

## УТОЧНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ВЛИЯНИИ АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

И.В. Горепекин<sup>1</sup>, Г.Н. Федотов<sup>1</sup>, В.С. Шалаев<sup>2</sup>, Ю.П. Батырев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Проведена оценка влияния аллелотоксичности 12 образцов почв Восточно-Европейской равнины на прорастание семян яровой пшеницы различных сортов. На основе полученных данных сделан вывод о том, что влияние биологически активных веществ на прорастание семян обусловлено, с одной стороны, содержанием этих веществ в почвах, а с другой — различной обеспеченностью семян необходимыми для развития биологически активными веществами. Высказано предположение о наличии единого механизма защиты семян от негативного влияния почвенных аллелотоксинов.

**Ключевые слова:** аллелотоксичность, биологически активные вещества, история землепользования

**Ссылка для цитирования:** Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Уточнение представлений о влиянии аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 51–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-51-56

Почва является одним из наиболее активных компонентов биосферы, а ее биохимическая активность во многом определяется деятельностью живых организмов [1]. В свою очередь, деятельность последних является источником разнообразных биологически активных веществ (БАВ), в значительной мере влияющих на продуктивность агроэкосистем [2, 3]. Важное значение в этом процессе имеют аллелотоксины, которые являются основной причиной формирования известного в сельском хозяйстве явления — почвоутомления [2, 4–9]. Наиболее существенно влияние аллелотоксичности почв на растения проявляется на начальном этапе их развития [10]. Наблюдаемые при этом негативные эффекты, в том числе ослабление защитных реакций растений по отношению к факторам внешней среды, а также замедление прорастания семян и развития из них растений, не нивелируются в ходе жизненного цикла [3] и вызывают снижение количества и ухудшение качества получаемого сырья для сельскохозяйственной продукции [3].

Все это обуславливает исключительную важность изучения явления аллелотоксичности почв и ее влияния на растения.

Несмотря на это до середины XX в. исследованиям в сфере аллелотоксичности почв уделяли недостаточно внимания, прежде всего в связи со сложностью процесса изучения аллелотоксичности почв и реакции на нее растений. К тому же методы химического анализа содержания в почвах аллелотоксинов не могут дать объективной оценки уровня их воздействия на растения.

Во-первых, соединений, которые могут ингибировать развитие растений, достаточно много (в работах [5, 11] приводятся данные о том, что

несколько тысяч химических соединений, производных фенолов, обладают биологической активностью) [9], что делает количественный анализ содержания этих веществ в почвах трудновыполнимой задачей.

Во-вторых, токсины закреплены в почвах связями с сильно отличающейся энергией [2]. Поэтому практически невозможно определить, какая часть молекул аллелотоксинов, находящихся в почве, будет оказывать негативное влияние на растения, а к каким из них растения будут нечувствительны. Как следствие, практически невозможно подобрать растворитель, позволяющий количественно извлекать только те аллелотоксины, которые доступны растениям.

В-третьих, аллелотоксины во многих случаях представляют собой смесь различных веществ, причем концентрация каждого из компонентов смеси может быть ниже порога ингибирования, а суммарное угнетение — достаточно сильным [7]. Более того, эти вещества не действуют независимо одно на другое, а проявляются лишь в совокупном влиянии, усиливая или ослабляя эффекты.

В-четвертых, какие-то вещества сами по себе не токсичны (сахара, нитрат-ионы), но значительно усиливают действие части аллелотоксинов [7].

Таким образом, в настоящее время основными методами изучения аллелотоксичности почв являются методы биотестирования, хотя и имеющие некоторые ограничения, в частности:

1) проведение исследований на почвах, а не на вытяжках из почвы, аллелотоксичность которых заметно отличается от исходных образцов [2, 5];

2) выполнение экспериментов в водно-воздушных условиях, обеспечивающих максимальную скорость развития семян в данной почве;

3) использование в опытах выборки семян в количестве 1000...1200 шт. для обеспечения точности эксперимента с ошибкой среднего не более 5...7 % [12].

## Цель работы

В связи с разработкой нового метода биотестирования [13], учитывающего перечисленные ограничения, возник интерес рассмотреть механизмы влияния аллелотоксичности почв с различными агрохимическими свойствами и историей землепользования на прорастание семян и развитие из них растений и внести научно обоснованные уточнения.

## Материалы и методы

В работе использовали семена яровой пшеницы (*Triticum*) сортов Лиза, Злата, Агата, Любава, РИМА и Эстер.

Испытания проводили на следующих образцах почв:

– окультуренной дерново-подзолистой глубокоподзолистой глубокопахотной легкосуглинистой на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциальными отложениями, после викоовсяной смеси (1), после горчицы (2), после картофеля (3), после ячменя (4);

– дерново-неглубокоподзолистой освоенной глубокопахотной легкосуглинистой на покровных суглинках, подстилаемых мореной, залежь с 2015 г. (5);

– дерново-неглубокоподзолистой освоенной глубокопахотной легкосуглинистой на покровных суглинках, подстилаемых мореной, залежь с 2015 г., иллювиальный горизонт (6);

– дерново-подзолистой освоенной глубокопахотной сильноосмытой на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциальными отложениями, после картофеля, залежь с 2015 г. (7);

– глубокодерново-подзолистой слабодифференцированной легкосуглинистой на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциальными отложениями, старопахотной под лесом, лесная подстилка (8);

– агродерново-глубокоподзолистой легкосуглинистой на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях, подстилаемой с глубины 92 см бескарбонатными лессовидными (покровными) суглинками, после пшеницы (9);

– чернозема типичного среднесуглинистого на лессовидных суглинках, после картофеля (10);

– серой лесной освоенной слабосмытой среднесуглинистой на лессовидных суглинках, подстилаемых мореной, после пшеницы (11);

– каштановой среднесуглинистой на элювиально-делювиальных суглинках, залежь более 20 лет (12).

Использование широкого спектра объектов исследования позволило провести широкую объективную оценку аллелотоксичности почв.

В качестве субстрата сравнения, который не содержит аллелотоксинов, был выбран отмытый речной песок с размером частиц 0,5...0,8 мм.

Изучено влияние почв на изменение длины проростков 7,5 г семян (~200 шт.) при их прорастании в различных почвах по сравнению с песком. Длину проростков определяли, используя экспресс-метод, основанный на линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков [13]. Семена, проросшие в почве или песке, отмывали от субстрата и порционно помещали в 100-миллитровый мерный цилиндр с водой, колеблющийся, с частотой 50 Гц. После помещения в цилиндр каждой порции проросших семян, которые создавали ажурную пористую структуру, на них для уплотнения структуры на 15...20 с помещали небольшой груз массой 8 г в виде резиновой пробки. После помещения всех проросших семян в цилиндр на них клали груз и проводили дополнительное уплотнение структуры легкими постукиваниями (30...40) цилиндра с семенами о стол. Эти операции позволяли создать достаточно однородную структуру, по нижней границе груза можно было определить насыпной объем с точностью до 0,5 мл. Полученные результаты по изменению суммарной длины проростков семян яровой пшеницы на почвах относительно песка выражали в процентах. Так, например, значение ингибирования яровой пшеницы сорта «Эстер» на образце почвы номер 1 составляет — 55 %. Это означает, что на момент проведения измерений длина проростков данного сорта пшеницы при проращивании в почве была на 55 % ниже по сравнению с длиной проростков семян, развивавшихся в песке.

При проведении экспериментов на дно чашки диаметром 95 мм помещали 30 г почвы или песка, затем ровным слоем размещали 7,5 г семян, а сверху — 30 г почвы или песка соответственно. После этого в чашку равномерно из мерной пипетки добавляли воду. Использовали шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000...1200 семян удавалось минимизировать погрешность, связанную с их разным качеством [14]. В результате погрешность опыта не превышала 7 % при 95%-й доверительной вероятности. Большинство экспериментов проводили при температуре 23...26 °С.

Определяли следующие химические свойства почв: рН<sub>KCl</sub>, содержание обменного калия (K<sub>2</sub>O<sub>обм</sub>), подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>подв</sub>), обменного кальция (Ca<sub>обм</sub>), общее содержание углерода

### Химические свойства и предыстория использования изученных почв

#### Chemical properties and history of the use of the studied soils

Номер образца почвы	Предыстория использования	pH <sub>KCl</sub>	Ca <sub>обм</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sub>подв</sub>	K <sub>2</sub> O <sub>обм</sub>	N <sub>общ</sub>	S <sub>общ</sub>	C <sub>общ</sub>
1	Викоовсяная смесь	6,2	208	31,5	36,90	0,29	0,09	3,33
2	Горчица	6,3	216	32,5	25,90	0,35	0,10	3,91
3	Картофель	5,9	167	31,5	29,80	0,23	0,07	2,57
4	Ячмень	6,1	117	31,0	22,00	0,20	0,06	2,23
5	Залежь с 2015 года	5,5	83	14,5	6,48	0,17	0,05	1,82
6	Залежь с 2015 года	5,1	67	3,0	3,25	0,04	0,02	0,26
7	После картофеля с 2015 года	5,1	67	17,5	7,15	0,17	0,04	1,71
8	Старопахотная почва под лесом	3,6	117	6,0	11,00	1,18	0,39	35,10
9	Пшеница	6,6	133	29,0	19,40	0,14	0,05	1,65
10	Картофель	5,3	316	4,0	—	0,24	0,08	3,58
11	Пшеница	5,0	100	18,5	15,50	0,12	0,05	1,07
12	Залежь более 20 лет	6,2	150	5,5	11,00	0,09	0,05	0,80

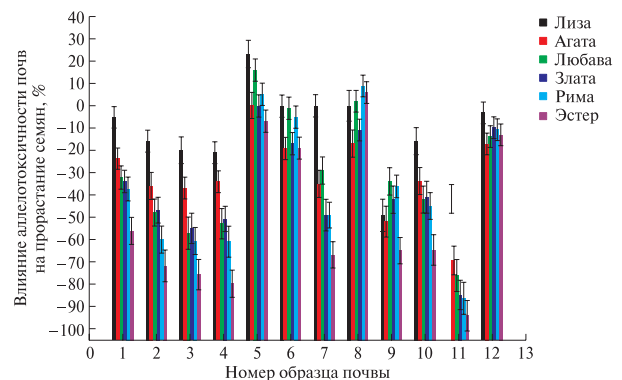
*Примечание.* Номера почв соответствуют нумерации, приведенной в разделе «Материалы и методы». Содержание Ca<sub>обм</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>подв</sub>, K<sub>2</sub>O<sub>обм</sub> — в мг/100 г, N<sub>общ</sub>, S<sub>общ</sub>, C<sub>общ</sub> — в %.

(C<sub>общ</sub>), азота (N<sub>общ</sub>) и серы (S<sub>общ</sub>). Измерение pH и содержания в почвах калия (K<sub>2</sub>O<sub>обм</sub>), фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>подв</sub>) и обменного кальция (Ca<sub>обм</sub>) проводили по стандартным методикам [15, 16] с использованием фотоколориметра КФК-3 и пламенного фотометра ПФМ. Определение содержания в почвах азота (N<sub>общ</sub>), серы (S<sub>общ</sub>) и углерода (C<sub>общ</sub>) проводили на CHNS-анализаторе Vario EL III, Elementar, Germany.

### Результаты и обсуждение

Перед изучением аллелотоксичности почв был проведен их химический анализ, который показал, что агрохимические свойства почв не могли лимитировать прорастание семян и развитие из них растений (таблица).

Сорта пшеницы отличаются по реакции на аллелотоксины. Установлена закономерность в их отклике: в большинстве случаев, когда один сорт проявляет большую устойчивость к аллелотоксинам одной почвы, данное свойство сохраняется и при переходе на другие почвы. Это иллюстрирует наличие определенной последовательности в ряду ингибирования сортов яровой пшеницы на различных почвах (рис. 1). Так, например, яровая пшеница сорта Лиза проявляет наибольшую устойчивость к аллелотоксинам дерново-подзолистой почвы № 1 (см. таблицу) (ингибирование на уровне -5 %) и при переходе на другие почвы сохраняет свое положение относительно других сортов, в то время как сорт Эстер оказывается наименее устойчивым к аллелотоксинам всех изученных почв.

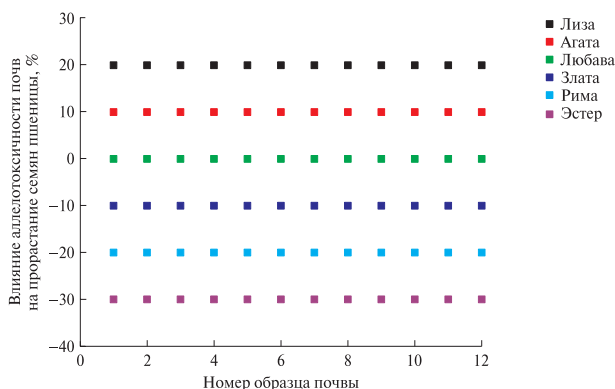


**Рис. 1.** Влияние аллелотоксичности почв с различной историей землепользования на прорастание семян некоторых сортов яровой пшеницы

**Fig. 1.** Influence of allelopathy of soils with different history of land use on seed germination of some varieties of spring wheat

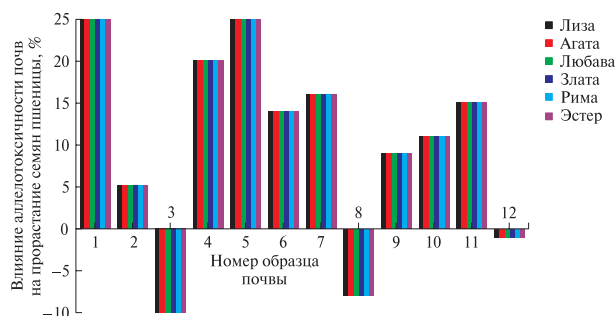
Из физиологии растений известно [17], что на начальном этапе прорастание семян определяется двумя составляющими: водно-воздушными условиями и наличием БАВ. В связи с проведением опытов в водно-воздушных условиях, обеспечивающих максимальную скорость развития семян в каждом субстрате [13], можно предположить наличие двух факторов, определяющих отклик семян в соответствии с полученными данными: а) содержание БАВ в почвах; б) содержание (обеспеченность) БАВ в семенах.

В случае одинакового содержания БАВ в почвах и различной потребности сортов яровой пшеницы в этих веществах влияние почв на прорастание семян определенного сорта оставалось бы



**Рис. 2.** Возможное влияние аллелотоксичности почв с одинаковым содержанием биологически активных веществ на прорастание семян различных сортов яровой пшеницы

**Fig. 2.** Possible influence of allelopathicity of soils with the same content of biologically active substances on seed germination of different varieties of spring wheat



**Рис. 3.** Возможное влияние аллелотоксичности почв с различным содержанием биологически активных веществ на прорастание семян различных сортов яровой пшеницы при равном исходном содержании в них БАВ

**Fig. 3.** Possible influence of allelopathicity of soils with different content of biologically active substances on seed germination of different varieties of spring wheat with an equal initial content of biologically active substances

неизменным. При этом сохранялась бы последовательность в ряду скорости прорастания сортов. Тогда влияние почв можно описать представленными зависимостями (рис. 2), т. е. семена растений должны реагировать одинаково на разные почвы.

В случае, если семена разных сортов в равной степени обеспечены собственным запасом БАВ, но содержание этих веществ варьируется от почвы к почве, то отклик семян в пределах одной почвы был бы одинаков и получаемые зависимости должны были бы определяться только уровнем обеспеченности почв БАВ. В таком случае влияние почв должно иметь следующий вид (рис. 3).

Таким образом, сравнивая модельные графики (см. рис. 2, 3) с результатами экспериментов (см. рис. 1), можно сделать вывод, о том, что распределение полученных данных связано как с неодинаковым содержанием БАВ в почвах, так и с различной исходной обеспеченностью семян этими веществами.

Кроме того, с позиции учета аллелотоксичности почв и наличия закономерности во влиянии изученных почв на прорастание семян (см. рис. 1), можно предположить несколько объяснений природы воздействия аллелотоксинов на семена:

1) состав аллелотоксинов в различных почвах по своему действию схож и изменяется только действующая концентрация этой смеси;

2) семена различных сортов яровой пшеницы обладают однотипным механизмом защиты от почвенных аллелотоксинов.

Реализация первого варианта, основанного на одинаковом составе почвенных БАВ, в природных условиях маловероятна даже в пределах почв одного типа, так как, во-первых, состав поступающих в почву БАВ определяется видовой принадлежностью растений, которые произрастают на этих почвах [2, 18]. Во-вторых, содержание БАВ может варьировать в зависимости от используемой системы ведения сельского хозяйства [19].

В связи с этим можно ожидать наличие сходного механизма защиты семян зерновых культур от негативного воздействия аллелотоксинов.

### Выводы

Таким образом, из проведенных экспериментов следуют два очевидных вывода:

1) семена изученных сортов яровой пшеницы обеспечены БАВ по-разному;

2) исследованные почвы отличаются по содержанию БАВ. При этом у семян различных сортов яровой пшеницы, по-видимому, существует единый механизм защиты от действия почвенных аллелотоксинов, независимо от их природы.

### Список литературы

- [1] Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 464 с.
- [2] 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.
- [3] Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии: монография. Орел: Орловский ГАУ, 2017. 166 с.
- [4] Берестецкий О.А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль // Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов / под ред. О.А. Берестецкого. Л., ВНИИСХМ, 1978. С. 7–30.
- [5] Вольнец А.П. Фенольные соединения в жизнедеятельности растений. Минск: Беларус. навука, 2013. 283 с.
- [6] Лобков В.Т. Почвоутомление при выращивании полевых культур. М.: Колос, 1994. 112 с.
- [7] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications / Ed. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Springer, 2006, 637 p.
- [8] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // Bacteriological Reviews, 1964, v. 28, no. 2, pp. 181–207.
- [9] Rice E.L. Allelopathy. New York — London: Academic Press, 1984. 422 p.

- [10] Коношина С.Н. Влияние различных способов использования почвы на ее аллелопатическую активность: дис. ... канд. с.-х. наук. Орел: Орловский ГАУ. 2000. 145 с.
- [11] Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // *Агрохимия*, 2008. Т. 7. С. 86–96.
- [12] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / Под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [13] Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Методика для оценки эффективности действия стимуляторов прорастания семян // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2018. Т. 22. № 6. С. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101
- [14] Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К., Иващенко В.Г., Кузнецов Е.Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [15] Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
- [16] Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- [17] Обручева Н.В., Антипова О.В. Физиология инициации прорастания семян // *Физиология растений*, 1997. Т. 44. № 2. С. 287–302.
- [18] Кравченко Л.В., Шапошников А.И., Макарова Н.М., Азарова Т.С., Львова К.А., Костюк И.И., Тихонович И.А. Видовые особенности состава корневых выделений растений и его изменение в ризосфере под влиянием почвенной микрофлоры // *Сельскохозяйственная биология*, 2011. Т. 46. № 3. С. 71–75.
- [19] Meysner T., Szajdak L., Kuś J. Impact of the farming systems on the content of biologically active substances and the forms of nitrogen in the soils // *Agronomy research*, 2006, v. 4, no. 2, pp. 531–542.

## Сведения об авторах

**Горепекин Иван Владимирович** — аспирант факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, decembrist96@yandex.ru

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

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

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

Поступила в редакцию 15.12.2020.

Принята к публикации 25.01.2021.

## INFLUENCE OF SOIL ALLETOXICITY ON GRAIN SEEDS GROWTH

I.V. Gorepyokin<sup>1</sup>, G.N. Fedotov<sup>1</sup>, V.S. Shalaev<sup>2</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

The allelotoxicity influence of 12 samples of Great Russian Plain soils on the seed germination of different cultivars of spring wheat was assessed. Based on the obtained data it is concluded that the effect of biologically active substances (BAS) on seed germination is due, on the one hand, to the content of these substances in the soils, and on the other hand, to the various content in seeds of BAS required for their development. The supposition about the existence of a common mechanism to protect the seed from the negative influence of soil allelotoxins is made.

**Keywords:** allelotoxicity, biologically active substances, land use history

**Suggested citation:** Gorepekin I. V., Fedotov G. N., Shalaev V. S., Batyrev Yu.P. *Utochnenie predstavleniy o vliyaniy allelotoksichnosti pochv na prorastanie semyan zernovykh kul'tur* [Influence of soil allelotoxicity on grain seeds growth]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 51–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-51-56

## References

- [1] Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow: AN SSSR Publ., 1958, 464 p.
- [2] 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.
- [3] Lobkov V.T. *Ispol'zovanie pochvenno-biologicheskogo faktora v zemledelii: monografiya* [Use of the soil-biological factor in agriculture: monograph]. Oryol: Oryol State Agrarian University, 2017, 166 p.
- [4] Berestetskiy O.A. *Fitotoksiny pochvennykh mikroorganizmov i ikh ekologicheskaya rol'* [Phytotoxins of soil microorganisms and their ecological role]. *Fitotoksicheskie svoystva pochvennykh mikroorganizmov* [Phytotoxic properties of soil microorganisms]. Leningrad: VNIISHM, 1978, pp. 7–30.
- [5] Volynets A.P. *Fenol'nye soedineniya v zhiznedeyatel'nosti rasteniy* [Phenolic compounds in plant life]. Minsk: Belarus. navuka, 2013, 283 p.

- [6] Lobkov V.T. *Pochvoutomlenie pri vyrashchivanii polevykh kul'tur* [Soil fatigue when growing field crops]. Moscow: Kolos, 1994, 112 p.
- [7] Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. Ed. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. Gonzalez. Springer, 2006, 637 p.
- [8] McCalla T.M., Haskins F.A. Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues. *Bacteriological Reviews*, 1964, v. 28, no. 2, pp. 181–207.
- [9] Rice E.L. *Allelopathy*. New York–London: Academic Press, 1984. 422 p.
- [10] Konoshina S.N. *Vliyanie razlichnykh sposobov ispol'zovaniya pochvy na ee allelopateskuyu aktivnost'* [Influence of different methods of soil use on its allelopathic activity]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Oryol: Oryol GAU, 2000, 145 p.
- [11] Prusakova L.D., Kefeli V.I., Belopukhov S.L., Vakulenko V.V., Kuznetsova S.A. *Rol' fenol'nykh soedineniy v rasteniyakh* [Role of phenolic compounds in plants]. *Agrokhimiya* [Agricultural Chemistry], 2008, t. 7, pp. 86–96.
- [12] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Ed. N.F. Batygin. Minsk: Uradzhay, 1986, 118 p.
- [13] Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Metodika dlya otsenki effektivnosti deystviya stimulyatorov prarastaniya semyan* [Methodology for assessing seeds germination stimulants effectiveness] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101
- [14] 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.
- [15] *Praktikum po agrokhimii* [Workshop on agrochemistry]. Ed. V.G. Mineev. Moscow: MGU Publ., 1989, 304 p.
- [16] *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Ed. L.A. Vorob'eva. Moscow: GEOS, 2006, 400 p.
- [17] Obrucheva N.V., Antipova O.V. *Fiziologiya initsiatsii prarastaniya semyan* [Physiology of seed germination initiation]. *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology], 1997, t. 44, no. 2, pp. 287–302.
- [18] Kravchenko L.V., Shaposhnikov A.I., Makarova N.M., Azarova T.S., L'vova K.A., Kostyuk I.I., *Tikhonovich I.A. Vidovye osobennosti sostava korneykh vydeleniy rasteniy i ego izmenenie v rizosfere pod vliyaniem pochvennoy mikroflory* [Specific features of the composition of plant root secretions and its changes in the rhizosphere under the influence of soil microflora]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2011, t. 46, no. 3, pp. 71–75.
- [19] Meysner T., Szajdak L., Kuś J. Impact of the farming systems on the content of biologically active substances and the forms of nitrogen in the soils. *Agronomy research*, 2006, v. 4, no. 2, pp. 531–542.

## Author's information

**Gorepekin Ivan Vladimirovich** — Ph.D. Student of the Lomonosov Moscow State University, decem-  
brist96@yandex.ru

**Fedotov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher of the 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

Received 15.12.2020.

Accepted for publication 25.01.2021.