

## АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ И СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ЕЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА НАЧАЛЬНУЮ СТАДИЮ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

© 2020 г. Г. Н. Федотов<sup>а, \*</sup>, С. А. Шоба<sup>а</sup>, И. В. Горепекин<sup>а</sup>

<sup>а</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

Поступила в редакцию 16.10.2019 г.

После доработки 04.02.2020 г.

Принята к публикации 27.02.2020 г.

Изучено применение сорбционных препаратов (СРП) на основе бентонито-гуматовых смесей для стимулирующей обработки семян при посеве их в дерново-подзолистые почвы (Albic Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)). Установлено, что действие СРП проявляется тем сильнее, чем выше ингибирование начальной стадии развития растений почвами. Показано, что подобная обработка эффективна не для всех сортов яровой пшеницы. Для некоторых из них обработка СРП вызывает угнетение прорастания семян и развития их проростков. Введение автолизата пивных дрожжей (АПД) в сорбционный препарат снимает угнетение начальной стадии развития растений при использовании СРП. Использование ранее известных индивидуальных веществ-стимуляторов совместно с сорбционным препаратом и АПД приводит к резкому повышению эффективности применения веществ-стимуляторов.

*Ключевые слова:* аллелопатия, токсикоз почв, сорбенты, бентониты, глино-гумусовые комплексы, автолизат пивных дрожжей, стимуляторы прорастания семян, субстраты дыхательного метаболизма

**DOI:** 10.31857/S0032180X20080067

### ВВЕДЕНИЕ

Не вызывает сомнений, что почвы должны оказывать большое влияние на начальную стадию развития растений, так как семена активно взаимодействуют с почвой, выделяя в нее вещества [14], которые служат питанием для почвенных микроорганизмов и обуславливают их бурное развитие в прилегающих к семенам областях почв [16]. Кроме того, из почв в семена поступают, вырабатываемые микроорганизмами или закрепленные в почвах биологически активные вещества (**БАВ**): витамины, антибиотики, растительные гормоны и др. [7].

Однако при поиске стимулирующих воздействий и стимуляторов прорастания семян, способных повышать их посевные качества [1, 4, 6, 14, 21, 28], взаимодействие семян с почвой не учитывали [2], и изучали лишь ответную реакцию семян на применяемые воздействия. При этом эксперименты очень часто ставили, проращивая обработанные тем или иным способом семена на инертных субстратах: фильтровальной бумаге или песке. При наблюдаемом в этих условиях ускорении их развития, считали, что препарат или воздействие эффективны и могут применяться в сельском хозяйстве.

Как следствие, при подобном подходе не учитывали, что действие стимуляторов на начальную стадию развития растений реализуется в условиях параллельно идущих процессов поступления из почв в семена витаминов, фитогормонов, кофакторов ферментов, других необходимых семенам БАВ, а также аллелотоксинов, ингибирующих прорастание семян и дальнейшее развитие из них растений [3, 7, 9, 20, 24, 26]. Причем поступление в семена из почв аллелотоксинов – не частный случай, а, как показали многочисленные исследования, широко распространенное явление [3, 7, 20], проявляющееся в почвах, используемых в сельском хозяйстве.

Учет наличия у почв аллелотоксичности позволяет взглянуть на проблему с несколько иных позиций и выдвинуть предположение о том, что воспринимаяемая при проведении экспериментов “стимуляция” может являться либо снижением ингибирования начальной стадии развития растений за счет уменьшения поступления в семена из почв аллелотоксинов, либо стимуляцией БАВ на фоне действия на семена аллелотоксинов.

С общих позиций данный подход выглядит логичным, но экспериментов, доказывающих это, не обнаружено.

Известно [5], что глинистые минералы активно сорбируют аллелотоксины. Также есть информация [8, 22, 23, 25, 29, 30] о том, что глино-гумусовые комплексы по сравнению с гуминовыми веществами и глинистыми минералами обладают по отношению к органическим веществам большей сорбционной способностью. Основываясь на этих данных, для уменьшения влияния почвенных аллелотоксинов на семена и усиления действия стимуляторов решили применить их предпосевную обработку бентонито-гуматовыми смесями.

Цели работы – проверка предположения о возможности стимуляции прорастания семян и ускорения развития из них растений за счет снижения негативного влияния на семена аллелотоксинов дерново-подзолистых почв; изучение возможности повышения эффективности применения стимуляторов при уменьшении негативного влияния на семена аллелотоксинов дерново-подзолистых почв; оценка влияния степени аллелотоксичности дерново-подзолистых почв на действие стимуляторов.

## ОБЪЕКТЫ 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 мес. и более. Выбор данных сортов пшеницы основывался на том, что, во-первых, яровые культуры лучше реагируют на стимулирующее воздействие. Во-вторых, пшеница – наиболее распространенная в сельском хозяйстве России культура. В-третьих, применяли новые сорта, производимые Федеральным исследовательским центром “Немчиновка” и районированные для нечерноземной зоны России.

В работе использовали образцы дерново-подзолистых почв: окультуренной дерново-подзолистой глубокоподзолистой глубокопахотной легкосуглинистой на покровных суглинках, подстилаемых флювиогляциальными отложениями (Albic Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)), после викоовсяной смеси влажностью 25.6% (1), после горчицы влажностью 25.9% (2), после картофеля влажностью 24.1% (3) Московская область, Чашниково; дерново-неглубокоподзолистой освоенной глубокопахотной легкосуглинистой на покровных суглинках, подстилаемых мореной (Eutric Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)), залежь с 2015 г. влажностью 19.9% (5) Московская область, Чашниково; агродерново-глубокоподзолистой супесчаной на водно-ледниковых (древнеозерных) отложениях (Albic Podzol (Arenic, Aric)), подстилаемой с глубины 92 см бескарбонатными лёссовидными (покровными) суглинками после пшеницы влажностью 18.1% (9) из окрестностей поймы р. Яхрома (Московская об-

ласть, Дмитровский район). Свойства почв, включая их аллелотоксичность определены ранее<sup>1</sup> [15]. Также в работе использовали сухой отмытый речной песок с размером частиц 0.5–0.8 мм.

Изучали влияние обработки семян препаратами на изменение длины проростков 7.5 г семян (~200 шт.) при их прорастании в различных почвах и песке. Влияние препаратов изучали по сравнению с необработанными семенами. Длину проростков определяли, используя экспресс-метод, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом проросших семян в воде и длиной их проростков [17]. Проросшие в почве или песке семена отмывали от субстрата и помещали порциями в мерный цилиндр на 100 мл с водой, размещенный на вибростол<sup>2</sup>, колеблющемся с частотой 50 Гц. После помещения каждой порции проросших семян в цилиндр, которые создавали ажурную пористую структуру, на них на 15–20 с помещали небольшой груз массой 8 г в виде резиновой пробки, что приводило к уплотнению структуры. После помещения всех проросших семян в цилиндр на них ставили груз и проводили дополнительное уплотнение структуры легкими постукиваниями (30–40 раз) цилиндра с семенами о стол. Эти операции позволяли создать однородную структуру, а нижняя граница груза позволяла определять насыпной объем с точностью до 0.5 мл.

При проведении экспериментов на дно чашки диаметром 95 мм помещали 30 г почвы или песка<sup>3</sup>, затем ровным слоем размещали 7.5 г семян, а сверху – 30 г почвы или песка. После этого в чашку равномерно добавляли из мерной пипетки воду в количестве, которое ранее было определено [15]. Использовали шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. В связи с использованием в одном опыте 1000–1200 семян удавалось минимизировать ошибку, связанную с их разнокачественностью [14]. В результате ошибка опыта не превышала 7% при 95%-ном уровне значимости.

Все обработки семян проводили полусухим способом при расходе растворов 20–40 л на тонну семян. Для этого 50 г семян помещали в пластиковую лодочку размером 20 × 7 см, глубиной 4 см, добавляли 1–2 г суспензии стимулятора и тщательно перемешивали 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

<sup>1</sup> Приведенная индексация почв соответствует той, которую использовали в работе [15].

<sup>2</sup> Небольшой вибростол был изготовлен из электрического пускателя путем ограничения возможности магнитной катушки фиксировать сердечник в крайнем нижнем положении, что приводило к вибрации сердечника.

<sup>3</sup> Песок использовали в тех случаях, когда надо было определить величину аллелотоксичности почв как субстрат сравнения, а также при необходимости выяснения эффекта действия стимулятора на семена без осложняющих процессов поступления из почв в семена различных веществ.

**Таблица 1.** Влияние на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт “Лиза” на дерново-подзолистой почве (9) при предпосевной обработке семян суспензиями кальциевого бентонита с гуматом

№	Бентонит, г/л	Гумат, г/л	Расход суспензии, л/т	Эффект, %
1	5–40	0	20	(4–7) ± 3
2	20	10	20	15 ± 4
3	20	20	20	15 ± 3
4	40	10	20	25 ± 5
5	40	20	20	14 ± 3
6	40	40	20	5 ± 3
7	20	5	20	8 ± 3
8	40	5	20	16 ± 4
9	40	15	20	16 ± 4
10	60	20	20	–3 ± 3
11	60	10	20	–3 ± 3
12	40	10	30	27 ± 5
13	40	10	40	30 ± 5

В качестве стимуляторов использовали:

– бентониты натрия и кальция по ОСТ 18-49-71 (Россия);

– гумат калия (натрия), произведенный ООО НВЦ “Агротехнологии” (Россия) из бурого угля;

– автолизат пивных дрожжей (АПД), выпускаемый промышленностью для использования в качестве добавки к корму скота, произведенный ООО “Биотех плюс” (Россия);

– препарат “Бутон”, произведенный ООО “ПСК Техноэкспорт” (Россия), содержащий натриевые соли гиббереллиновых кислот в количестве 20 г/кг;

– препарат “Янтарин”, содержащий янтарную кислоту в концентрации 5 г/л, произведенный ЗАО фирма “Август” (Россия);

– щавелевую кислоту АО “Мосреактив” (Россия);

– фумаровую кислоту (Китай);

– парааминобензойную кислоту (ПАБК) фирмы Sigma (США).

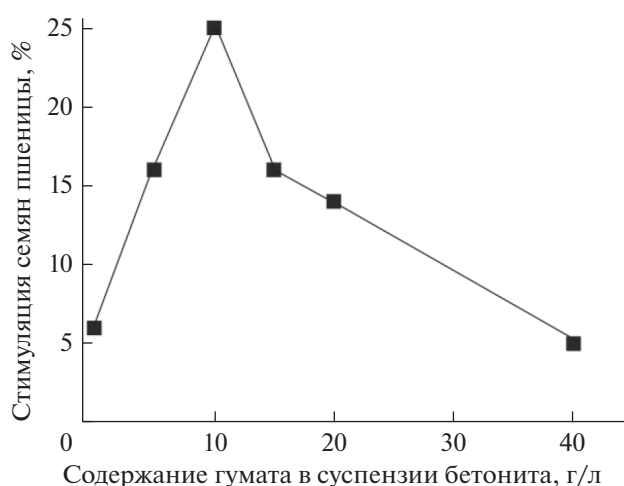
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований изучено влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы сорт “Лиза” бентонито-гуматовыми смесями на их прорастание и рост проростков в дерново-подзолистых почвах.

Из представленных данных видно (табл. 1 и 2, рис. 1), что при подборе концентраций бентонита и гумата, а также расхода суспензии препарата на яровой пшенице “Лиза” удается добиться высокой стимуляции прорастания семян и скорости развития их проростков. Для кальциевого бентонита оптимальной является концентрация 40 г/л

бентонита и 10 г/л гумата, что обеспечивает 25% стимуляцию. При увеличении расхода суспензии в 2 раза до 40 л/т стимуляция возрастает до 30%. Обращает на себя внимание, что данная стимуляция достигается только при прорастании семян в почве.

Оценка ингибирующего влияния дерново-подзолистых почв на действие сорбционного препарата (СП) на основе кальциевого бентонита на яровой пшенице сорт “Лиза” показала, что эффект от его применения прямо пропорционален (рис. 2) ингибирующей способности почв, определенной ранее [15]. Чем меньшее негативное влияние на прорастание семян и развитие их проростков оказывает



**Рис. 1.** Влияние содержания гуминового препарата в суспензии кальциевого бентонита с концентрацией 40 г/л на начальную стадию развития растений из семян пшеницы сорт “Лиза”.

**Таблица 2.** Влияние на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт “Лиза” на дерново-подзолистой почве (9) при предпосевной обработке семян суспензиями натриевого бентонита с гуматом

№	Бентонит, г/л	Гумат, г/л	Расход суспензии, л/т	Эффект, %
1	20	5	20	13 ± 3
2	20	10	20	6 ± 3
3	40	5	20	13 ± 3
4	40	10	20	11 ± 3
5	40	20	20	21 ± 4
6	40	40	20	16 ± 4
7	40	30	20	9 ± 3
8	60	20	20	6 ± 3
9	60	30	20	1 ± 3
10	60	40	20	2 ± 3
11	50	20	20	16 ± 4
12	50	20	30	18 ± 5
13	50	20	40	13 ± 3

почва, тем слабее стимулирующее действие предпосевной обработки семян СРП.

Все это подтверждает предположение о том, что стимулирующий эффект СРП связан с поглощением ими аллелотоксинов почв и снижением их ингибирующего действия на семена.

Для СРП с натриевым бентонитом наблюдается стимуляция меньшей величины (табл. 2), а оптимальным является состав, содержащий 40 г/л натриевого бентонита и 20 г/л гумата. Если исходить из того, что большая часть сорбционной способности используемых препаратов обеспечивается соединениями гуминовыми веществ с глинистыми минералами [8], то наблюдаемая разница в концен-

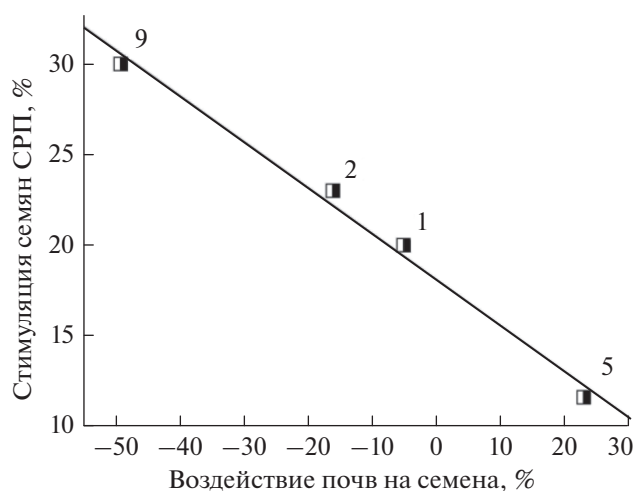
трациях гумата становится понятной, так как ионы кальция по сравнению с ионами натрия лучше обеспечивают образование глино-гумусовых комплексов [11].

Следует отметить, что стимулирующий эффект от использования СРП (табл. 3) 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 (–7, –14 и –17% соответственно). Из полученных данных следует, что разные сорта неодинаково реагируют на обработку СРП, причем некоторые из них реагируют негативно. Результат был достаточно неожиданным и делал необходимым перед использованием СРП на конкретном сорте проводить испытания по оценке эффективности его применения.

Рассмотрим возможную причину этого негативного для внедрения СРП в практику сельского хозяйства явления. Можно предположить, что это связано с сорбционными свойствами СРП, которые, по-видимому, “сорбируют” какие-то вещества, поступающие в семена из почвы и оказывающие положительное влияние на начальную стадию развития растений. В результате уменьшение поступления этих веществ из почвы в семена приводит к замедлению развития растений на начальной стадии.

Необходимо отметить, что данное предположение входит в противоречие с классическими подходами с позиций автотрофности растений, из которых следует, что растения все необходимые им для развития вещества синтезируют сами.

Однако в последние десятилетия появились теории, в которых важное место отводится гетеротроф-



**Рис. 2.** Влияние ингибирующей (стимулирующей) способности почв на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт “Лиза” [15] в этих почвах, обработанных СРП. Цифрами указаны номера почв.

ности растений. Речь идет о применении активно разрабатываемой в настоящее время концепции суперорганизма – аутоценоза, компликатобионта, хологена облигатности симбиоза, согласно которому жизнедеятельность и эволюция всех многоклеточных и многих одноклеточных живых существ происходит только на основе взаимовыгодной интеграции с другими живыми существами (преимущественно микроорганизмами) [12, 13, 27]. Для растений эта теория нашла подтверждение при исследовании роли эндофитных микроорганизмов в жизни растений, которые сейчас активно развиваются. При этом необходимо учитывать, что почвы из-за своей высокой сорбционной способности могут закреплять и удерживать БАВ, образуемые эндофитами, т.е. являться промежуточным депо БАВ.

Таким образом, предположение о поглощении растениями из почв биологически-активных веществ, которые активизируют в них биохимические процессы является достаточно обоснованным и известно давно [7].

Для проверки правильности подобного подхода изучили поведение при прорастании семян, не прошедших послеуборочное дозаривание.

Из полученных данных хорошо видно (табл. 4), что почвы стимулировали развитие растений на ранней стадии из таких семян, но ингибировали развитие растений на ранней стадии из семян, прошедших послеуборочное дозаривание.

Перечислим полученные данные:

1. Семена, не прошедшие послеуборочного дозаривания, развиваются на песке заметно медленнее семян, прошедших послеуборочное дозаривание (факт общеизвестный).

2. Развитие семян, не прошедших послеуборочного дозаривания, на почвах происходит быстрее, чем на песке.

3. Развитие семян, прошедших послеуборочное дозаривание, на песке происходит быстрее, чем на почве.

Поступление аллелохимикатов из почвы в семена, часть из которых является аллелотоксинами, а часть – аллелостимуляторами позволяет предложить объяснение для данного явления. По-видимому, семенам, не прошедшим послеуборочного дозаривания, не хватало БАВ для их развития (БАВ еще не образовались в семенах), и они получали их из почв. В этом случае влияние на начальную стадию развития растений стимулирующих веществ, поступающих в них из почв, доминировало, и растения лучше развивались в почве, чем в песке. В семенах, в которых процессы дозаривания завершились, БАВ было уже достаточно, поэтому на развитие растений на начальной стадии из этих семян большее влияние оказывало поступление из почв аллелотоксинов. Как следствие, растения развивались лучше в песке, чем в почвах. Необходи-

**Таблица 3.** Влияние на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы разных сортов на дерново-подзолистой почве (9) при их предпосевной обработке суспензиями кальциевого бентонита (40 г/л) с гуматом (10 г/л) при расходе 40 л/т

Сорт	Эффект, %
“Лиза”	+30 ± 5
“Злата”	+25 ± 5
“Агата”	+4 ± 3
“Любава”	-7 ± 3
“Эстер”	-14 ± 4
“РИМА”	-17 ± 4

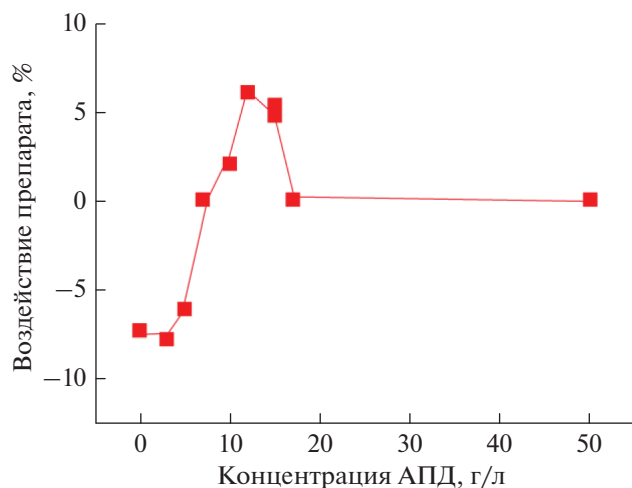
**Таблица 4.** Влияние дерново-подзолистой почвы (9) на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы по сравнению с их развитием в песке, выраженное в процентах стимуляции (+) или ингибирования (-)

Сорт	Время после сбора урожая, месяц	
	1–1.5	2.5–3
“Злата”	+17 ± 4	-42 ± 6
“РИМА”	+36 ± 6	-36 ± 6
“Эстер”	+273 ± 20	-65 ± 7
“Агата”	-25 ± 5	-52 ± 6
“Лиза”	-12 ± 3	-49 ± 6
“Любава”	+2 ± 3	-34 ± 5

димо отметить, что скорость развития растений на начальной стадии из семян, не прошедших послеуборочное дозаривание, на инертном субстрате заметно ниже скорости развития растений из семян, прошедших послеуборочное дозаривание.

Можно предположить, что семенам сортов, которые СРП угнетали, не хватало для их полноценного развития собственных БАВ, и они использовали почвенные БАВ, которые закреплялись на СРП и их поступление в семена замедлялось. Связано это с тем, что глинистые минералы обладают большим набором активных центров с разными характеристиками [19]. Можно ожидать, что сорбция на них ГВ с образованием глино-гумусовых комплексов только увеличивает количество и набор активных центров и соответственно увеличивает способность глино-гумусовых комплексов сорбировать большой набор органических веществ. В результате применение СРП для обработки семян блокирует не только поступление в семена<sup>4</sup> аллелотоксинов из почв, но и БАВ.

<sup>4</sup> В данном случае под термином “семена” подразумеваются семена с эндофитными микроорганизмами, так как ингибирующее действие аллелотоксинов может проявляться не только при их непосредственном воздействии на сами семена, но и через угнетающее воздействие на эндофитные микроорганизмы. Разделить эти виды воздействий используемыми методами не представляется возможным.



**Рис. 3.** Влияние содержания АПД в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт “Любава”.

Таким образом, использование СРП поделило семена на две группы. Для первой из них (сорта пшеницы “Лиза” и “Злата”) ограничение СРП поступления из почв БАВ не оказывает негативного влияния на ускорение развития семян, и их стимуляция достигается поглощением сорбентами всех поступающих из почв веществ. Для второй группы поступление из почв в семена БАВ влияет на их прорастание и рост проростков.

Выдвинутое предположение о влиянии поглощения сорбентами, находящимися на семенах, БАВ из почв и угнетение за счет этого прорастания семян некоторых сортов и замедления развития проростков семян позволяло предложить способ для предотвращения этого явления. Для этого было необходимо заполнить активные центры сорбента, на которых закрепляются молекулы БАВ из почв. Была предпринята попытка использовать автोलизат пивных дрожжей, который содержит широкий спектр БАВ [18] — витамины, пептиды, аминокислоты, липиды и т. д. В результате эффективность применения таких препаратов на семенах угнетаемых СРП (пшеница сорт “Любава”) повысилась, предпосевная обработка ими семян перестала угнетать развитие из них растений на ранней стадии, а стала стимулировать их (рис. 3). Однако, как хорошо видно, эффект стимуляции был достаточно мал, что свидетельствовало о неполном блокировании веществами, входящими в состав АПД, сорбционных центров глино-гумусовых комплексов, на которых могли сорбироваться БАВ из почв, и о возможном частичном блокировании сорбционных центров, на которых могли сорбироваться аллелотоксины. При этом эффект при введении в СРП оптимальной концентрации АПД на яровой пшенице сорт “Любава” все

же вырос почти на 15% (рис. 3). Фактически мы получили препарат (кальциевый бентонит—гумат—АПД), который, с одной стороны, сорбировал аллелотоксины из почв, а, с другой стороны, (с позиций выдвинутого предположения) в минимальной степени поглощал БАВ, поступающие из почв в семена и необходимые для их развития. Однако рекомендовать для использования данный препарат в сельском хозяйстве еще нельзя — развитие растений на ранней стадии из семян некоторых сортов он стимулировал, а на другие не оказывал значимого влияния.

Необходимо отметить, что действие СРП на сортах яровых пшениц “Лиза” и “Злата” не только однозначно свидетельствовало (табл. 3, рис. 2) о негативном влиянии аллелотоксинов на прорастание семян и развитие их проростков, но и о том, что почвы оказывают заметное влияние на действии СРП. Чем больше почвы содержали аллелотоксинов, тем сильнее проявлялось действие СРП.

Все это подтверждало наше предположение о том, что применение для обработки семян стимуляторов различной природы происходило в условиях сильного влияния на начальную стадию развития растений из этих семян негативного фактора — аллелотоксинов. Именно это могло приводить к низкой эффективности и невоспроизводимости результатов при использовании стимуляторов для предпосевной обработки семян ранее. Найденный препарат (кальциевый бентонит—гумат—АПД), позволяющий снизить действие аллелотоксинов на семена и незначительно поглощающий БАВ из почв, мог в полной мере позволить проявиться возможностям разработанных ранее препаратов для стимуляции начальной стадии развития растений из семян.

Трудно было ожидать, что повышение эффективности будет наблюдаться для всех используемых ранее стимуляторов (гормонов растений, витаминов, субстратов дыхательного метаболизма и др.). Процессы сорбции на глино-гумусовых комплексах и конкуренция между различными молекулами за закрепление на их активных центрах достаточно сложны, и прогнозировать их трудно. Вводимые молекулы стимуляторов могут занимать сорбционные места, увеличивая подвижность аллелотоксинов, или способствовать закреплению БАВ из почв. Однако возможность усиления стимуляции для некоторых препаратов была вполне реальной, поэтому мы продолжили исследования в этом направлении.

Полученные данные при использовании смеси, включающей в свой состав кальциевый бентонит, гумат и АПД, с добавками препарата “Бу-тон”, янтарной, щавелевой и фумаровой кислот (субстраты дыхательного метаболизма) [10, 14], а также ПАБК (витамин В-10) показали, что для них всех эффективность использования индивиду-

**Таблица 5.** Влияние предпосевной обработки семян яровых пшениц суспензиями препаратов на основе СРП на начальную стадию развития растений из семян на дерново-подзолистых почвах

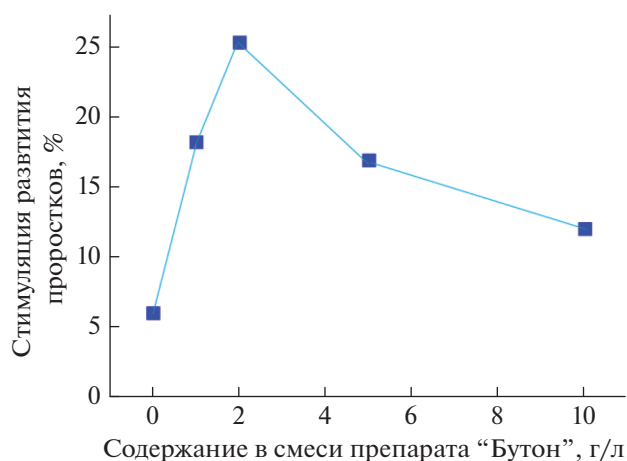
Номер почвы	Состав препарата, г/л	Эффект, %
“Лиза” (1 группа)		
2	БК–Г–ФК (40–10–1)	+12 ± 3
	БК–Г–АПД–ФК (40–10–12–1)	+24 ± 4
2	БК–Г–ЯК (40–10–0.06)	+8 ± 3
	БК–Г–АПД–ЯК (40–10–12–0.06)	+23 ± 4
2	БК–Г–ЩК (40–10–2)	+7 ± 3
	БК–Г–АПД–ЩК (40–10–12–2)	+21 ± 4
2	БК–Г–Бутон (40–10–2)	+8 ± 3
	БК–Г–АПД–Бутон (40–10–12–2)	+34 ± 5
3	БК–Г–ПАБК (40–10–0.75)	+28 ± 5
	БК–Г–АПД–ПАБК (40–10–12–0.75)	+31 ± 5
“Любава” (2 группа)		
1	БК–Г–ФК (40–10–1)	0 ± 3
	БК–Г–АПД–ФК (40–10–12–1)	+25 ± 5
1	БК–Г–ЯК (40–10–0.06)	–9 ± 3
	БК–Г–АПД–ЯК (40–10–12–0.06)	+20 ± 4
1	БК–Г–ЩК (40–10–2)	–16 ± 4
	БК–Г–АПД–ЩК (40–10–12–2)	+19 ± 4
9	БК–Г–Бутон (40–10–2)	+2 ± 3
	БК–Г–АПД–Бутон (40–10–12–2)	+25 ± 5
2	БК–Г–ПАБК (40–10–0.75)	–2 ± 3
	БК–Г–АПД–ПАБК (40–10–12–0.75)	+11 ± 3

Примечание. БК – бентонит кальциевый; Г – гумат; ФК – фумаровая кислота; ЯК – янтарная кислота; ЩК – шавелевая кислота; Бутон – препарат “Бутон”; ПАБК – парааминобензойная кислота.

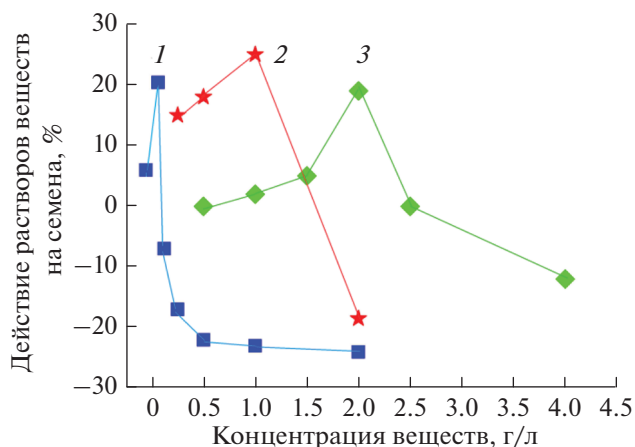
альных веществ-стимуляторов резко возрастает, причем наблюдаются экстремальные зависимости. В узком интервале концентраций веществ-стимуляторов хорошо видна заметная стимуляция ранней стадии развития растений из семян. При концентрации меньше оптимальной эффект отсутствует, а при большей концентрации наблюдается его снижение вплоть до ингибирования. При обработке семян растворами индивидуальных веществ-стимуляторов эффект крайне незначителен и не превышает 4–9%, а при использовании этих веществ в составе СРП с АПД эффект возрастает до нескольких десятков процентов для семян как первой, так и второй групп (табл. 5, рис. 4–6).

Следует отметить, что использование комплексных препаратов без АПД приводило к сильному снижению эффективности их действия для семян, как первой, так и второй групп, а в некоторых случаях стимуляция сменялась ингибированием (табл. 5). Это позволило предположить, что для семян обеих групп наблюдаемый результат (стимуляции или угнетения начальной стадии развития растений из семян) есть сумма эффектов воздействия на семена БАВ-стимуляторов из почв и аллелотоксинов. Мы же своими действиями смешаем результат влияния этих веществ на семена.

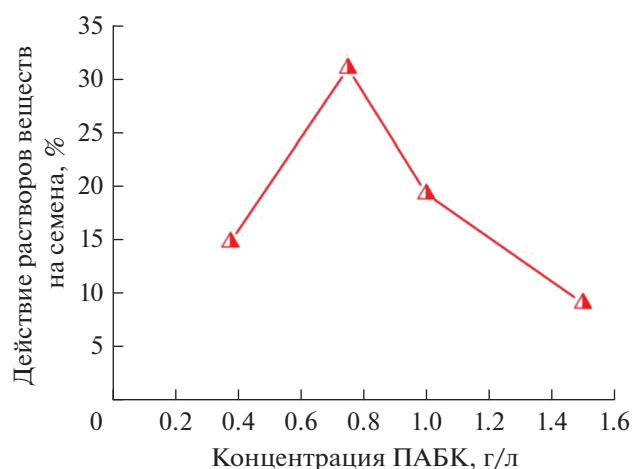
Несколько особняком располагаются результаты, полученные на семенах пшеницы сорта “Лиза”, при использовании ПАБК в качестве добавки к СРП и к СРП с АПД. Отсутствие АПД в препарате практически не влияет на стимуляцию. Это позволяет предположить, что для семян пер-



**Рис. 4.** Влияние содержания препарата “Бутон” в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт “Любава”.



**Рис. 5.** Влияние содержания янтарной (1), фумаровой (2) и щавелевой (3) кислот в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт "Любава".



**Рис. 6.** Влияние содержания парааминобензойной кислоты в суспензии бентонита (40 г/л) с гуминовым препаратом (10 г/л) и АПД (12 г/л) на начальную стадию развития растений из семян яровой пшеницы сорт "Лиза".

вой группы ПАБК каким-то образом заменяет положительное влияние АПД.

Таким образом, учет аллелотоксичности почв при действии стимуляторов на семена и возникшие представления о механизме происходящих при прорастании обработанных стимуляторами семян процессах позволили разработать несколько эффективных препаратов-стимуляторов начальной стадии развития растений из семян.

## ВЫВОДЫ

1. Применение СРП на основе бентонито-гуминовых смесей для стимулирующей обработки

семян при посеве их в почвы эффективно не для всех сортов пшеницы. Для некоторых сортов СРП вызывает угнетение начальной стадии развития растений из семян, которое было объяснено с позиций предположения об ограничении поступления из почв в семена БАВ, необходимых для их развития.

2. Введение АПД в сорбционный препарат, позволяющее заполнить активные центры сорбента, на которых могут закрепляться БАВ из почв, что снимает угнетение с начальной стадии развития растений из семян при применении СРП.

3. Действие СРП на семенах, развитие из которых растений на начальной стадии не лимитируется поступлением БАВ из почв (первая группа), проявляется тем сильнее, чем больше ингибирование развития семян почвами.

4. Использование для обработки семян индивидуальных веществ-стимуляторов совместно с СРП и АПД приводит к резкому повышению эффективности применения ранее изученных веществ-стимуляторов.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтухов И.В., Федотов В.А. Взаимодействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы // Ползуновский вестник. 2011. № 2/1. С. 156–159.
2. Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере. Ростов-на-Дону, 2009. 120 с.
3. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвообразование. Избр. тр. Киев: Наукова думка, 1991. 432 с.
4. Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений. Мн.: Ураджай, 1986. 118 с.
5. Елисеев С.Л., Яркова Н.Н., Батуева И.В. К вопросу об использовании на посев свежесобранных семян озимых яровых культур // Пермский аграрный вестник. 2014. № 4(8). С. 16–21.
6. Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2011. № 4(78). С. 22–24.
7. Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 464 с.
8. Куликова Н.А. Связывающая способность и детоксицирующие свойства гумусовых кислот по отношению к атразину. Дис. ... канд. биол. наук. М., 1999. 171 с.
9. Лобков В.Т. Использование почвенно-биологического фактора в земледелии. Орел, 2017. 166 с.
10. Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 506 с.
11. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. 400 с.



12. *Проворов Н.А.* Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // Журн. общ. биол. 2009. Т. 70. № 1. С. 10–34.
13. *Савинов А.Б.* Аутоценоз и демоценоз как симбиотические системы и биологические категории // Журн. общ. биол. 2012. Т. 73. № 4. С. 284–301.
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. *Федотов Г.Н., Горепекин И.В., Позднякова А.Д., Завгородняя Ю.А., Исакова С.А.* Взаимосвязь предыстории и химических свойств почв с их аллелотоксичностью // Почвоведение. 2020. № 3. С. 379–386. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2003003>
16. *Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В.* Применение системного подхода к изучению стимуляции прорастания семян в почвах // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 2. С. 28–34.
17. *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. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19040051>
18. *Чичина Т.В.* Разработка технологии белковых ингредиентов на основе остаточных пивных дрожжей с использованием холодильной обработки. Дис. ... канд. тех. н. СПб., 2014. 126 с.
19. *Шинкарев А.А., Гиниятуллин К.Г., Мельников Л.В., Кринари Г.А., Гневашев С.Г.* Органические компоненты глино-металлоорганического комплекса почв лесостепи (теоретические и экспериментальные аспекты изучения). Казань: Казанский гос. ун-т, 2007. 248 с.
20. Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications / Ed. Reigosa M.J., Pedrol N., Gonzalez L. Springer, 2006. 637 p.
21. *Balakhnina T., Bulak P., Nosalewicz M., Pietruszewski S., Wlodarczyk T.* The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding // Acta Physiologiae Plantarum. 2015. V. 37. № 3. P. 59.
22. *Fukushima M., Okabe R., Nishimoto R., Fukuchi S., Sato T., Terashima M.* Adsorption of pentachlorophenol to a humin-like substance–bentonite complex prepared by polycondensation reactions of humic precursors // Appl. Clay Sci. 2014. V. 87. P. 136–141.
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. P. 122–131.
24. *McCalla T.M., Haskins F.A.* Phytotoxic Substances from Soil Microorganisms and Crop Residues // Bacteriol. Rev. 1964. V. 28. № 2. P. 181–207.
25. *Murphy E.M., Zachara J.M., Smith S.C.* Influence of mineral-bound humic substances on the sorption of hydrophobic organic compounds // Environ. Sci. Technol. 1990. V. 24. P. 1507–1516.
26. *Rice E.L.* Allelopathy. N.Y.–London: Academic Press, 1984. 422 p.
27. *Rosenberg E., Sharon G., Zilber-Rosenberg I.* The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework // Environ. Microbiol. 2009. V. 11. № 12. P. 2959–2962.
28. *Šerá B., Gajdová I., Šerý M., Špatenka P.* New physico-chemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries // Plasma Sci. Technol. 2013. V. 15. № 9. P. 935.
29. *Terashima M., Tanaka S., Fukushima M.* Distribution Behavior of Pyrene to Adsorbed Humic Acids on Kaolin // J. Environ. Qual. 2003. V. 32. P. 591–598.
30. *Wang K., Xing B.* Structural and sorption characteristics of adsorbed humic acid on clay minerals // J. Environ. Qual. 2005. V. 34. P. 342–349.

## Soil Alleloxicity and Methods to Reduce Its Negative Influence on the Initial Stage of Plant Development

**G. N. Fedotov<sup>1,\*</sup>, S. A. Shoba<sup>1</sup>, and I. V. Gorepekin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

*\*e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com*

The application of sorption preparations (SP) based on bentonite–humate mixtures for the seed stimulating treatment upon sowing into the soddy–podzolic soil was studied. The correlation between seeds' inhibition by the soil and the efficiency of SP application was found. The SP treatment was not always effective for spring wheat cultivars. For some of the cultivars, it caused inhibition of seed germination and seedlings development. The intake of essential biologically active substances (BAS) from soils to seeds was limited in these cases because of the firm fixation of these substances in SP. The brewer's yeast autolysate (BYA) introduced to the SP mixture made it possible to fill the active centers of sorbents and to avoid the fixation of BAS from the soil. The obtained preparation eliminated inhibition of seed development at the initial stage upon SP application. The efficiency of previously known individual stimulant substances sharply increased upon their combined application with SP and BYA mixture.

*Keywords:* allelopathy, soil toxicosis, sorbents, bentonites, clay–humus complexes, brewer's yeast autolysate, stimulants of seeds, respiratory metabolism substrates, post-harvest ripening