

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА СЕМЯН

Г.Н. Федотов¹, М.Ф. Федотова¹, В.С. Шалаев², Ю.П. Батырев²

¹ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Институт экологического почвоведения, МГУ

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

Для исследования эффекта стимуляции прорастания семян изучено влияние гуматов, приготовленных из гуминовых кислот (ГК) различного происхождения. Показано, что эффективность растворы гуматов из разных источников по эффективности различаются незначительно. Несколько меньшая эффективность свойственна препаратам из ГК белоподзолистой почвы, которые отличаются от ГК из других источников меньшим содержанием ароматических компонентов. Установлено, что препараты на основе гумусовых веществ (ГВ) из торфа, в состав которых кроме ГВ входят неспецифические вещества гумуса, обладают существенно более низкой биологической активностью по сравнению с гуматами из ГК, полученных из торфов. Выдвинуто предположение о том, что биологическая активность ГК связана с их способностью избирательно поглощать из биологических объектов свободными для сорбции активными центрами ГК ингибиторы биохимических реакций, а влияние ГК на развитие семян осуществляется через стимулирующее воздействие на эндофитные микроорганизмы и биохимические процессы в самих семенах. В связи с этим от попыток объяснить биологическую активность ГВ их действием только на семена (растения) необходимо переходить к рассмотрению действия ГВ на всю систему в целом, включая сами семена (растения) и их эндофитные и эпифитные микроорганизмы.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, повышение посевных качеств семян, эндофитные микроорганизмы, сорбция гумусовыми веществами ингибиторов биохимических процессов

Ссылка для цитирования: Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Биологическая активность гумусовых веществ и их влияние на свойства семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 26–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-26-36

Стимулирующее влияние гумусовых веществ (ГВ) на рост и развитие растений изучается давно и достаточно известно [1–28]. В литературе отмечается положительное влияние ГВ на развитие семян (при их предпосевной обработке или внесении ГВ в бедные почвы), укоренение черенков, корнеобразование и развитие растений в целом (повышение урожайности и качества продукции). Установлено, что во многих случаях использование ГВ снижает отрицательное воздействие неблагоприятных факторов среды.

Также установлено, что ГВ оказывают положительное влияние на развитие животных и птиц [2]. При использовании ГВ в качестве кормовой добавки повышается мясная продуктивность молодняка крупного рогатого скота, свиней и птицы. Известно применение препаратов ГВ и в медицине.

О механизме биологической активности ГВ выдвигают различные предположения. Этот вопрос тщательно изучали в отношении влияния ГВ на растения [2, 25]. Предполагали, что ГВ могут воздействовать на проницаемость клеточных мембран, увеличение доступности в почвах элементов питания за счет их комплексования ГВ и повышения подвижности, на дыхательный метаболизм и фотосинтез, передачу растениям гормонов роста от микроорганизмов и т. д. Рассматривали также возможность косвенного

влияния ГВ через повышение эффективности поглощения растениями удобрений и улучшение структуры почвы.

В связи с широким спектром действия ГВ было необходимо выбрать направление исследования, в котором количество возможных предполагаемых механизмов влияния ГВ на растительный организм было бы минимальным.

На наш взгляд, подобная минимизация количества вариантов наблюдается при воздействии ГВ на биохимические процессы при прорастании семян. Поэтому целью работы являлось исследование природы биологической активности ГВ, проявляющейся при прорастании семян после их предпосевной обработки растворами ГВ (повышение посевных качеств семян).

Основной проблемой при изучении этого направления биологической активности ГВ является небольшая величина эффектов стимуляции прорастания семян, которая во многих случаях значительно не превышает ошибку эксперимента, в основном обусловленную матрикальной разнородностью семян [18]. Поэтому для изучения влияния ГВ на посевные качества семян надо было последовательно решить следующие задачи:

— выбрать условия проращивания семян, при которых эффекты стимуляции прорастания семян проявляются наиболее сильно;

— выбрать культуру, для которой эффекты стимуляции прорастания семян имеют наибольшее значение, и понять причину различной эффективности применения ГВ для семян разных культур;

— изучить влияние обработки выбранных семян растворами ГК, выделенных из различных объектов, и препаратов на основе ГВ на развитие семян в условиях, обеспечивающих достижение максимального эффекта стимуляции;

— сравнить структурные и физико-химические особенности ГК и попытаться найти корреляцию с биологической активностью гуматов, проявляющейся при обработке семян.

Объекты и методы исследования

В работе использовали семена с неглубоким покоем [10] — яровой пшеницы сортов Злата и МИС, озимой ржи сорта Валдай, озимого тритикале сорта Гермес и ярового ячменя сорта Владимир, а также семена двудольных растений: семейства бобовые — сои сорта Танаис и гороха сорта Рокет, семейства капустные — редиса сорта Розово-красный с белым кончиком и кресс-салата сорта Забава, семейства зонтичные — моркови сорта Королева осени и петрушки листовой сорта Фестивальная, семейства маревые — свеклы столовой сорта Цилиндра и шпината сорта Крепыш, семейства тыквенные — огурца сорта Нежинский и патиссона сорта Зеленый. Названия семейств даны в современной классификации [19].

Почву имитировали, используя влажный окатанный кварцевый песок с размером частиц 0,5–0,8 мм из месторождения в Рязанской области.

Изучали действие комплексного стимулятора на основе автолизата пивных дрожжей (АПД) производства ООО «Биотех плюс» (Россия) (100 г/л), включающего в свой состав препарат «Бутон» производства ООО «ПСК Техноэкспорт» (Россия) содержащий натриевые соли глутаматных кислот в количестве 20 г/кг (16 г/л) и, для стабилизации суспензии, гумат калия (натрия) производства ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия) из бурого угля (5 г/л).

Гуматы для исследования их биологической активности готовили путем растворения гуминовых кислот в 1 %-ном растворе щелочи при нагревании с последующей нейтрализацией растворов гуматов (до pH = 6,8–7) путем добавления в них катионита КУ-2-8 в Н-форме.

Использовали ГК, полученные из торфа Олайнским заводом химических реактивов (ТУ 10П316–69) и фирмой «Мерк» (Германия), из выветрелого бурого угля, чернозема обыкновенного (Воронеж) и белоподзолистой почвы (горизонт А2h, Тверская область). Авторы бла-

годарны В.В. Демину за предоставление для исследования гуминовых кислот.

Препараты на основе ГВ из верхового сфагнового и низинного древесно-гравяного торфов готовили путем кипячения в течение часа в 1 %-ом растворе КОН с последующим отделением нерастворившейся части центрифугированием и нейтрализацией растворов гуматов (до pH = 6,8–7) путем добавления в них катионита КУ-2-8 в Н-форме.

Семена растворами (суспензиями) стимуляторов обрабатывали при расходе растворов 20...130 л на 1 т семян. Для этого 40 г семян помещали в пластиковую лодочку площадью 20 × 7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску воды (раствора) 0,8...5 г и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

Качество стимулирующей обработки определяли по интенсивности выделения углекислоты [22] при контакте семян с влажным песком. Эксперименты проводили, помещая 5 г семян в 2 стаканчика объемом 100 мл, засыпая их 20 г сухого песка, добавляя из пипетки 5 г (или другое количество) воды так, чтобы вода достаточно равномерно увлажняла песок. После этого стаканчики с семенами ставили в стеклянную емкость объемом 3 л, которую герметично закрывали. Использовали обычные стеклянные трехлитровые банки, закрываемые пластиковыми крышками с отверстиями, в которые плотно мог входить зонд измерителя углекислоты Testo 535. Отверстия в крышках затыкали изнутри резиновыми пробками так, чтобы их можно было выталкивать внутрь банок, вставляя зонд измерителя. Емкости термостатировали при температуре 25 °С в камере, в которую входила 21 емкость. Опыты повторяли 7 раз. В каждой камере один из образцов (7 емкостей) был контрольным, по нему производили пересчет. Емкости в камере располагали в шахматном порядке, чтобы уменьшить влияние неоднородности распределения температуры. С этой же целью в камере располагали вентилятор, перемешивающий воздух. Через 24 ч измеряли концентрацию CO₂ в емкостях и пересчитывали количество выделившегося CO₂ на 1 г семян. При проведении измерения зонд измерителя помещали в емкость на 5 мин до достижения равновесия углекислоты, находящейся в емкости, с углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда измерителя. Ошибка опыта с вероятностью 95 % не превышала 5 %.

Данная методика дает возможность исследовать в одном опыте от 1000 до 1500 семян зерновых и десятки тысяч мелких семян овощей. Это резко уменьшает ошибку экспериментов, связанную с разнокачественностью семян.

Т а б л и ц а

Влияние влажности почвоимитирующего субстрата на эффективность действия комплексного стимулятора на некоторые культуры

The influence of the soil-imitating substrate humidity on the effectiveness of the complex stimulant influence on some croppers

Культура, сорт	Расход, л/т	Влажность субстрата, %	Эффективность использования, %
Яровая пшеница, сорт Злата	20	25	22
		20	44
Яровая пшеница, сорт МИС	20	25	24
		20	42
Озимая рожь, сорт Валдай	20	25	24
		20	37
Озимый тритикале, сорт Гермес	20	25	20
		20	27
Яровой ячмень, сорт Владимир	20	25	10
		20	14
Соя, сорт Танаис	20	37,5	12
		25	19
Огурец, сорт Нежинский	20	25	9
		17,5	27
Шпинат, сорт Крепыш	20	25	6
		17,5	16
Горох, сорт Рокет	20	25	27
		17,5	77
Редис, сорт Розово-красный с белым кончиком	40	25	43
		17,5	99
	100	25	58
		17,5	130

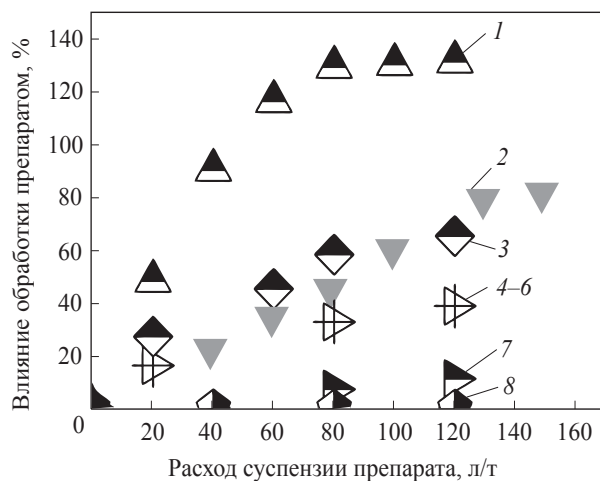


Рис. 1. Влияние расхода препарата на основе АДД на эффективность его применения для семян различных овощных культур: 1 — редис; 2 — морковь; 3 — огурец; 4 — шпинат; 5 — петрушка листовая; 6 — патиссоны; 7 — кресс-салат; 8 — свекла

Fig. 1. The influence of ADA-based drug consumption on the effectiveness of its use for seeds of various vegetable crops: 1 — radish; 2 — carrots; 3 — cucumber; 4 — spinach; 5 — leaf parsley; 6 — patissons; 7 — watercress; 8 — beets

Измерение концентрации углекислоты проводили при помощи прибора Testo 535, который позволяет определять концентрацию углекислого газа в газовой смеси при содержании 0—9999 ppm. Принцип работы прибора основан на поглощении лазерного излучения углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда. Относительно большая площадь адсорбционной поверхности зонда приводит к усреднению колебаний концентрации углекислоты в сосуде, что заметно снижает ошибку по сравнению с другими методами — отбором газовой смеси из сосуда шприцем и определением концентрации углекислоты в газовой смеси при помощи хроматографа.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования были выбраны условия для изучения влияния различных ГК и ГВ на стимуляцию прорастания семян. При этом в качестве препарата, позволяющего сделать наиболее эффективный выбор, использовали комплексный препарат-стимулятор на основе АДД. В предварительных экспериментах было установлено, что подобный подход с переносом соотношения стимулирующих эффектов, полученных на разных культурах для одного стимулятора, на другой стимулятор является достаточно корректным.

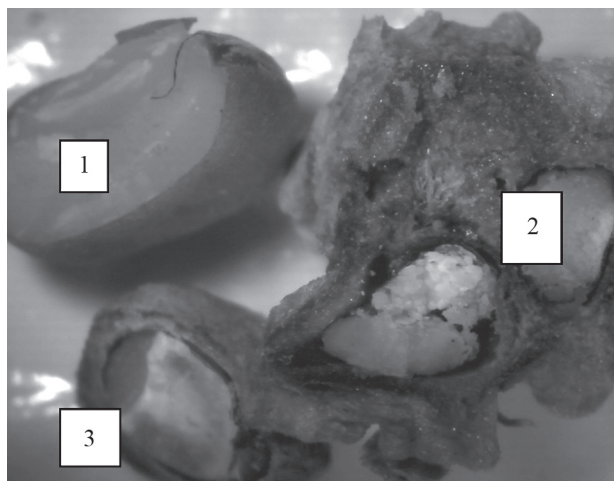


Рис. 2. Внешний вид семян: 1 — редиса; 2 — свеклы; 3 — шпината

Fig. 2. The appearance of seeds: 1 — radishes; 2 — beets; 3 — spinach

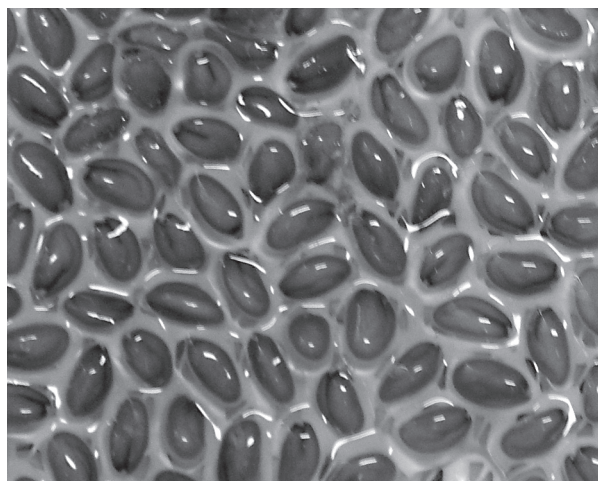


Рис. 3. Семена кресс-салата через несколько минут после нанесения воды на их поверхность

Fig. 3. Watercress Seeds watercress in a few minutes after application on the water surface

При выборе условий исходили из того, что максимальное влияние на стимуляцию оказывает влажность используемого для посева семян субстрата. Из полученных данных хорошо видно, что для всех изученных культур, максимальный эффект стимуляции наблюдается при низкой влажности субстрата (таблица).

В связи с этим дальнейшие исследования проводили при влажности субстрата 17,5 %. Результаты свидетельствуют о том, что максимальные эффекты стимуляции наблюдаются для некоторых овощных культур при расходах, заметно превышающих расход при полусухой обработке семян, применяемой в сельском хозяйстве (10...20 л/т). Этот вопрос был подробно изучен для ряда овощных культур.

Из полученных данных следует, что при увеличении расхода суспензии препарата наблюдается рост выделения углекислоты (рис. 1), который сопровождается ускорением развития семян. Хорошо видно, что максимальный эффект отмечается для редиса и перестает возрастать при расходе раствора препарата 100 л/т. При этом прослеживается закономерность влияния размера семян на величину оптимального расхода — чем мельче семена, тем больше расход препарата.

Однако ряд семян нарушают эту закономерность: шпинат и свекла по сравнению с редисом и кресс-салат по сравнению с морковью. Семена этих культур сравнимы по размеру, но расход при достижении максимума и значение максимума сильно различаются. Представленная фотография семян редиса, шпината и свеклы (рис. 2) объясняет эти различия. Хорошо видно, что семена шпината представляют собой оре-

шек, окруженный толстой оболочкой, препятствующей поступлению стимуляторов в семена.

Семена свеклы имеют прочную жесткую оболочку, которая рассчитана на защиту от жаркого климата. Она плохо пропускает влагу, защищая расположенное внутри хрупкое семя от пересыхания и гибели. Кроме того, у семян свеклы имеются и другие особенности — они представляют собой не единичный зародыш, а целую группу. В семени свеклы, которое фактически является соплодием, может насчитываться от 1 до 10 отдельных будущих растений. Наличие оболочки характерно также для семян кресс-салата, но это гелевая оболочка (слизь), которая образуется на семенах при их контакте с водой. Хорошо видно, что слизь, набухая на поверхности семян, обладает механической прочностью и раздвигает семена на расстояние несколько миллиметров (рис. 3). По-видимому, гелевая оболочка (слизь) тоже препятствует поступлению стимуляторов в семена, поэтому, при близких к семенам моркови размерах стимуляторы действуют на семена кресс-салата значительно слабее.

Следовательно, для стимуляции развития семян необходимо отсутствие препятствия для проникновения препаратов-стимуляторов внутрь семян.

Как видно из представленных данных, максимальный эффект стимуляции наблюдается для семян редиса. При этом необходимо отметить, что сравнение скорости биохимических процессов в семенах проводили по отношению к сухим семенам, но столь большой расход раствора (100 л/т) требовал проверки влияния расхода воды на развитие семян (рис. 4).

Результаты подтвердили большое влияние воды на величину наблюдаемого эффекта. При

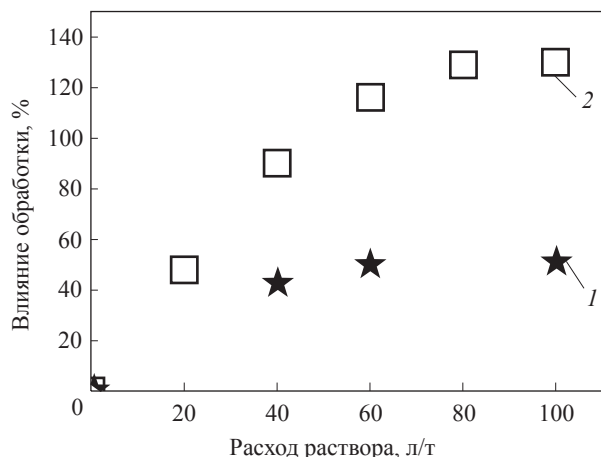


Рис. 4. Влияние расхода воды (1) и комплексного препарата (2) при предпосевной обработке семян редиса на развитие семян

Fig. 4. The influence of water discharge (1) and complex preparation (2) with presowing treatment of radish seeds for their development

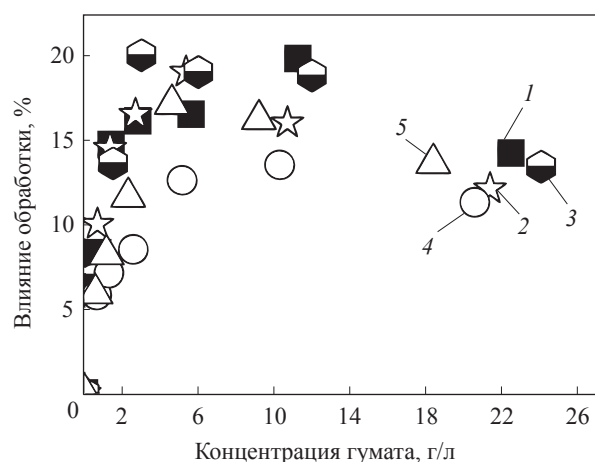


Рис. 5. Эффективность гуматов, приготовленных из гуминовых кислот различного происхождения, источники: 1 — торф Олайнского завода химреактивов; 2 — торфа фирмы «Мерк»; 3 — чернозем обыкновенный; 4 — белопodzolistая почва; 5 — бурый выветрелый уголь

Fig. 5. Efficiency of humates prepared from humic acids of various origin, sources: 1 — peat of the Olaine Chemical Reagents Plant; 2 — peat firm «Merck»; 3 — chernozem ordinary; 4 — white podzolic soil; 5 — brown weathered coal

этом различие, обусловленное комплексным стимулятором, оказалась достаточно велико, чтобы можно было изучать влияние биологической активности ГВ на развитие семян редиса.

Таким образом, на основании полученных данных были выбраны культура — редис и расход раствора препарата для обработки семян — 100 л/т.

Из полученных зависимостей (рис. 5) влияния предпосевной обработки семян редиса (сорт Розово-красный с белым кончиком) растворами

гуматов различного происхождения от концентрации гуматов следует:

1) все изученные гуматы (за исключением гуматов, полученных из ГК белопodzolistой почвы) по влиянию на посевные качества семян практически не отличаются друг от друга;

2) гуматы, полученные из ГК белопodzolistой почвы, оказывают меньшее (примерно на 20...30 %) стимулирующее действие на семена по сравнению с остальными гуматами;

3) графики зависимости влияния обработки от концентрации раствора для всех гуматов выглядят похоже — резкий, практически линейный рост при увеличении концентрации с выходом на максимум и последующим плавным снижением эффекта при дальнейшем увеличении концентрации;

4) никакого угнетения при использовании достаточно больших концентраций гуматов, описываемого в литературе, ни для одного образца гуматов не обнаружено.

Таким образом, по биологической активности из общего ряда гуматов, полученных из ГК, выпадали только ГК белопodzolistой почвы. Было интересно сравнить химические и физико-химические свойства ГК, выделенных из подобных объектов, и выяснить, не отличаются ли значимо ГК из podzolistых почв по каким-либо свойствам от других ГК.

В работе [6] были изучены различные свойства гуминовых кислот, выделенных из чернозема (ГК_ч), торфа (ГК_т), бурого угля (ГК_б) и дерново-podzolistой почвы (ГК_п): элементный состав, оптические показатели в видимой области, ИК-спектры, молекулярно-массовое распределение на геле Сефадекс G-100, общее содержание функциональных групп. Было проведено также потенциометрическое титрование.

Для ГК_б характерно по сравнению с почвенными ГК низкое содержание азота, а ГК_п по соотношениям Н:С; О:С и С:Н из общего ряда не выпадали. Коэффициенты экстинкции возрастали от дерново-podzolistой почвы к чернозему. Рисунок ИК-спектров однотипен и содержит характерные для ГК полосы поглощения. При этом интенсивность полосы при 1620 см⁻¹, характеризующей ароматические связи, уменьшается от ГК_ч к ГК_п. Следовательно, наименьшее количество ароматических компонентов обнаружено в ГК из дерново-podzolistой почвы.

При изучении молекулярно-массового распределения установлено, что все препараты сходны по числу фракций и значениям средних молекулярных масс, но различаются по характеру распределения. Наименее полидисперсны и в среднем низкомолекулярны ГК из чернозема и торфа. Больших различий между ГК_б и ГК_п по этому свойству не наблюдается.

Общее содержание функциональных групп, определенное по методу А.Ф. Драгуновой, для ГК_п несколько ниже, а содержание карбоксильных и фенольных групп не выпадает из общего ряда почв.

Из данных потенциометрического титрования следует, что изученные препараты ГК близки друг к другу по своим кислотно-основным свойствам.

Итак, основное отличие ГК_п от других ГК состоит в меньшем содержании ароматических компонентов. Однако попытка объяснения снижения биологической активности ГК уменьшением содержания в них ароматических компонентов вступает в противоречие с предположением Д.С. Орлова [13] о влиянии на биологическую активность ГВ, в первую очередь — свободных функциональных групп.

Для получения дополнительной информации было изучено влияние обработки семян препаратами на основе ГВ, выделенных из верхового и низинного торфов. Предполагали, что дополнительное содержание в препарате фульвокислот и неспецифических веществ гумуса, включающих в свой состав аминокислоты и сахара, повысит биологическую активность препарата [24, 25]. Однако полученные для этих образцов данные свидетельствовали о практически полном отсутствии стимулирующего эффекта.

Таким образом, гуматы, приготовленные из ГК торфов, обладают достаточно высокой биологической активностью, а появление в составе препаратов других ГВ и неспецифических веществ гумуса приводит к ее снижению. При этом повышение концентрации препаратов (если воспринимать другие ГВ и неспецифические вещества гумуса в качестве балласта) не приводит к усилению эффекта. Следовательно, наличие этих веществ в препаратах по каким-то причинам не позволяет биологической активности, которой обладают ГК, проявляться.

Возможны два объяснения подобного ингибирования биологической активности ГК.

1. В состав неспецифических веществ гумуса входят ингибиторы развития семян. Однако в этом случае надо принять, что почва ингибирует развитие семян, чего на практике не наблюдается. Добавление к семенам вместо воды почвенных вытяжек не приводит к замедлению их развития.

2. Активность ГК связана не с выделением — передачей каких-то биологически активных веществ-стимуляторов из ГК семенам, а с поглощением из семян ингибиторов процесса их развития.

Подобный механизм активации вполне возможен. Во-первых, для ускорения химической

реакции всегда есть два пути — добавление катализатора и удаление из системы ингибитора, снижающего активность реагентов. Во-вторых, мы имеем дело с биологическими системами, в которых всегда присутствуют и вещества, активирующие протекание биохимических реакций, и вещества, ингибирующие их. По современным представлениям, рост семян регулируется балансом фитогормонов, в число которых входят ауксины, гиббереллины, цитокинины (активаторы биохимических реакций), этилен и абсцизовая кислота (ингибиторы биохимических реакций). При этом ведущая роль в прорастании семян принадлежит гиббереллинам, а абсцизовая кислота выполняет задерживающую функцию [11]. В результате ускорение процессов развития семян с позиций управления химическими реакциями может быть связано не с повышением концентрации активаторов, что более привычно, а со снижением концентрации (точнее, активности) ингибиторов.

С этих позиций легко объяснить снижение биологической активности ГК при уменьшении содержания в них ароматических компонентов, так как оно может негативно влиять на закрепление в ГК ингибиторов.

Необходимо отметить, что подобную трактовку физиологической активности ГВ уже предлагали ранее для объяснения снятия ГВ угнетения синтеза ДНК экзогенными ингибиторами [2, 4].

Рассмотрение биологической активности ГВ с позиций сорбции ингибиторов биохимических реакций позволяет понять природу некоторых известных ранее эффектов. В частности, наличие биологической активности для ГВ при поливе их экстрактами растений, произрастающих в почвах (в которых содержание подобных же ГВ на 4–6 порядков выше), хорошо объясняется отсутствием свободных, активных для поглощения ингибиторов, центров в ГК, находящихся в почвах. Становится понятен широкий спектр биологической активности ГВ при их воздействии на растения при обработке семян и корней, поливе под корень и при обработке по листу вегетирующих растений. Механизмы процессов развития этих частей растений стимулируются разными фитогормонами [9], и трудно предположить их замену в биохимических реакциях гумусовыми веществами, но сорбция ГВ ингибиторов из растений хорошо объясняет их широкий спектр действия.

Таким образом, предположение о биологической активности у ГВ за счет поглощения молекул — ингибиторов биохимических процессов позволяет объяснить полученные нами данные и известные ранее результаты.

Из выдвинутого предположения автоматически вытекает наличие у ГВ свободных активных

центров для связывания молекул-ингибиторов. Если центры связывания заняты, то поглощение ингибиторов гумусовыми веществами становится невозможным и биологическая активность у них должна отсутствовать. Следовательно, речь может идти не вообще о биологической активности любых ГВ, а только о биологической активности подготовленных специальным образом ГВ, когда освобождены их активные центры для связывания молекул — ингибиторов биохимических процессов. Из этого следует вывод о большом влиянии технологических режимов при получении препаратов на основе ГВ, так как даже препараты, полученные из одного сырья, но по разным технологиям, могут иметь разную биологическую активность.

Предположение о появлении биологической активности у ГВ за счет освобождения их активных центров при приготовлении препаратов на их основе ранее уже выдвигалось Д.С. Орловым [13], но касалось освобождения функциональных групп. При этом высокая сорбционная способность ГВ по отношению к органическим токсикантам хорошо известна и уже давно и активно используется при применении ГВ для детоксикации почв или при проведении обработок посевов гербицидами в смеси с препаратами ГВ для снижения негативного влияния на культурные растения.

Следует отметить, что данное объяснение хорошо согласуется с развиваемой в настоящее время концепцией супрамолекулярной природы ГВ [26–28], согласно которой низкомолекулярные вещества, встраивающиеся в ГВ, должны им соответствовать по принципу «ключ–замок». Для таких систем вполне корректно выглядит предположение о существовании активных центров, способных селективно связывать ингибиторы биохимических процессов.

Однако попытка объяснения биологической активности применения ГВ для стимуляции развития семян с позиции их способности к сорбции ингибиторов биохимических процессов из биологических объектов требовала уточнения, так как был не вполне понятен биологический объект, на который влияют ГВ при обработке их растворами семян. Связано это с тем, что многоклеточные биологические объекты представляют собой суперорганизмы, *жизнедеятельность и эволюция которых происходит только на основе взаимовыгодной интеграции с другими живыми существами (преимущественно микроорганизмами)* [14, 15, 17]. В результате стимуляция развития семян является не двухстадийным процессом (стимулятор — семена), а трехстадийным (стимулятор — эндофитные микроорганизмы семян — семена) [22]. Как следствие, ГВ при

воздействии на семена могут влиять непосредственно как на сами семена, так и на эндофитные микроорганизмы, обуславливая через ускорение их развития стимуляцию развития семян. Последний вариант является весьма вероятным, так как хорошо объясняет повышение привесов в животноводстве и птицеводстве при добавлении в корма ГВ их действием на микрофлору пищеварительного тракта [2].

Попытаемся, используя полученные нами результаты, ответить на вопрос о направлении действия ГК при обработке ими семян.

Из представленных данных (см. рис. 5) хорошо видно, что после резкого подъема эффективности при увеличении концентрации гуматов из ГК до примерно равного для разных ГК уровня наблюдается плавное ее снижение. Если принять, что гуматы из ГК взаимодействуют только (преимущественно) с ингибиторами биохимических реакций из растений, например с абсцизовой кислотой [9, 11, 12], не оказывая влияния на эндофитные микроорганизмы, то не совсем понятна причина прекращения роста эффективности при увеличении их концентрации. Подобное возможно при достижении максимума эффективности за счет поглощения гуматами из ГК всех ингибиторов из семян. Однако, как показали эксперименты, эффективность не достигает максимально возможного значения, так как добавление к гуматам из ГК гиббереллинов, снижающих концентрацию и влияние ингибиторов [21], усиливает эффект стимуляции гуматами примерно на 30...35 %.

Рассмотрение действия гуматов из ГК с позиций их влияния в первую очередь на эндофитные микроорганизмы лучше объясняет полученные экспериментальные результаты. В этом случае достаточно допустить, что гуматы из ГК поглощают соединения, мешающие быстрому росту эндофитов, например либо оказывающие влияние на проницаемость их мембран [2, 8], поглощают вещества, угнетающие синтез ДНК или другим способом воздействующие на развитие эндофитов [2]. Прекращение роста влияния гуматов из ГК при увеличении концентрации выше определенного предела свидетельствует о выходе процесса развития микроорганизмов на максимально возможный в этих условиях уровень, когда лимитирующим становится другой фактор, например наличие питательных веществ. Повышение скорости биохимических процессов в семенах при введении гиббереллинов не противоречит подобному объяснению, а снижение эффективности при дальнейшем росте концентрации гуматов из ГК может быть связано с сорбцией ими и уменьшением доступности питательных веществ, необходимых для роста микроорганизмов.

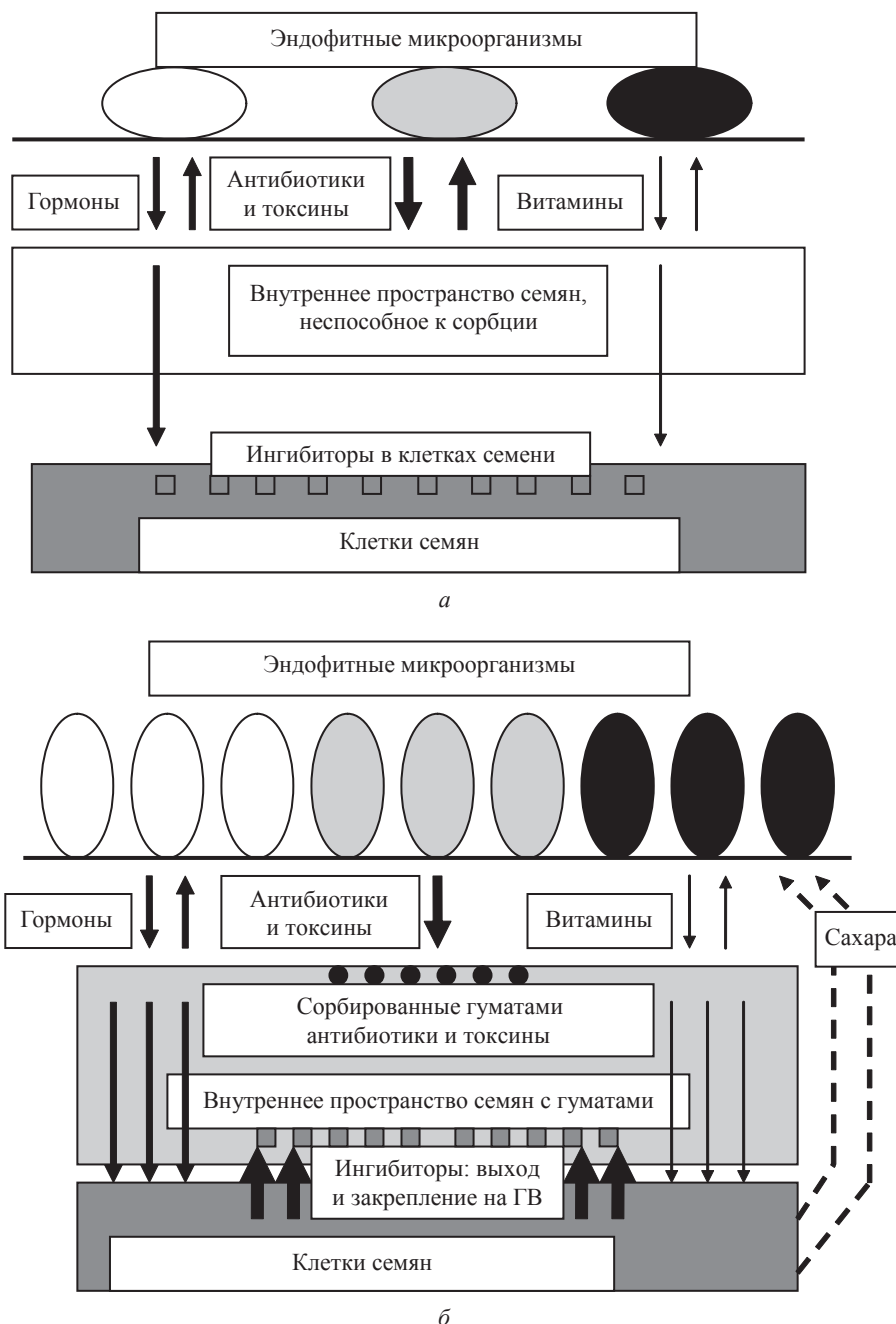


Рис. 6. Схема проходящих при прорастании семян процессов: а — при отсутствии в них ГВ; б — наличии в них ГВ
 Fig. 6. The scheme of processes occurring during the germination of seeds: а — in the absence of GW in them; б — presence of GW in them

Однако нельзя исключать, что стимуляция семян связана с влиянием гуматов из ГК на биохимические процессы как в эндифитных микроорганизмах, так и в самих семенах.

Представленная схема (рис. 6) поясняет наши представления о процессах, происходящих в семени во время его прорастания, при отсутствии (рис. 6, а) и при наличии (рис. 6, б) в нем ГВ.

Логично предположить, что внутри семени присутствуют разные микроорганизмы (грибы, дрожжи, бактерии), которые выделяют гормоны и витамины, а также антибиотики и токсины [16].

Гормоны могут стимулировать развитие как микроорганизмов, так и семян, а антибиотики и токсины угнетают развитие микроорганизмов других видов. Повышение концентрации антибиотиков и токсинов внутри семени приводит к замедлению развития микроорганизмов (роста их числа и активности), и, как следствие, концентрация гормонов и антибиотиков в семени растет относительно медленно. В результате уменьшается влияние гормонов микроорганизмов на развитие семени. Также в семени присутствуют ингибиторы прораста-

ния (АБК), которые могут «уходить» из семени только под влиянием гормонов (гиббереллиновой кислоты). В результате процессы развития семян происходят с относительно низкой скоростью.

Наличие в семенах ГВ с их высокой сорбционной способностью приводит к закреплению на ГВ антибиотиков и токсинов и снижению их активности антибиотиков и токсинов. В результате ускоряются процессы развития микроорганизмов и повышается количество выделяемых ими гормонов и витаминов. Кроме того, ингибиторы развития семян тоже поглощаются ГВ, что ускоряет их развитие.

Данная схема является только предположительной, но в любом случае от попыток объяснить биологическую активность ГВ их действием только на семена (растения), которые доминируют в литературе в настоящее время, необходимо переходить к рассмотрению действия ГВ на всю систему в целом, включающую сами семена (растения) и их эндофитные и эпифитные микроорганизмы.

Выводы

1. Установлено, что эффекты стимуляции прорастания семян лучше изучать при низкой влажности почвоимитирующего субстрата на семенах редиса.

2. Показано, что наличие препятствий для проникновения препаратов-стимуляторов внутрь семян ограничивает их действие.

3. Установлено, растворы гуматов для обработки семян приготовленных из гуминовых кислот различного происхождения, почти не различаются по эффективности. Несколько меньшая эффективность свойственна препаратам из ГК, выделенных из белоподзолистой почвы.

4. Из литературы следует, что основной особенностью ГК, выделенных из подзолистых почв, меньшее содержание в их составе ароматических компонентов.

5. Показано, что препараты на основе ГВ, выделенных из торфа, в состав которых кроме ГВ входят и неспецифические вещества гумуса, обладают очень низкой биологической активностью.

6. Выдвинуто предположение о том, что биологическая активность ГВ связана с их способностью избирательно поглощать из биологических объектов ингибиторы биохимических реакций.

7. Из анализа полученных данных следует, что влияние ГВ на развитие семян осуществляется, вероятнее всего, через стимулирующее воздействие на эндофитные микроорганизмы и биохимические процессы в самих семенах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ.

Список литературы

- [1] Александрова И.В. О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов их метаболизма. Органическое вещество целинных и освоенных почв. М.: Наука, 1972. С. 30–69.
- [2] Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере: учеб. пособие. Ростов-н/Д: Южный федеральный ун-т, 2009. 120 с.
- [3] Ваксман С. Гумус. Происхождение, состав и значение его в природе. М.: СЕЛЬХОЗГИЗ, 1937. 472 с.
- [4] Горвая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. Киев: Наукова думка, 1995. 303 с.
- [5] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [6] Заварзина А.Г., Демин В.В. Кислотно-основные свойства гуминовых кислот различного происхождения по данным потенциометрического титрования // Почвоведение, 1999. № 10. С. 1246–1254.
- [7] Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
- [8] Мажуль В.М., Прокопова Ж.В., Ивашкевич Л.С. Механизм действия гуминовых препаратов из торфа на структурное состояние мембран и функциональную активность дрожжевых клеток / Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 151–157.
- [9] Муромцев Г.С., Чкаников Д.И., Кулаева О.Н., Гамбург К.З. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
- [10] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по прорастиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 347 с.
- [11] Обручева Н.В. Прорастание семян / В кн. Физиология семян. М.: Наука, 1982. С. 223–274.
- [12] Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. М.: Колос, 1976. 256 с.
- [13] Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ / В кн. Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 16–27.
- [14] Проворов Н.А. Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // Журнал общей биологии, 2009. Т. 70. № 1. С. 10–34.
- [15] Проворов Н.А., Долгих Е.А. Метаболическая интеграция организмов в системах симбиоза // Журнал общей биологии, 2006. Т. 67. № 6. С. 403–422.
- [16] Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. М.: Колос, 1977. 224 с.
- [17] Савинов А.Б. Аутоценоз и деоценоз как симбиотические системы и биологические категории // Журнал общей биологии, 2012. Т. 73. № 4. С. 284–301.
- [18] Экология семян пшеницы / Л.К. Сечняк, Н.А. Киндрук, О.К. Слюсаренко, В.Г. Иващенко, Е.Д. Кузнецов. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [19] Соромотина Т.В. Практикум по овощеводству. Пермь: Прокрость, 2016. 305 с.
- [20] Тюрин И.В. Органическое вещество и его роль в почвообразовании и плодородии. М.; Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
- [21] Уолтон Д.С. Абсцизовая кислота / В кн.: Физиология и биохимия покоя и прорастания семян; пер. с англ. Н.А. Аскоченской, Н.А. Гумилевской, Е.П. Заверткиной,

- Э.Е. Хавкина; под ред. М.Г. Николаевой, Н.В. Обручевой. М.: Колос, 1982. С. 170–183.
- [22] Почвенные дрожжи и их роль в прорастании семян / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба, М.Ф. Федотова, А.Л. Степанов, Р.А. Стрелецкий // Почвоведение, 2017. № 5. С. 592–602.
- [23] Христева Л.А. О природе действия физиологически активных форм гуминовых кислот и других стимуляторов роста растений. Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3. С. 13–28.
- [24] Царева Р.И. Химизм торфяной почвы. Минск: Наука и техника, 1976. 192 с.
- [25] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants // *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527–1536.
- [26] Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances // *Soil Science*, 2001, 166 (11), pp. 810-832.
- [27] Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics // *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2006, no. 169, pp. 145–156.
- [28] Sutton R, Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view // *Environmental Science and Technology*, 2005, no. 39, pp. 9009–9015.

Сведения об авторах

Федотов Геннадий Николаевич — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

Федотова Магдалина Федоровна — специалист факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

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

Батырев Юрий Павлович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: batyrev@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 16.12.2016 г.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF HUMIC SUBSTANCES AND THEIR INFLUENCE ON THE SEED PROPERTIES

G.N. Fedotov¹, M.F. Fedotova¹, V.S. Shalaev², Yu.P. Batyrev²

¹ Lomonosov Moscow State University (MSU), Institute of Ecology Soil Science, MSU, GSP-1, Leninskiye Gory, 1-12, 119991, Moscow, Russia,

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

To research the effect of seed germination stimulation the influence of humates prepared with humic acid of different origin has been studied. It is shown that the efficiency of humate stimulation of different origine used to treat seeds differs slightly. Somewhat lower efficiency is typical of the drugs produced from humic acids of ash grey soils (podzols) which differ from the humic acids of another origine, having less amount of aromatic components in its composition. It has been stated that drugs based on peat humic substances, comprising some non-specific humus substances in addition to humic substances, possess biological activity which is much lower as compared to the biological activity of humates of peat humic acids. Based on the obtained data, it has been suggested that the biological activity of humic acids is related to their ability to selectively absorb biochemical reaction inhibitors from biological objects by active parts of humic acids which are free for the sorption, and the influence of humic acids on the development of seeds is carried out through a stimulating effect on endophytic microorganisms and biochemical processes in the seeds. In this regard, it is necessary to proceed from the attempts to explain the biological activity of humic substances in their effect on seeds (plants) only to considering the humic substance influence on the system as a whole, including the seeds themselves (plants) and their endophytic and epiphytic microorganisms.

Key words: pre-sowing treatment of seeds, the increase of seed sowing qualities, endophytic microorganisms, humic substance sorption of biochemical process inhibitors

Suggested citation: Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Biologicheskaya aktivnost' gumusovykh veshchestv i ikh vliyanie na svoystva semyan* [Biological activity of humic substances and their influence on the seed properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 26–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-26-36

References

- [1] Aleksandrova I.V. *O fiziologicheskoy aktivnosti gumusovykh veshchestv i produktov ikh metabolizma* [About the physiological activity of humic substances and products of their metabolism] *Organicheskoe veshchestvo tselinnykh i osvoennykh pochv* [Organic matter of virgin and cultivated soils]. Moscow, 1972, pp. 30-69. (in Russian)
- [2] Bezuglova O.S. *Guminovye veshchestva v biosphere* [Humic substances in the biosphere]. Rostov-na-Donu: Yuzhniy federal'niy un-t Publ., 2009, 120 p. (in Russian)

- [3] Vaksman S. *Gumus. Proiskhozhdenie, sostav i znachenie ego v prirode* [Origin, composition and its importance in nature]. Moscow, 1937, 472 p. (in Russian)
- [4] Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Guminovye veshchestva: stroenie, funktsii, mekhanizm deystviya, protekturnyye svoystva, ekologicheskaya rol'* [Humic substances: structure, function, mechanism of action, protective properties, biological role]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1995, 303 p. (in Russian)
- [5] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Minsk: Uradzhay Publ., 1986, 118 p. (in Russian)
- [6] Zavarzina A.G., Demin V.V. *Kislotno-osnovnye svoystva guminovykh kislot razlichnogo proiskhozhdeniya po dannym potentsiometricheskogo titrovaniya* [The acid-base properties of humic acids of various origin based on potentiometric titration] *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 1999, no. 10, pp. 1246-1254. (in Russian)
- [7] Kononova M.M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svoystva i metody izu-cheniya* [Soil organic matter, its nature, properties, and methods of study]. Moscow: AN USSR Publ., 1963, 315 p. (in Russian)
- [8] Mazhul' V.M., Prokopova Zh.V., Ivshkevich L.S. *Mekhanizm deystviya guminovykh pre-paratov iz torfa na strukturnoe sostoyanie membran i funktsional'nyu aktivnost' drozhzhevykh kletok* [The mechanism of action of humic substances of peat on the structural condition of the membranes and the functional activity of the yeast cells] *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic substances in the biosphere]. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 151-157. (in Russian)
- [9] Muromtsev G.S., Chkanikov D.I., Kulaeva O.N., Gamburg K.Z. *Osnovy khimicheskoy re-gulyatsii rosta i produktivnosti rasteniy* [Fundamentals of Chemical regulation of growth and productivity of plants]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1987, 383 p. (in Russian)
- [10] Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po prorashchivaniyu poko-yashchikhsya semyan* [Handbook on germination of dormant seeds]. Leningrad: Nauka Publ., 1985, 347 p. (in Russian)
- [11] Obrucheva N.V. *Prorastanie semyan* [Seed germination]. *Fiziologiya semyan* [Seed physiology]. Moscow: Nauka Publ., 1982, pp. 223-274. (in Russian)
- [12] Ovcharov K.E. *Fiziologiya formirovaniya i prorastaniya semyan* [Physiology formation and germination of seeds]. Moscow: Kolos Publ., 1976, 256 p. (in Russian)
- [13] Orlov D.S. *Svoystva i funktsii guminovykh veshchestv* [Features and functions of humic substances] *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic substances in the biosphere]. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 16-27. (in Russian)
- [14] Provorov N.A. *Rastitel'no-mikrobnye simbiozy kak evolyutsionnyy kontinuum* [Plant-microbe symbioses as an evolutionary continuum] *Zhurnal obshechi biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2009, v. 70, no. 1, pp. 10–34. (in Russian)
- [15] Provorov N.A., Dolgikh E.A. *Metabolicheskaya integratsiya organizmov v sistemakh sim-bioza* [Metabolic integration organisms in symbiotic systems] *Zhurnal obshechi biologii* [Biology Bulletin Reviews]. 2006, v. 67, no. 6, pp. 403–422. (in Russian)
- [16] Russel' S. *Mikroorganizmy i zhizn' pochvy* [Microorganisms and soil life]. Moscow: Kolos Publ., 1977, 224 p. (in Russian)
- [17] Savinov A.B. *Autotsenoz i demotsenoz kak simbioticheskie sistemy i biologicheskie kategorii* [Autotsenoz and demotsenoz a symbiotic system and biological category] *Zhurnal obshechi biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2012, v. 73, no. 4, pp. 284-301. (in Russian)
- [18] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology wheat seeds]. Moscow: Kolos Publ., 1983, 349 p. (in Russian)
- [19] Soromotina T.V. *Praktikum po ovoshchevodstvu* [Workshop on Vegetable]. Perm': Prokrost' Publ., 2016, 305 p. (in Russian)
- [20] Tyurin I.V. *Organicheskoe veshchestvo i ego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii* [Organic matter and its role in soil formation and fertility]. Moscow: Sel'khozgiz Publ., 1937, 287 p. (in Russian)
- [21] Uolton D.S. *Abstizovaya kislota* [Abscisic acid] *Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorastaniya semyan* [Physiology and biochemistry of dormancy and germination of seeds] Moscow: Kolos Publ., 1982, pp. 170-183. (in Russian)
- [22] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F., Stepanov A.L., Streletskiy R.A. *Pochvennyye drozhzhi i ikh rol' v prorastanii semyan* [Soil yeast and their role in germination of seeds] *Pochvovedenie*, 2017, № 5. pp. 592–602. (in Russian)
- [23] Khristeva L.A. *O prirode deystviya fiziologicheskii aktivnykh form guminovykh kislot i drugikh stimulyatorov rosta rasteniy* [On the nature of physiologically active form of humic acid and other plant growth stimulants] *Guminovye udobreniya. Teoriya i praktika ikh primeneniya* [Humic fertilizer. Theory and practice of their application]. Kiev, 1968, part. 3. pp. 13-28. (in Russian)
- [24] Tsareva R.I. *Khimizm torfyanyy pochvy* [The chemistry of peat soil]. Minsk: Nauka i tekhnika Publ., 1976, 192 p. (in Russian)
- [25] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. *Physiological effects of humic sub-stances on higher plants* [Effects of Fisiologikal of-numik substanses he nizhner Plants] *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527-1536. (in Russian)
- [26] Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances. *Soil Science*, 2001, v. 166(11), pp. 810-832.
- [27] Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2006, 169, pp. 145-156.
- [28] Sutton R, Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view. *En-vironmental Science and Technology*. 2005, v. 39, pp. 9009-9015.

Author's information

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

Fedotova Magdalina Fedorovna — Researcher, Lomonosov Moscow State University, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

Shalaev Valentin Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.) Professor, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: shalaev@mgul.ac.ru

Batyrev Yuriy Pavlovich — Cand. Sci. (Tech.) Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: batyrev@mgul.ac.ru

Received 16.12.2016