

АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИББЕРЕЛЛИНОВ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

Г.Н. Федотов¹, В.С. Шалаев², Ю.П. Батырев², И.В. Горепекин¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения, МГУ

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Изучено влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы сорбционными препаратами (СПП) на основе бентонито-гуматовых смесей на их прорастание в почвах и развитие проростков.

Установлено, что воздействие СПП делит семена на две группы. Одни из них подобная обработка заметно стимулирует (25–30 %), а другие угнетает. Показано, что угнетение может быть связано с поглощением СПП биологически-активных веществ (БАВ), поступающих из почв в семена и ускоряющих их развитие. Предложено блокировать активные центры СПП, на которых закрепляются БАВ из почв, используя введение в СПП автолизата пивных дрожжей. Установлено, что такая модификация СПП приводит к резкому возрастанию эффективности применения гиббереллинов для стимулирующей предпосевной обработки семян. В результате стимуляция возрастает с 5–7 % до 25–34 %.

Ключевые слова: аллелотоксичность, стимуляция семян, предпосевная обработка семян, гуматы, бентониты, гиббереллины

Ссылка для цитирования: Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Аллелотоксичность почв и использование гиббереллинов для повышения эффективности обработки семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 6. С. 45–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-45-50

Стимулирующая предпосевная обработка семян гиббереллинами известна давно [1, 2]. При этом наблюдаются небольшие эффекты, которые в большинстве случаев не воспроизводятся. Причины этого не были понятны.

Можно предположить, что небольшая величина эффектов и их невоспроизводимость обусловлены действием гиббереллинов на фоне угнетающего воздействия на семена поступающих в них из почв аллелотоксинов [3–20]. В результате в зависимости от угнетающего действия аллелотоксинов стимулирующее влияние гиббереллинов проявляется в различной степени.

Можно предположить, что защита семян от ингибирующего действия аллелотоксинов сама должна стимулировать развитие семян [21], а также обеспечивать значительное повышение эффективности использования гиббереллинов.

Известно, что глинистые минералы активно сорбируют аллелотоксины [3]. Также в литературе [22, 23] есть информация о том, что глино-гумусовые комплексы в сравнении с гумусовыми веществами (ГВ) и глинистыми минералами обладают по отношению к органическим веществам большей сорбционной способностью. Исходя из этого, для снижения влияния почвенных аллелотоксинов на семена было решено проводить их предпосевную обработку бентонито-гуматными смесями.

Цель работы

Цель работы — проверка перспективности использования сорбционных препаратов для сти-

муляции развития семян и оценка возможности повышения эффективности применения гиббереллинов для предпосевной обработки семян путем снижения поступления аллелотоксинов в семена.

Материалы и методы

В экспериментах использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) урожая 2018 г сортов «Лиза», «Злата», «Любава», «Эстер», «Агата» и «РИМА» через 1–1,5 месяца после уборки и через 2,5–3 (и более) месяцев.

Проращивали семена в субстратах изготовленных на основе сухого отмытого речного песка с размером частиц 0,5–0,8 мм и образцов дерново-подзолистой почвы из окрестностей поймы р. Яхромы влажностью 18,1 %.

Сравнение прорастания семян в почве и песке проводили при влажностях, при которых процессы развития семян в каждом из них протекают с максимальной скоростью [24]. Оптимальное количество воды, добавляемое для этого в песок составило 15 г, дерново-подзолистую почву — 9 г.

Для защитного действия семян от почвенных аллелотоксинов использовали гумат калия (натрия), произведенный ООО НВЦ «Агротехнологии» из бурого угля, и бентонит кальция по ОСТ 18–49–71. В качестве источника гиббереллина применяли препарат «Буто», произведенный ООО «ПСК Техноэкспорт», содержащий натриевые соли гиббереллиновых кислот в количестве 20 г/кг. Также в работе использовали автолизат пивных дрожжей (АПД), произведенный ООО «Биотех плюс».

Обработку семян проводили полусухим способом при расходе 20–40 литров растворов на тонну семян.

Для повышения воспроизводимости получаемых данных изучали изменение интегральной длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.), которую определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков [24].

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000–1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с разнокачественностью семян [1] до 7 %.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования было изучено влияние состава бентонито-гуматовых смесей на развитие семян пшеницы сорт «Лиза».

Из полученных данных видно, что при подборе концентраций бентонита и гумата при расходе суспензии препарата 20 л/т удается добиться высокой стимуляции прорастания семян и скорости развития их проростков. Оптимальной является концентрация 40 г/л бентонита и 10 г/л гумата, что обеспечивает 25 % стимуляцию (табл. 1, рис. 1). При увеличении расхода суспензии в 2 раза до 40 л/т стимуляция возрастает до 30 %. Обращает на себя внимание, что стимуляция достигается только при прорастании семян в почве. При проращивании семян, обработанных оптимальным составом (40–10) при расходе 40 л/т, в песке стимуляции не наблюдается. Это однозначно свидетельствует, что стимулирующий эффект сорбционных препаратов (СРП) связан с поглощением ими аллелотоксинов почв и снижением их ингибирующего эффекта.

Однако эффект стимуляции от использования СРП наблюдается только для сортов «Лиза» и «Злата» (+30 и +25 %). Для сорта «Агата» стимуляция практически отсутствует (+4 %), а для сортов «Любава», «Эстер» и «РИМА» наблюдается угнетение (минус 7 %, минус 14 % и минус 17 % соответственно).

Для того чтобы понять причины данного явления мы изучили поведение семян, не прошедших послеуборочное дозаривание. Почвы стимулировали развитие таких семян (табл. 2), но ингибировали развитие семян, прошедших послеуборочное дозаривание.

Вполне логичное объяснение этому состояло в том, что семенам, не прошедшим послеуборочного дозаривания, не хватало БАВ для их развития (они еще не образовались в семенах), и они получали их из почв. По-видимому, семенам,

Т а б л и ц а 1

Влияние на прорастание и развитие проростков семян яровой пшеницы сорт «Лиза» на дерново-подзолистой почве при их предпосевной обработке суспензиями кальциевого бентонита с гуматом

Influence on the germination and development of spring wheat seeds seedlings of the variety «Lisa» on sod-podzolic soil during their pre-sowing treatment with suspensions of calcium bentonite with humate

Концентрация бентонита кальция, г/л	Концентрация гумата калия, г/л	Расход суспензии, л/т	Эффект, %
5–40	0	20	+4...+7
20	10	20	+15
20	20	20	+15
40	10	20	+25
40	20	20	+14
40	40	20	+5
20	5	20	+8
40	5	20	+16
40	15	20	+16
60	20	20	–3
60	10	20	–3
40	10	30	+27
40	10	40	+30

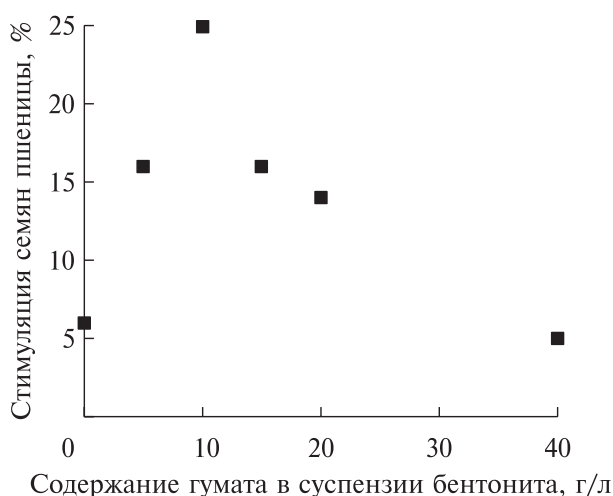


Рис. 1. Влияние содержания гуминового препарата в суспензии кальциевого бентонита с концентрацией 40 г/л на стимуляцию прорастания семян яровой пшеницы сорт «Лиза» и на развитие их проростков

Fig. 1. The effect of the humic preparation content in a suspension of calcium bentonite with a concentration of 40 g/l on the stimulation of germination of spring wheat seeds variety «Lisa» and on the development of their seedlings

которые СРП угнетали, тоже не хватало для их полноценного развития собственных БАВ, и они использовали БАВ из почв.

Т а б л и ц а 2

Влияние дерново-подзолистой почвы на прорастание и развитие семян пшеницы по сравнению с их развитием в песке, выраженное в процентах стимуляции (+) или ингибирования (-)

The effect of sod-podzolic soil on the germination and development of wheat seeds compared with their development in sand, expressed as a percentage of stimulation (+) or inhibition (-)

Сорта яровой пшеницы	Время, прошедшее после сбора урожая, месяцев	
	1...1,5	2,5...3
Злата	+17	-42
Рима	+36	-36
Эстер	+273	-65
Агата	-25	-52
Лиза	-12	-49
Любава	+2	-34

Таким образом, из почв в семена поступают не только аллелотоксины, но и БАВ, которые могут стимулировать их развитие.

Поскольку глинистые минералы обладают большим набором активных центров с разными характеристиками [25], можно ожидать, что сорбция на них ГВ только увеличивает их количество и способность глино-гумусовых комплексов сорбировать органические вещества. Как следствие, применение СРП может блокировать не только поступление в семена аллелотоксинов из почв, но и БАВ.

Проведенные эксперименты свидетельствуют, что сорта яровой пшеницы при предпосевной обработке СРП разбиваются на 2 группы. К первой группе можно отнести семена, замедление поступления в которые БАВ из почвы не оказывает значимого влияния на их развитие. Семена второй группы замедляют свое развитие при непоступлении в них БАВ из почв.

Для предотвращения сорбции БАВ глино-гумусовыми комплексами было необходимо заполнить активные центры сорбента, на которых закрепляются молекулы БАВ из почв. Для этого использовали АПД, который содержит широкий спектр БАВ — витамины, пептиды, аминокислоты, липиды и т.д. В результате эффективность применения препаратов, включающих в свой состав бентонит кальция, гумат калия и АПД повысилась, предпосевная обработка ими семян сорт «Любава» перестала угнетать их прорастание и дальнейший рост проростков, а стала стимулировать (рис. 2). Как следствие, удалось получить препарат, снижающий негативное действие на семена аллелотоксинов и в минимальной степени поглощающий БАВ из почв, необходимые для развития семян.

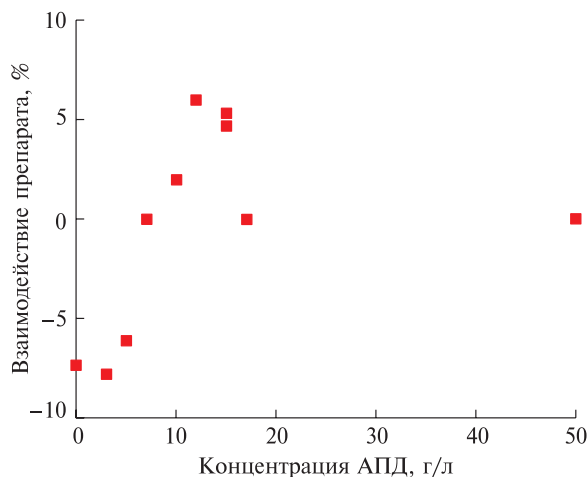


Рис. 2. Влияние содержания АПД в суспензии бентонита кальция (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Любава» и на развитие их проростков

Fig. 2. The effect of APD in a suspension of calcium bentonite (40 g/l) with a humic preparation (10 g/l) on the germination of spring wheat seeds of the Lyubava variety and on the development of their seedlings

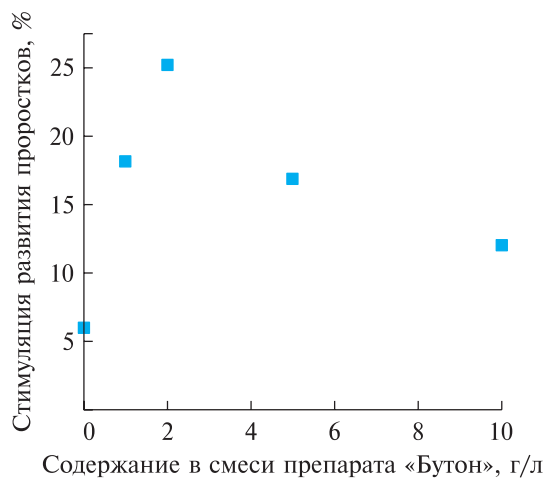


Рис. 3. Влияние содержания препарата «Бутон» в суспензии бентонита кальция (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на прорастание семян яровой пшеницы сорт «Любава» и на развитие их проростков

Fig. 3. The effect of the content of the «Bud» preparation in a suspension of calcium bentonite (40 g/l) with a humic preparation (10 g/l) and APD (12 g/l) on the germination of spring wheat seeds of the Lyubava variety and on the development of their seedlings

Введение в данный препарат гиббереллинов привело к заметному усилению стимуляции семян гиббереллинами с 5...7 %, наблюдаемых для растворов чистого гиббереллина, до 25% (рис. 3). На пшенице сорт «Лиза» стимулирующий эффект препарата оказался еще выше и составил около 34 %.

Выводы

1. Применение СРП на основе бентонит-гуматовых смесей для стимулирующей обработки семян эффективно не для всех сортов пшеницы. Для некоторых сортов СРП вызывает угнетение развития семян, которое, по-видимому, связано с ограничением поступления из почв в семена БАВ, необходимых для их развития.

2. Введение АПД в СРП позволяет заполнить активные центры сорбента, на которых могут закрепляться БАВ из почв, что снимает угнетение с развития семян при использовании СРП.

3. Введение гиббереллина в СРП с АПД приводит к резкому повышению эффективности его использования с 5...7 % до 25...34 %.

Список литературы

- [1] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [2] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 506 с.
- [3] Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головкин Э.А., Дзюбенко Н.Н., Мороз П.А., Прутенская Н.И. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка, 1979. 248 с.
- [4] Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. Избранные труды. Киев: Наукова думка, 1991. 432 с.
- [5] Зинченко М.К., Селицкая О.В. Биологическая токсичность серой лесной почвы в зависимости от систем удобрений // *Агрехимический вестник*, 2011. № 5. С. 38–40.
- [6] Коношина С.Н. Влияние различных способов использования почвы на ее аллелопатическую активность: дис. ... канд. с.-х. наук. Орел, 2000. 145 с.
- [7] Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: АН СССР, 1958. 464 с.
- [8] Лобков В.Т. Экологические основы почвоутомления в полевых агроценозах центрально-черноземной полосы России: автореф. дис. д-ра с.-х. наук. Курск, 1994. 32 с.
- [9] Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии. Орел: ОГАУ, 2017. 166 с.
- [10] Млечко Е.А., Мотренко А.В. Аллелопатическое действие водного экстракта шалфея эфиопского (*Salvia Aethiopsis* L.) на прорастание семян тест-растений // *Вестник ВолГУ*, 2015. Сер. 9. Вып. 13. С. 10–14.
- [11] Симагина Н.О. Аллелопатический потенциал древесных растений // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского Серия «Биология, химия»*, 2013. Т. 26 (65). № 1. С. 186–193.
- [12] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Netherlands: Springer, 2006, 637 p.
- [13] Blum U. Allelopathy: A Soil System Perspective // *Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications*. Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Netherlands: Springer, 2006, pp. 299–340.
- [14] Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy // *Frontiers in Plant Science*, 2015, v. 6, article 1020.
- [15] Ghulam J., Shaukat M., Arshad N.C., Imran H., Muhammad A. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil — a review // *Annals of Microbiology*, 2008, no. 58 (3), pp. 351–357.
- [16] Li Y.P., Feng Y.L., Chen Y.J., Tian Y.H. Soil microbes alleviate allelopathy of invasive plants // *Sci. Bull.*, 2015, v. 60(12), pp. 1083–1091.
- [17] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // *Bacteriological Reviews*, 1964, v.28, no. 2, pp. 181–207.
- [18] Norouzi Y., Mohammadi G.R. and Nosrati I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species // *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, no. 5(8), pp. 285–290.
- [19] Rice E.L. Allelopathy. New York, London: Academic Press, 1984. 422 p.
- [20] Vokou D., Chalkos D. and Karamanoli K. Microorganisms and Allelopathy: A One-Sided Approach // *Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications*. Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Netherlands: Springer, 2006, pp. 341–371.
- [21] Шоба С.А., Салимгареева О.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Степанов А.Л. Закрепление аллелотоксинов почв гуминовыми веществами как основа стимуляции прорастания семян // *Доклады академии наук*, 2019. Т. 487. № 3. С. 108–111.
- [22] Куликова Н.А. Связывающая способность и детоксицирующие свойства гумусовых кислот по отношению к атразину: дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1999. 171 с.
- [23] Li H., Sheng G., Teppen B.J., Johnston C.T., Boyd S.A. Sorption and Desorption of Pesticides by Clay Minerals and Humic Acid-Clay Complexes // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, v. 67, pp. 122–131.
- [24] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В. Влияние аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // *Почвоведение*, 2019. № 4. С. 489–496.
- [25] Шинкарев А.А., Гиниятуллин К.Г., Мельников Л.В. Органические компоненты глино-металло-органического комплекса почв лесостепи (теоретические и экспериментальные аспекты изучения). Казань: КГУ, 2007. 248 с.

Сведения об авторах

Федотов Геннадий Николаевич — вед. науч. сотр., д-р биол. наук, факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

Шалаев Валентин Сергеевич — гл. науч. сотр., д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shalaev@mgul.ac.ru

Батырев Юрий Павлович — доцент, канд. техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

Горепекин Иван Владимирович — студент факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

Поступила в редакцию 28.08.2019.

Принята к публикации 10.11.2019.

SOIL ALLELOTOXICITY AND USE GIBBERELLINS TO INCREASE EFFICIENCY OF SEED PRESOWING TREATMENT

G.N. Fedotov¹, V.S. Shalaev², Yu.P. Batyrev², I.V. Gorepekin¹

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, GSP-1, 1, p. 12, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

The influence of pre-sowing treatment of spring wheat seeds with sorption preparations based on bentonite-humate mixtures on their germination in soils and the development of seedlings was studied. It was found that the impact of sorption preparations divides the seeds into two groups. Some of them such treatment significantly stimulates (25–30 %), and others depresses. It is shown that the inhibition may be associated with the absorption of sorption preparations biologically active substances coming from the soil into the seeds and accelerating their development. It is proposed to block the active centers of sorption preparations, which are fixed active substances from the soil, using the introduction of sorption preparations autolysate of brewer's yeast. It is established that such modification of sorption preparations leads to a sharp increase in the effectiveness of gibberellins for stimulating pre-sowing treatment of seeds. As a result, stimulation increases from 5–7 % to 25–34 %.

Keywords: Allelotoxicity, stimulation of seeds, pre-sowing seed treatment, humate, bentonites, gibberellins

Suggested citation: Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Allelotoksichnost' pochvy i ispol'zovanie gibberellinov dlya povysheniya effektivnosti obrabotki semyan* [Soil allelotoxicity and use gibberellins to increase efficiency of seed presowing treatment] // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 6. С. 45–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-45-50

References

- [1] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [2] Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Handbook of resting seed germination]. Leningrad: Nauka, 1985, 506 p.
- [3] Grodzinskiy A.M., Bogdan G.P., Golovko E.A., Dzyubenko N.N., Moroz P.A., Prutenskaya N.I. *Allelopaticeskoe pochvoutomlenie* [Allelopathic soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka, 1979, 248 p.
- [4] Grodzinskiy A.M. *Allelopatiya rasteniy i pochvoutomlenie. Izbrannye trudy* [Plant allelopathy and soil fatigue]. Kiev: Naukova dumka, 1991, 432 p.
- [5] Zinchenko M.K., Selitskaya O.V. *Biologicheskaya toksichnost' seroy lesnoy pochvy v zavisimosti ot sistem udobreniy* [The biological toxicity of grey forest soil depending on the fertilizers system]. *Agrohimicheskii vestnik*. 2011, no. 5, pp. 38–40.
- [6] Konoshina S.N. *Vliyanie razlichnykh sposobov ispol'zovaniya pochvy na ee allelopaticeskuyu aktivnost': dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Influence of different methods soil use on its allelopathic activity]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Orel: OGAU, 2000, 145 p.
- [7] Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow: AN SSSR, 1958, 464 p.
- [8] Lobkov V.T. *Ekologicheskie osnovy pochvoutomleniya v polevykh agrotsenozakh tsentral'no-chernozemnoy polosy Rossii: avtoref. diss. d-ra s.-kh. nauk* [Ecological bases soil fatigue in field agrocenoses in the Central black earth strip of Russia]. Avtoref. Diss. Dr. Dci. (Agric.). Kursk, 1994, 32 p.
- [9] Lobkov V.T. *Ispol'zovanie pochvenno-biologicheskogo faktora v zemledelii* [The use of soil and biological factors in agriculture]. Orel: OGAU, 2017, 166 p.
- [10] Mlechko E.A., Motrenko A.V. *Allelopaticeskoe deystvie vodnogo ekstrakta shalfeya efiposkogo (Salvia Aethiopsis L.) na prorstanie semyan test-rasteniy* [Allelopathic effect of aqueous extract of Ethiopian sage (Salvia Aethiopsis L.) on seeds germination of test plants]. *Vestnik VolGU*, 2015, Ser. 9, v. 13, pp. 10–14.
- [11] Simagina N.O. *Allelopaticeskii potentsial drevesnykh rasteniy* [Allelopathic potential of woody plants]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ser. Biologiya, khimiya*, 2013, t. 26(65), no. 1, pp. 186–193.
- [12] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Netherlands: Springer, 2006, 637 p.
- [13] Blum U. Allelopathy: A Soil System Perspective. *Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications*. Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Netherlands: Springer, 2006, pp. 299–340.
- [14] Cheng F., Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 2015, v. 6, article 1020.
- [15] Ghulam J., Shaikat M., Arshad N.C., Imran H., Muhammad A. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil — a review. *Annals of Microbiology*, 2008, no. 58 (3), pp. 351–357.
- [16] Li Y.P., Feng Y.L., Chen Y.J., Tian Y.H. Soil microbes alleviate allelopathy of invasive plants. *Sci. Bull.*, 2015, v. 60(12), pp. 1083–1091.
- [17] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues. *Bacteriological Reviews*, 1964, v.28, no. 2, pp. 181–207.
- [18] Norouzi Y., Mohammadi G.R. and Nosratti I. Soil factors affecting the allelopathic activities of some plant species. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 2015, no. 5(8), pp. 285–290.
- [19] Rice E.L. *Allelopathy*. New York, London: Academic Press, 1984. 422 p.

- [20] Vokou D., Chalkos D. and Karamanoli K. Microorganisms and Allelopathy: A One-Sided Approach. Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Netherlands: Springer, 2006, pp. 341–371.
- [21] Shoba S.A., Salimgareeva O.A., Gorepekin I.V., Fedotov G.N., Stepanov A.L. *Zakreplenie allelotoksinov pochv guminovymi veshchestvami kak osnova stimulyatsii prorastaniya semyan* [Fixation of soil allelotoxins with humic substances as a basis for seed germination stimulation]. *Doklady akademii nauk*, 2019, t. 487, no. 3, pp. 108–111.
- [22] Kulikova N.A. *Svyazyvayushchaya sposobnost' i detoksiiruyushchie svoystva gumusovykh kislot po otnosheniyu k atrazinu: dis. ... kand. biol. nauk* [Binding capacity and detoxifying properties of humic acids in relation to atrazine]. Diss. Cand. Sci. (Biol.). Moscow: MSU, 1999, 171 p.
- [23] Li H., Sheng G., Teppen B.J., Johnston C.T., Boyd S.A. Sorption and Desorption of Pesticides by Clay Minerals and Humic Acid-Clay Complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, v. 67, pp. 122–131.
- [24] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F., Gorepekin I.V. *Vliyaniye allelotoksichnosti pochv na prorastaniye semyan zernovykh kul'tur* [Allelochemical the influence of soils on germination of seeds of grain crops]. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], 2019, no. 4, pp. 489–496.
- [25] Shinkarev A.A., Giniyatullin K.G., Mel'nikov L.V. *Organicheskie komponenty glino-metallo-organicheskogo kompleksa pochv lesostepi* [Organic components of clay-metal-organic complex of forest-steppe soils]. Kazan': KGU, 2007, 248 p.

Authors' information

Fedotov Gennadiy Nikolaevich — Senior Researcher, Dr. Sci. (Biol.), Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Shalaev Valentin Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.) Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), shalaev@mgul.ac.ru

Batyrev Yuriy Pavlovich — Cand. Sci. (Tech.) Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@mgul.ac.ru

Gorepyokin Ivan Vladimirovich — Student of the Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Received 28.08.2019.

Accepted for publication 10.11.2019.