка массой 100 г для покрытия семян сверху и в контейнер заливалась питательная смесь Прянишникова объемом 100 мл. Состав использованной питательной смеси представлен в таблице 1. Требуемое количество питательной смеси определялось при помощи расчета влагоемкости песка. Перед проращиванием семена ячменя были очищены от включений, отсортированы по размеру и для стерилизации промыты 5 % раствором гипохлорита натрия с последующей 5-кратной промывкой в дистиллированной воде для удаления остатков антисептика.

Техногенное загрязнение свинцом моделировали с использованием водорастворимой соли — ацетата свинца (II) ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), которая вносилась в субстрат в концентрации 2000 мг/кг в пересчете на свинец. Высокая концентрация свинца выбрана с целью моделирования условий интенсивного загрязнения тяжелым металлом, а также в связи с тем, что планировался кратковременный эксперимент.

Таблица 1

Химический состав и содержание компонентов питательной смеси Прянишникова

Table 1

Chemical composition and content of the components of Pryanishnikov's nutrient medium

Химическое соединение	Содержание, г/л	Химическое соединение	Содержание, г/л	Химическое соединение	Содержание, г/л
NH_4NO_3	0,240	$\text{MnCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,150	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,056
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	0,358	H_3BO_3	0,100	ZnSO_4	
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,025	LiCl	0,028	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,344	$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,123	KI		$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	
KCl	0,005	KBr		TiO_2	

¹ Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. М. : Наука, 1968. 260 с.

² Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.

³ ГОСТ 12038-84. «Методы определения всхожести семян сельскохозяйственных культур». Москва : Издательство стандартов, 1984. 8 с.

Гуминовый препарат ВЮ-Дон вносился в субстрат в концентрации 5 мл/л в соответствии с рекомендуемой производителем дозой.

Семена проращивались 3 суток, затем высаженные семена выращивались еще в течение 14 дней (для ячменя это начало кущения). По наступлению данного периода растения извлекали из контейнера, очищали от остатков субстрата, затем проводили измерение длины корня, высоты побега и взвешивание массы сырых растений. После высушивания образцов определяли их воздушно-сухую массу.

В процессе снятия морфометрических показателей параллельно проводили отбор образцов для проведения микроскопического исследования. Для этого сначала от корней и листовых пластин исследуемого ячменя бритвенным лезвием отсекались небольшие фрагменты размером 1–1,5 мм³. Фрагменты корней отбирались в зоне всасывания, фрагменты листовых пластин из середины листьев. Затем для предотвращения постмортальных изменений они последовательно помещались в свежеприготовленные гистохимические фиксаторы, в качестве которых выступали растворы глутарового альдегида (2,5 %) и тетраоксида осмия (2 %) в натрий-фосфатном буфере (рН = 7,3). Зафиксированные фрагменты растений обезживали при помощи серии растворов этилового спирта и ацетона с увеличивающейся концентрацией, а после этого заливали эпоксидной смолой «Эпон-812». Подготовка полутонких срезов (700 нм) для светооптического анализа проводилась с помощью стеклянных ножей на ультрамикротоме Leica EM UC6 (Германия). Для создания контраста использовался краситель на основе смеси метиленового синего и толуидинового синего. Световая микроскопия выполнена с использованием тринокуляра ЛОМО Микмед-6 (Россия). Фотоснимки были получены при увеличении 400 крат.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рост и развитие сельскохозяйственных растений на ранних стадиях онтогенеза в большой степени определяют их последующую жизнеспособность и качество производимого урожая. В этот период происходит интенсивное формирование корневой системы и надземных органов за счет деления молодых клеток и их дифференцирования. Протекание этих процессов требует существенной затраты

энергии и питательных элементов, поступление которых сильно ограничено и обеспечивается преимущественно эндоспермом семени. По этой же причине защитные механизмы молодого растения также не могут быть развиты в полной мере, и оно находится в состоянии наибольшей чувствительности к неблагоприятным факторам внешней среды, в том числе к присутствию токсичных элементов и сниженной доступности элементов питания. Наряду с этим известно, что препараты на основе гуминовых веществ подобно фитогормонам способны оказывать стимулирующее действие на рост растений и процессы накопления вегетативной биомассы, что может способствовать повышению устойчивости растений на ранних этапах их формирования. В связи с этим является целесообразным определение морфометрических показателей исследуемых растений.

В ходе проведения морфометрического анализа корней и надземной части ячменя обыкновенного (рисунок 1) было обнаружено, что присутствие ионов свинца оказало существенный токсический эффект и повлияло на длину корня и высоту надземной части ячменя, снизив данные показатели более чем наполовину. Растения с загрязненного варианта без внесения гумата обладали плохо развитой корневой системой, а на листьях и их кончиках наблюдались белые пятна, связанные с цитотоксическим действием свинца [22; 23].

Добавление в субстрат гуминового препарата ВЮ-Дон оказало неоднозначный эффект на исследуемые растения: на обоих вариантах с добавлением гуминового препарата наблюдается снижение длины корневой системы ячменя при одновременном увеличении размеров надземной части растений по сравнению с парным вариантом без обработки. Данный негативный эффект, скорее всего, связан с тем, что, как и большинство концентрированных препаратов на основе гуминовых веществ, рассматриваемый гумат получается из вермикомпоста методом щелочной экстракции при помощи гидроксида натрия (NaOH) и по этой причине имеет щелочную реакцию (рН = 8,7). Эта особенность, а также необходимость применения гуматов в повышенной концентрации при внесении в субстрат в совокупности приводят к временным ожогам молодых корней [24; 25]. Тем не менее внесение ВЮ-Дона позволило снизить стресс от тяжелого металла на развитие надземной части, ответственной за фотосинтез, и увеличить ее размеры.

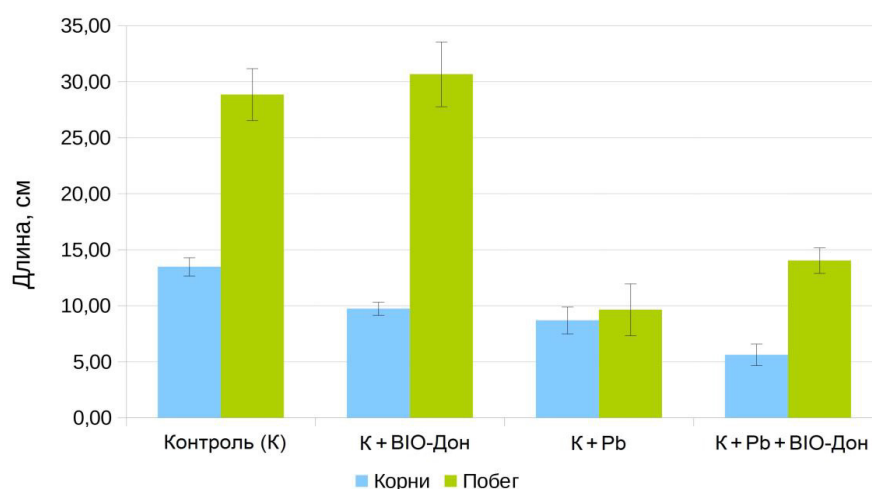


Рисунок 1

Длина корней и высота побегов ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта 'Ратник' в условиях загрязнения субстрата свинцом и внесения гуминового удобрения

Figure 1

Root length and shoot height of common barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. 'Ratnik' under conditions of lead-contaminated substrate and humic fertilizer application

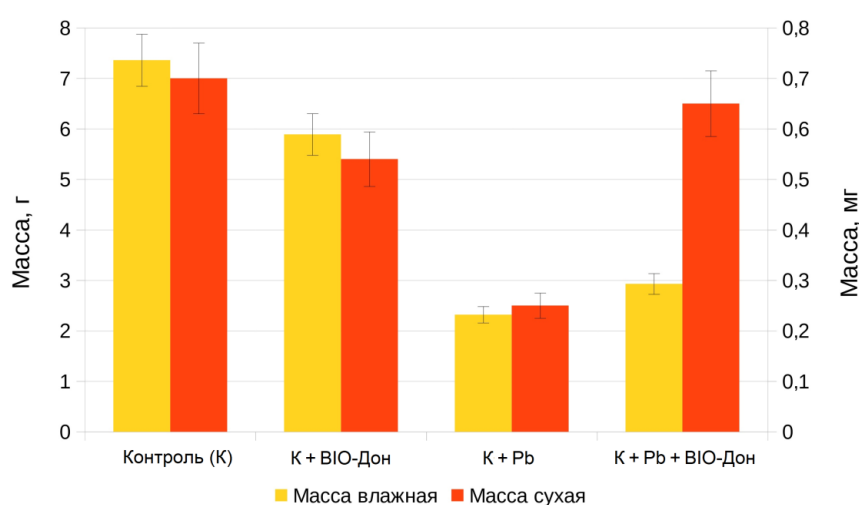


Рисунок 2

Влажная и сухая масса ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта 'Ратник' в условиях загрязнения субстрата свинцом и внесения гуминового удобрения.

Примечание: На графике по левой оси Y отложена масса растений во влажном состоянии; по правой оси Y — масса растений в сухом состоянии

Figure 2

Fresh and dry biomass of common barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. 'Ratnik' under conditions of lead-contaminated substrate and humic fertilizer application.

Note: Fresh biomass is presented on the left Y-axis, whereas dry biomass is presented on the right Y-axis

Помимо воздействия на общую длину корневой системы и высоту побегов рассматриваемые негативные факторы также могут оказывать влияние на набор биологической массы растениями. Так, например, известно, что ионы свинца нарушают процессы обмена веществ и воды в клетках растений,

вызывая тем самым их деформацию, угнетение роста и увеличение их размеров в результате избыточного накопления воды в центральной вакуоли [26; 27]. На проявление подобного эффекта может указывать заметная разница между массой сырых и высушенных растений (рисунок 2). При выращивании

ячменя на загрязненном субстрате наряду с размерами растения произошло серьезное уменьшение их массы более чем на две трети от контроля. Внесение гумата позволило не только увеличить массу растений, но и сместить баланс в сторону набора сухой массы за счет развития надземной части.

При внесении гуминового препарата в чистую питательную смесь также отмечалось снижение массы растений. Вероятно, наблюдаемое уменьшение массы связано с особенностями воздействия гуминового препарата на анатомо-морфологические характеристики листьев. Так, наряду с увеличением общих размеров надземной части растений происходило увеличение размеров клеток хлоренхимы и межклеточного пространства, что, в свою очередь, сопровождалось утолщением листовых пластинок (таблица 2). Подобные изменения могут свидетельствовать об усилении интенсивности процессов поглощения и обмена влаги растениями. Таким образом, выявленное снижение массы может быть обусловлено не угнетением роста, а перераспределением ресурсов и изменением анатомической структуры надземных органов растений под влиянием гуминового препарата.

Как уже было упомянуто ранее, свинец вызвал появление белых пятен на листьях ячменя. Подобный признак указывает на нарушение процессов образования хлорофилла в клетках хлоренхимы, что может быть связано со снижением количества хлоропластов (таблица 2), ответственных за протекание фотосинтеза.

Также важно отметить, что в рассмотренных образцах листовых пластин с загрязненного варианта «К + Pb» некоторая часть клеток паренхимы не имела сформировавшихся пластид или вовсе была подвержена некрозу. Гуминовый препарат

помог снизить нагрузку на фотосинтетический аппарат и улучшить состояние клеток хлоренхимы, а также увеличить содержание пластид в них.

Помимо листьев изменения были отмечены и в корнях растений, которые являются главным барьером на пути поллютанта. При внесении свинца произошло увеличение поперечного размера корня растения по сравнению с контролем. Сочетанное внесение свинца и ВЮ-Дон вызвало аналогичный эффект, но в дополнение к этому произошло и уменьшение доли центрального цилиндра (стелы). При этом отдельное внесение гумата таких последствий не вызвало, а, наоборот, уменьшило общую толщину корня и увеличило долю стелы. Такая реакция на растения может быть связана с оптимизацией процессов образования тканей под действием гумата, которая в данном случае выражается в стимуляции роста корового слоя корня и сужении проводящих тканей. Это позволяет корневой системе растений более эффективно выполнять барьерную функцию, ограничивая скорость поступления и транслокации ионов свинца в надземные органы по ксилеме. Таким образом, складываются условия, при которых происходит снижение интенсивности одномоментного воздействия поллютанта на ткани растений и постепенное его накопление, вследствие чего развитие выраженного токсического эффекта может растягиваться во времени и смещаться на более поздний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что загрязнение субстрата ионами свинца вызывает выраженные изменения в размерах корневой системы и надземной части ячменя, а также нега-

Таблица 2

Цитоморфометрические показатели ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта 'Ратник'

Table 2

Cytomorphometric parameters of common barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar 'Ratnik'

Варианты	Корни		Листья		
	Размер корня, мкм ²	Размер стелы, мкм ²	Толщина листа, мкм	Размер клетки хлоренхимы, мкм ²	Среднее кол-во пластид, шт
К	91853,97 ± 5238,73	9181,20 ± 974,32	88,14 ± 23,27	292,35 ± 69,34	9,32 ± 1,89
К + ВЮ-Дон	82136,73 ± 5820,48	10315,71 ± 879,42	133,51 ± 47,33	380,40 ± 115,98	8,92 ± 1,31
К + Pb	102444,66 ± 6540,22	11427,50 ± 603,21	123,13 ± 33,12	274,07 ± 62,08	6,30 ± 1,21
К + Pb + ВЮ-Дон	103802,69 ± 6801,25	8405,22 ± 618,90	113,31 ± 32,17	269,65 ± 59,56	7,63 ± 1,85

тивно влияет на массу растений. Наряду с этим микроскопический анализ выявил изменения в цитоморфометрических показателях корней и листьев, которые выражались главным образом в изменении поперечных размеров корня и доли проводящих тканей в нем, а также повреждении клеток хлоропластов листьев и уменьшении количества

пластид в них. Применение гуминового препарата на основе вермикомпоста позволило частично скомпенсировать подобные негативные эффекты, способствуя адаптации растений к действию поллютанта за счет оптимизации процессов корнеобразования и восстановления количества пластид в клетках листовых пластин.

Вклад авторов

В. В. Бесчетников: проведение исследований, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи.

О. С. Безуглова: разработка концепции, курирование данных, получение финансирования, научное руководство, редактирование рукописи.

Contributions

V. V. Beschetsnikov: investigation, data curation, validation, methodology, visualization, writing – original draft.

O. S. Bezuglova: conceptualization, project administration, resources, writing – review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Орлов Д.С. *Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации*. М.: Изд-во МГУ, 1990.325. Orlov D.S. *Humic Acids of Soils and the General Theory of Humification*. M.: Moscow State University Publishing House, 1990.325. (In Russ.)
2. Swift R.S., Posner A.M. Nitrogen, phosphorus and sulphur contents of humic acids fractionated with respect to molecular weight. *Journal of Soil Science*. 1972;23(1):50-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1972.tb01640.x>
3. Орлов Д.С. *Гумусовые кислоты почв*. М.: Изд-во МГУ, 1974.332. Orlov D.S. *Humic Acids of Soils*. Moscow: Moscow State University Press, 1974.332. (In Russ.)
4. Thurman E.M. *Organic Geochemistry of Natural Waters*. Dordrecht: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1985.451.
5. Чуков С.Н., Талашкина В.Д., Надпорожская М.А. Физиологическая активность ростовых стимуляторов и гуминовых кислот почв. *Почвоведение*. 1995;2:169-174. Chukov S.N., Talashkina V.D., Nadporozhskaya M.A. Physiological activity of growth stimulants and humic acids of soils. *Pochvovedenie*. 1995;2:169-174. (In Russ.)
6. Zandonadi D.B., Canellas L.P., Façanha A.R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*. 2007;225(6):1583-1595. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0454-2>
7. Куликова Н.А., Перминова И.В., Лебедева Г.Ф., и др. Влияние органического вещества водной и щелочной вытяжек торфа на фотосинтез растений. *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. 1997;2:36-41. Kulikova N.A., Perminova I.V., Lebedeva G.F., et al. Effect of organic matter of aqueous and alkaline extracts of peat on plant photosynthesis. *Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology*. 1997;2:36-41. (In Russ.)
8. Ertani A., Nardi S., Francioso O., et al. Metabolite-targeted analysis and physiological traits of *Zea mays* L. in response to application of a leonardite-humate and lignosulfonate-based products for their evaluation as potential biostimulants. *Agronomy*. 2019;9(8):445. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080445>
9. Наими О.И., Дубинина М.Н., Матюгин В.А., и др. Влияние гуминовых препаратов на содержание подвижного фосфора и активность фосфатазы в черноземе обыкновенном под посевами озимой пшеницы. *Земледелие*. 2023;5:32-36. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-5-32-36>

- Naimi O.I., Dubinina M.N., Matyugin V.A., et al. Effect of humic preparations on the content of mobile phosphorus and phosphatase activity in ordinary chernozem under winter wheat crops. *Zemledelie*. 2023;5:32-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-5-32-36>
10. Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. Киев : Наукова думка, 1995.303.
Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Humic Substances: Structure, Functions, Mechanism of Action, Protective Properties, Ecological Role*. Kyiv: Naukova Dumka, 1995.303. (In Russ.)
 11. Безуглова О.С., Неганова Н.М., Сыровой А.А. Влияние гумата натрия и его производных, обогащенных железом и микроэлементами, на рост и развитие сливы сорта 'Хиссеи'. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2011;3:50-54.
Bezuglova O. S., Neganova N. M., Syrovoy A. A. The influence of sodium humate and its derivatives enriched with iron and microelements on the growth and development of plum variety 'Hissei'. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2011;3:50-54. (In Russ.)
 12. Alvarez-Puebla R.A., Valenzuela-Calahorra C., Garrido J.J. Cu (II) retention on a humic substance. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004;270(1):47-55. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.08.068>
 13. Garcia-Mina J. M., Antolin M. C., Sanchez-Diaz M. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: A study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant and Soil*. 2004;258(1):57-68. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40>
 14. Горовцов А.В., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., и др. Влияние гуминовых веществ на микробиологическую активность почвы под плодовыми культурами. *Живые и биокосные системы*. 2016;18:2. <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2016-18-2>
Gorovtsov A.V., Bezuglova O.S., Polienko E.A., et al. The effect of humic substances on microbial activity of the soil under fruit trees. *Live and bio-abiotic systems*. 2016;18:2. (In Russ.) <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2016-18-2>
 15. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Горовцов А.В., и др. Влияние гуминового удобрения на структуру и микробиологическую активность чернозема южного под различными культурами. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015;17(6):164-168.
Bezuglova O.S., Lykhman V.A., Gorovtsov A.V., et al. Influence of humic fertilizer on structure and microbiological activity of southern chernozem under various cultures. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(6):164-168. (In Russ.)
 16. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton: CRC Press, 2001.413.
 17. Tefera M.F., Gebreyohannes, M. Saraswathi Heavy metal analysis in the soils of in and around Robe town, Bale zone, South-Eastern, Ethiopia. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2018;7(3):251-256. <https://doi.org/10.18393/ejss.430116>
 18. Gottesfeld P., Were F.H., Adogame L., et al. Soil contamination from lead battery manufacturing and recycling in seven African countries. *Environmental Research*. 2018;161:609-614. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.055>
 19. Maestri E., Marmioli M., Visioli G., et al. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;68(1):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.10.011>
 20. Sędzik M., Smolik B., Krupa-Mańkiewicz M. Effect of lead on germination and some morphological and physiological parameters of 10-day-old seedlings of various plant species. *Environmental Protection and Natural Resources*. 2015;26(3):22-27. <https://doi.org/10.1515/oszn-2015-0009>
 21. Rahman S.U., Qin A., Zain M., et al. Pb uptake, accumulation, and translocation in plants: Plant physiological, biochemical, and molecular response: a review. *Heliyon*. 2024;10(6):e27536. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27724>
 22. Liu D., Li T.Q., Jin X.F., et al. Lead induced changes in the growth and antioxidant metabolism of the lead accumulating and non-accumulating ecotypes of *Sedum alfredii*. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2008;50(2):129-140. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00608.x>
 23. Mukhtar S.M., Bhatti H.N., Muhammad Khalid M.K., et al. Potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for phytoremediation of nickel (Ni) and lead (Pb) contaminated water. *Pakistan Journal of Botany*. 2010;42:4017-4026.
 24. Горовая А.И., Орлов Т.В., Ковтун В.А. Гуминовые вещества: Оценка их биологического действия и перспективы применения. *Экология и ноосферология*. 2002;12(3-4):56-63.

- Gorovaya A.I., Orlov T.V., Kovtun V.A. Humic substances: Assessment of their biological action and application prospects. *Ecology and Noospherology*. 2002;12(3-4):56-63. (In Russ.)
25. Попов А.И. *Гуминовые вещества: свойства, строение, образование*. Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербург. ун-та, 2004.248.
Popov A.I. *Humic Substances: Properties, Structure, Formation*. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2004.248. (In Russ.)
26. Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyay B., et al. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 2004;52(3):199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.009>
27. Pinho S., Ladeiro B. Phytotoxicity by lead as heavy metal focus on oxidative stress. *Journal of Botany*. 2012;1:369572. <https://doi.org/10.1155/2012/369572>

Сведения об авторах

Бесчетников Владимир Владимирович —
аспирант, Южный федеральный университет,
Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-5927-3076>

SPIN-код: 4891-1151

beschetnikov@sfedu.ru

Безуглова Ольга Степановна —
доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры почвоведения и оценки
земельных ресурсов, Южный федеральный
университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

SPIN-код: 1553-9142

lola314@mail.ru

About the authors

Vladimir V. Beschetnikov —
Postgraduate student, Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5927-3076>

beschetnikov@sfedu.ru

Olga S. Bezuglova —
Dr. Sci. (Biol.), Prof., Professor of the Department
of Soil Science and Land Resources Assessment,
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

lola314@mail.ru