

УДК 631.878:631.41:631.46

ГУМИНОВЫЕ ПОЧВОМОДИФИКАТОРЫ ИЗ ТОРФА И УГЛЯ: ВЛИЯНИЕ НА ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДЕЛЬНЫХ ПОЧВОСМЕСЕЙ¹

© 2023 г. А. А. Степанов¹, О. С. Якименко^{1,*}¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119992 Москва, Ленинские горы, 1., стр. 12, Россия

*E-mail: iakim@soil.msu.ru

Поступила в редакцию 22.12.2022 г.

После доработки 26.01.2023 г.

Принята к публикации 16.02.2023 г.

Провели оценку воздействия почвенных модификаторов гуминовой природы (ГМ) на основе торфа и угля (препараты Торфогель и Углегель) на химические свойства, целлюлозолитическую активность и продуктивность модельных почвосмесей (искусственных почв) в условиях вегетационного эксперимента. В качестве естественной почвы сравнения использовали дерново-подзолистую окультуренную почву Московской обл. Показано, что увеличение доли обоих ГМ от 3 до 15% в составе почвосмесей закономерно улучшало их основные агрохимические показатели: содержание НРК и гумуса достигали категории высокое, сравнимое и превышающее таковые для естественной почвы. Значимые различия начинали проявляться при 5%-ном содержании Углегеля, и 7%-ном – Торфогеля. Обработка грунта гуминовыми почвомодификаторами стимулировала биологическую активность почвосмесей, а также рост и развитие растений. Все вышеуказанные тенденции были выражены значительно отчетливей при обработке Углегелем по сравнению с Торфогелем, что объясняется генезисом и свойствами органического вещества биополимеров. Результаты работы могут быть использованы для создания стабильных и продуктивных искусственных грунтов.

Ключевые слова: гуминовые удобрения, искусственные почвы, химические свойства почв, гумус, урожайность, биологическая активность.

DOI: 10.31857/S0002188123050095, **EDN:** USLIZJ

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования в области экологического земледелия и охраны окружающей среды диктуют необходимость применения в сельском хозяйстве и ремедиационных технологиях экологически чистых и безопасных природных веществ. Одним из наиболее перспективных приемов является использование препаратов на основе природных биополимеров – гуминовых веществ (ГВ). Являясь гетерофункциональными гидрофильными и амфифильными полиэлектролитами, ГВ при внесении в почву способны оптимизировать ее водный режим, стабилизировать почвенную структуру, предотвращать вынос питательных элементов и препятствовать водной и ветровой эрозии [1–4]. В связи с этим в настоящее время многие промышленные компании производят и предлагают на рынке линейку продуктов на основе природных ГВ из различного

органического сырья для их применения в качестве компонента искусственных почвогрунтов, которые могут быть использованы в городском озеленении, тепличном хозяйстве и т.п.

Эффективность таких инновационных продуктов на основе биополимеров различна. Показано их положительное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур [5–10], в качестве почвенных структурообразователей [11–14] и агентов для ремедиации загрязненных почв [15–19]. Тем не менее, закономерности влияния почвомодификаторов на основе ГВ в зависимости как от их природы и особенностей рецептуры, так и от свойств почв, пока не установлены.

Основные рецептуры получения гуминовых продуктов из органического сырья – твердофазная экстракция, щелочная экстракция, кавитация. Химическая модификация структуры ГВ в процессе их промышленного выделения из твердых каустобиолитов, как правило, приводит к увеличению количества функциональных групп,

¹ Работа выполнена в рамках госзадания 121040800154-8.

Таблица 1. Химический состав гуминовых модификаторов

Показатель	Торфогель	Углегель
рН	6.25	6.87
Влажность, %	73.7	81.6
Сухое вещество, %	26.2	18.4
Зольность, % к сухому веществу	37.1	6.9
Органическое вещество, % к сухому веществу	54.7	80.0
Гуминовые кислоты, % к сухому веществу	21.1	76.1
Гуминовые кислоты, % к <i>ОВ</i>	39	95
Фульвокислоты, % к сухому веществу	10.7	3.6
Фульвокислоты, % к <i>ОВ</i>	20	5

повышению растворимости гуминовых комплексов с металлами и другим изменениям свойств ГВ по сравнению с выделенными лабораторными способами [20]. Однако при одной и той же технологии принципиальное значение имеет генезис органического сырья. Ранее показано, что состав гуминовых продуктов из торфа и угля в значительной степени наследует черты, свойственные исходному сырьевому источнику, несмотря на технологические особенности производства [21–23]. Для органического вещества (*ОВ*) препаратов из торфов по сравнению с угольными характерно более низкое содержание углерода и высокое — азота и кислорода, более низкая ароматичность и обогащенность кислыми функциональными группами, алифатическими и углеводными фрагментами. В составе *ОВ* гуминовых продуктов, как правило, доминируют гуминовые кислоты (*ГК*). Однако некоторые гуминовые продукты (преимущественно из торфа, сапропеля и органических отходов) содержат до 91% веществ кислотрастворимой фракции (фульвокислот, аминокислот, углеводов, низкомолекулярных карбоновых кислот) [24–26]. Показано наличие биологически активных и гормоноподобных веществ [27–29], что во многом обуславливает их более высокую биостимулирующую активность по сравнению с препаратами из углей.

Эти факторы во многом объясняют неодинаковую эффективность гуминовых продуктов на основе угля и торфа при использовании их в качестве почвенных кондиционеров и биостимуляторов. В целом препараты из угля, обогащенные *ГК* с высокой степенью полимеризации ароматического ядра и большим количеством функциональных групп, способствуют формированию

почвенных агрегатов, увеличению емкости катионного обмена, доступности элементов питания и стимулированию биологической активности почв. В препаратах из торфа эти эффекты обычно выражены слабее, но за счет наличия биологически активных веществ в составе кислотрастворимой фракции они оказывают более выраженное воздействие в качестве стимуляторов роста растений.

Понимание механизмов взаимодействия почв и почвоподобных субстратов с инновационными продуктами на основе биополимеров позволит оптимизировать водно-физические и химические свойства деградированных почв, а также разработать теоретические и прикладные основы создания плодородных почвосмесей на основе геологических пород, строительных грунтов, что является актуальной фундаментально-научной и прикладной задачей.

Цель работы — оценка возможностей использования природных биополимеров на основе гуминовых веществ из торфа и угля в качестве почвенных модификаторов для создания плодородных почвосмесей. Ранее нами было изучено влияние гуминовых модификаторов (*ГМ*) на агрегатный состав почвосмесей [13]. В задачи данной работы входило изучение влияния тех же *ГМ* на химические свойства, продуктивность и биологическую активность почвосмесей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы почвенные модификаторы гуминовой природы — гуминовые модификаторы (*ГМ*) Торфогель и Углегель, разработанные и производимые компанией ООО “Биохим Технологии” (Москва, Россия) по оригинальной технологии из торфа и угля соответственно. Препараты представляют собой гелеобразную массу с влажностью 74–82% и высоким содержанием органического вещества: 55 и 80% для Торфогеля и Уггеля соответственно (табл. 1). В свою очередь, *ОВ* препаратов представлено комплексом гуминовых веществ с преобладанием гуминовых кислот в препарате из угля (95% от *ОВ*) и сбалансированным сочетанием гуминовых кислот (*ГК*) и фульвокислот (*ФК*) в препарате из торфа (39% *ГК* и 20% *ФК*). Содержание *ОВ* в препаратах определяли методом бихроматного окисления по Тюрину; содержание *ГК* и *ФК* — в 0.1 н. NaOH-вытяжке по Тюрину.

Почвосмеси готовили путем смешивания в определенных пропорциях неструктурного и малоплодородного среднесуглинистого грунта (элювиальный горизонт дерново-подзолистой

почвы, отобранный на территории ОПЭЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, “Чашниково”, Московская обл.) с гуминовыми модификаторами Торфогель или Углегель. Навески грунта помещали в объемный сосуд, добавляли соответствующие аликвоты ГМ и перемешивали с помощью мешалки “EIRICH” в течение 5 мин при 600 об./мин. Содержание ГМ в смесях составляло 0, 3, 5, 7, 9, 13 и 15% к массе исходного грунта.

Дальнейшие исследования проводили в условиях модельного вегетационного эксперимента с различными вариантами почвосмесей. На дно вегетационных сосудов (объем 0.6 л) помещали дренаж (3 см песка). Сосуды наполняли почвосмесями и проводили посев семян озимой пшеницы *Triticum aestivum* сорта Юка. На время наблюдений сосуды помещали в вегетационную камеру ($T = 25^{\circ}\text{C}$, $W = 70\%$). Полив растений проводили ежедневно в течение всего времени эксперимента. Через 30 сут вегетации проводили укос и учет биомассы. Почву извлекали из сосудов, высушивали до воздушно-сухого состояния, отбирали репрезентативные пробы и определяли ряд показателей: pH в водной и солевой суспензии, емкость катионного обмена по Бобко–Аскинази, содержание гумуса — по Тюрину, отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ в 0.1 н. NaOH-вытяжке, содержание общего азота — по Кьельдалю на приборе Kjeltec-1020, доступных форм калия и фосфора — по Кирсанову.

Общую биологическую активность почвосмесей оценивали аппликационным методом по интенсивности разложения целлюлозы (по Звягинцеву). Полосу стерилизованной льняной ткани (10×50 см) помещали в почву на глубину 2 см перед посевом семян. Через 30 сут полотно извлекали, промывали, просушивали и взвешивали. Интенсивность разложения целлюлозы оценивали по убыли массы полотна (%), используя следующую шкалу: очень слабая <10, слабая 10–30, средняя 30–50, сильная 50–80 и очень сильная >80 [30].

Для сравнительной оценки свойств полученных почвосмесей (искусственных почв) со свойствами почвы, сформированной в естественных условиях, использовали верхний горизонт окультуренной дерново-подзолистой почвы Московской обл. (дерново-подзолистая культурная среднесуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых красно-бурой суглинистой мореной [31]). В почве сравнения проводили все те же анализы, что и в почвосмесях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходный почвогрунт характеризовался кислой реакцией среды, крайне низкой обеспечен-

ностью гумусом и доступными формами калия и фосфора (табл. 2, 3). Увеличение доли обоих ГМ в составе почвосмесей закономерно улучшало их основные агрохимические показатели по сравнению с исходным грунтом. Величина pH возрастала до 6.9–7.5, а обеспеченность доступными формами фосфора и калия достигала высокой и очень высокой степени (табл. 2). Также наблюдали закономерное увеличение емкости катионного обмена почвосмесей (до 33–37 мг-экв/100 г), что очевидно связано с увеличением содержания гумуса, а, следовательно, и увеличением обменных позиций в почвенном-поглощающем комплексе. Указанные эффекты значительно сильнее были выражены при обработке препаратом на основе угля по сравнению с препаратом из торфа. В целом агрохимические показатели почвосмесей приближались к таковым почвы сравнения при содержании Углегеля 3–5% и Торфогеля — 5–7%.

Особенно было выражено воздействие ГМ на показатели гумусного состояния почвосмесей (табл. 3, рис. 1). Исходный почвогрунт содержал крайне низкие количества гумуса и общего азота. Его обогащение гуминовыми веществами в составе ГМ привело к формированию высокогумусных почвосмесей. При этом Углегель, являясь более концентрированным и обогащенным ГК препаратом по сравнению с Торфогелем, оказывал значительно более сильное воздействие. Например, при одинаковых дозах ГМ содержание гумуса и доля ГК в его составе при обработке Углегелем примерно в 2 раза превышали таковые для вариантов с Торфогелем. Расширение отношения $C_{ГК} : C_{ФК}$ при возрастающих дозах ГМ демонстрировало ту же тенденцию. При этом обогащенность гумуса азотом по показателю $C : N$ оставалась низкой (12–18).

По показателям гумусного состояния наиболее сбалансированными и приближенными к естественной почве сравнения (2.62% гумуса, $C_{ГК} : C_{ФК} = 0.7$, $C_{ГК} : C_{общ} = 0.43$) составами, вероятно, можно считать смеси с 5%-ным содержанием Углегеля и 7–9%-ным — Торфогеля с минимальным соотношением $C : N$ и величиной $C_{ГК} : C_{ФК}$, близкой к единице.

ГМ оказывали также положительное влияние на активность микробного сообщества в исследованных почвосмесях (табл. 4). Интенсивность разложения целлюлозы в почве определяется совместным действием нескольких факторов, в том числе количеством поступающего органического вещества и доступностью источников азотного питания. В соответствии с количеством поступившего органического вещества биологическая

Таблица 2. Некоторые химические свойства почвосмесей на основе Торфогеля и Углегеля и почвы сравнения

Показатель	Варианты/содержание модификатора, %							Почва сравнения
	0	3	5	7	9	13	15	
Торфогель								
pH _{H₂O}	4.9	5.9	5.8	5.9	6.2	6.3	6.9	5.9
pH _{KCl}	н.о.*	4.9	5.0	5.0	5.2	5.5	5.7	5.1
ЕКО, мг-экв/100 г почвы	н.о.	11	12	20	24	29	33	8
N _{общ} , %	0.03	0.05	0.09	0.17	0.21	0.23	0.29	0.09
K ₂ O, мг/100 г почвы	0.02	11.1	12.3	15.2	19.8	21.4	25	13.2
P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	0.01	10.8	11.0	14.5	20.2	22.2	26.2	12.1
Углегель								
pH _{H₂O}	4.9	5.8	6.2	6.3	7.1	7.3	7.5	5.9
pH _{KCl}	н.о.	5.0	5.2	5.5	6.0	6.4	6.7	5.1
ЕКО, мг-экв/100 г почвы	н.о.	13	22	26	32	36	37	8
N _{общ} , %	0.03	0.09	0.19	0.20	0.28	0.34	0.38	0.09
K ₂ O, мг/100 г почвы	0.02	13.0	19.2	20.5	24.2	32.7	34.0	13.2
P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	0.01	11.9	20.0	22.8	23.5	31.5	32.1	12.1

*н.о. — не определяли. То же в табл. 3.

Таблица 3. Показатели гумусного состояния почвосмесей на основе Торфогеля и Углегеля и почвы сравнения

Показатель	Варианты /содержание модификатора, %							Почва сравнения
	0	3	5	7	9	13	15	
Торфогель								
Гумус, %	0.16	1.52	2.3	3.42	4.42	6.15	7.0	2.62
C : N	3.3	18	15	12	12	16	14	17
C _{ГК} , % к почве	н.о.	0.63	1.01	1.48	1.90	2.74	3.16	0.61
C _{ГК} , % к C _{общ}	н.о.	41.6	45.9	43.3	43.0	44.6	45.2	0.43
Углегель								
Гумус, %	0.16	2.7	4.31	6.04	7.72	10.6	12.0	2.62
C : N	3.3	17	13	18	16	18	18	17
C _{ГК} , % к почве	н.о.	2.3	3.8	5.3	6.9	9.9	11.4	0.61
C _{ГК} , % к C _{общ}	н.о.	84.5	88.3	88.2	76.1	93.1	94.8	0.43

Таблица 4. Целлюлозолитическая активность почвосмесей

Содержание модификатора, %	Интенсивность разрушения льняной ткани			
	Торфогель		Углегель	
	%	степень	%	степень
3	12.9	слабая	35.6	средняя
5	19.1	слабая	47.4	средняя
7	33.8	средняя	55.8	сильная
9	46.0	средняя	68.6	сильная
13	54.7	сильная	82.6	очень сильная
15	69.8	сильная	85.8	очень сильная

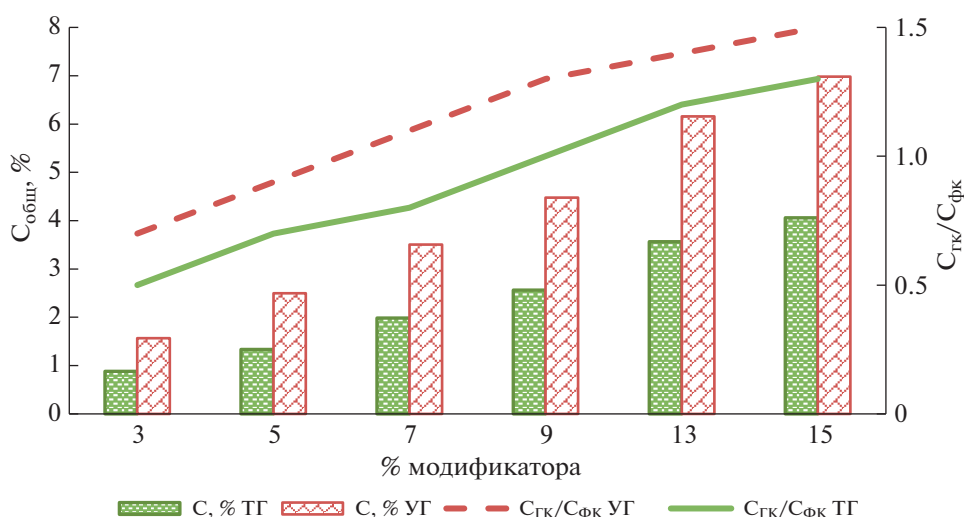


Рис. 1. Влияние различных доз Торфогеля и Углегеля на содержание общего углерода и величину соотношения $C_{ГК} : C_{ФК}$ в почвосмесях.

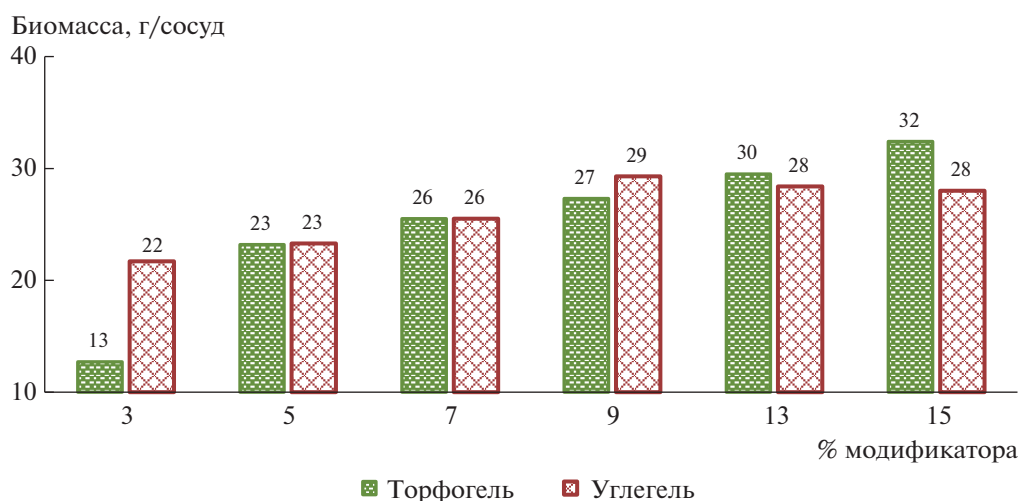


Рис. 2. Влияние различных доз Торфогеля и Углегеля на воздушно-сухую биомассу пшеницы в вегетационном опыте на почвосмесях.

активность почвосмесей возрастала с дозой внесения ГМ от слабой до сильной при обработке Торфогелем и от средней до очень сильной — Углегелем. Почва сравнения характеризовалась высокой степенью биологической активности (интенсивность разрушения ткани составила 52.8%), и почвосмеси достигали сходного уровня биологической активности при содержании Торфогеля — 13 и Углегеля — 7%.

Биологическая продуктивность (плодородие) исследованных почвосмесей повышалась с увеличением доли обоих ГМ в их составе (рис. 2). При этом различия между препаратами по показателю прироста биомассы показывали иную тенденцию, чем показатели химического состояния

и биологической активности почвосмесей. При внесении Торфогеля прибавка биомассы линейно возрастала с увеличением дозы. Обработка Углегелем обеспечивала прирост такой же биомассы тест-культуры, как и почва сравнения (22 г/сосуд), уже при минимальной дозе 3%, достигая максимума при содержании модификатора 9%, но более высокие дозы не приводили к дальнейшему увеличению продуктивности тест-культуры.

Эти данные могут свидетельствовать о том, что в целом Торфогель оказался более эффективным биостимулятором по сравнению с Углегелем, несмотря на более выраженное воздействие последнего на агрохимические показатели, показатели гумусного состояния и целлюлозолитическую ак-

тивность. Вероятно, решающее значение имело не высокое содержание в препарате ГК, а сбалансированное сочетание ГК и ФК, поскольку последние более активны в качестве биостимуляторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные почвомодификаторы на основе природных биополимеров — гуминовых веществ — препараты Торфогель и Углегель оказывали существенное положительное влияние на агрохимические свойства почвосмесей, а также их плодородие и биологическую активность.

Наиболее существенные, кардинальные изменения происходили со свойствами почвосмесей при достижении содержания органического вещества 6% и больше. Значимые различия начинали проявляться при 5%-ном содержании Углегиеля, и 7%-ном — Торфогеля, а оптимальными составами можно считать содержание ГМ 13–15% для почвосмесей на основе Торфогеля и 7–13% — на основе Углегиеля.

При этом генезис *ОВ* ГМ играл решающую роль: практически полностью состоящий из ГК Углегель оказывал более существенное воздействие на гумусное состояние и агрохимические показатели почвосмесей, тогда при обработке обогащенным ФК Торфогелем изменения происходили более плавно, но ростстимулирующий эффект на растения был выражен более отчетливо.

Результаты анализов почвенных смесей на основе комплексов гуминовых почвомодификаторов Торфогель и Углегель свидетельствовали о том, что исследованные почвенные смеси были близкими по своим свойствам (запасам питательных элементов, качеству и содержанию гумуса, биологической активности, плодородию) к естественным высокогумусированным почвам.

Авторы благодарны компании ООО “Биохим Технологии” (Москва, Россия) за предоставление образцов гуминовых почвомодификаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов В.В., Панова И.Г., Шульга П.С., Ильясов Л.О., Ярославов А.А. Противозерозионные свойства чернозема, обработанного полиэлектролитными комплексами на основе гуматов калия // *Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы*. 2019. С. 503–507.
2. Панова И.Г., Хайдапова Д.Д., Ильясов Л.О., Киушов И.И., Умарова А.Б., Сыбачин А.В., Ярославов А.А. Полиэлектролитные комплексы гуматов калия и поли(диаллилдиметиламмоний хлорида) для закрепления песчаного грунта // *Высокомол. соед. Сер. Б*. 2019. Т. 61. № 6. С. 1–6.
3. Bezuglova O., Klimenko A. Application of humic substances in agricultural industry // *Agronomy*. 2022. Т. 12. № 3. С. 584.
4. Jindo K.K., Olivares, F.L., Malcher, D.J.D.P., Sánchez-Monedero, M.A., Kempenaar, C., Canellas, L.P. From lab to field: Role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent // *Front. Plant Sci.* 2020. Т. 11. С. 426.
5. Безуглова О.С., Полиенко Е.А. Применение гуминовых препаратов под картофель и озимую пшеницу // *Пробл. агрохим. и экол.* 2011. № 4. С. 29–32.
6. Степанов А.А., Якименко О.С., Госсе Д.Д., Смирнова М.Е. Изучение эффективности гуминового удобрения ЭДАГУМ® СМ как стимулятора роста и мелиоранта в вегетационном и мелкоделяночном опытах с пшеницей // *Агрохимия*. 2018. № 6. С. 36–43.
7. Якименко О.С. Применение гуминовых продуктов в РФ: результаты полевых опытов (обзор литературы) // *Живые и биокосн. сист.* 2016. № 18. <http://www.jbks.ru/archive/issue-18/article-4>
8. Turgay O.C., Karaca A., Unver S., Tamer N. Effects of coal-derived humic substance on some soil properties and bread wheat yield // *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 2011. V. 42. P. 1050–1070.
9. Yuan Y., Gai S., Tang C., Jin Y., Cheng K., Antonietti M., Yang, F. Artificial humic acid improves maize growth and soil phosphorus utilization efficiency // *Appl. Soil Ecol.* 2022. Т. 179. С. 104587.
10. Olk D.C., Dinnes D.L., Callaway C.R. Maize growth responses to a humic product in Iowa production fields: An extensive approach // *Front. Plant Sci.* 2021. V. 12. e778603.
11. Ли С.П., Прохоренко В.А., Худайбергенова Б.М., Жорбекова Ш.Ж. Структурирование солонцеватой сероземно-луговой почвы гидрогелями гуминовых препаратов // *Пробл. агрохим. и экол.* 2015. № 4. С. 45–50.
12. Лыхман В.А., Полиенко Е.А., Дубинина М.Н., Поволоцкая Ю.С., Безуглова О.С. Эффективность гуминового препарата как структурообразователя при выращивании озимой пшеницы в Ростовской области // *Изв. Оренбург. ГАУ*. 2019. № 4 (78). С. 54–58.
13. Степанов А.А., Якименко О.С., Шульга П.С. Эффективность действия гуминовых биополимеров из торфа и угля при восстановлении почвенной структуры // *J. Agricult. Environ.* 2022. № 3 (23). С. 1–6.
14. Якименко О.С., Грузденко Д.А., Степанов А.А., Бутылкина М.А., Киушов А.А., Панова И.Г. Полиэлектролиты для конструирования искусственных почв // *Высокомол. соед. Сер. С*. 2021. Т. 63. № 2. С. 245–252.
15. Степанов А.А., Якименко О.С. Ремедиация загрязненных городских почв с применением гуминовых препаратов // *Живые и биокосн. сист.* 2016. № 18. <http://www.jbks.ru/archive/issue-18/article-5>
16. Степанов А.А., Шульга П.С., Госсе Д.Д., Смирнова М.Е. Применение природных гуматов для ремедиации загрязненных городских почв и стимули-

- рования роста растений // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2018. № 2. С. 30–34.
17. Степанов А.А., Салимгареева О.А., Манцевич С.И. “Антистрессовое действие” гуминовых препаратов при возделывании с.-х. культур и городском озеленении // Гуминовые вещества в биосфере. М.: Изд-во МГУ, 2018. С. 134–135.
 18. Трегубова П.Н., Копчик Г.Н., Степанов А.Л., Степанов А.А., Корнеева М.Ю., Куприянова Ю.В. Влияние гуминовых препаратов на свойства деградированных почв техногенных пустошей // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. № 97. С. 129–149.
 19. Pukalchik M., Panova M., Karpukhin M., Yakimenko O., Kydraliev K., Terekhova V. Using humic products as amendments to restore Zn and Pb polluted soil: a case study using rapid screening phytotest endpoint // J. Soil. Sediment. 2018. V. 18. № 3. С. 750–761.
 20. Юдина Н.В., Савельева А.В., Линкевич Е.В. Изменение состава гуминовых кислот при механохимическом воздействии на торф и уголь // Химия тверд. топлива. 2019. № 1. С. 34–40.
 21. Сивакова Л.Г., Лесникова Н.П., Ким Н.М., Ротова Г.М. Физико-химические свойства гуминовых веществ торфа и бурого угля // Химия тверд. топлива. 2011. № 1. С. 3–8.
 22. Якименко О.С., Изосимов А.А. Сравнительная химическая характеристика гуминовых кислот из промышленных гуматов различного генезиса // Тр. V Всерос. конф. “Гуминовые вещества в биосфере”. 2010. С. 474–479.
 23. Yakimenko O., Khundzhua D., Izosimov A., Yuzhakov V., Patsaeva S. Source indicator of commercial humic products: UV-Vis and fluorescence proxies // J. Soil. Sediment. 2018. V. 18. № 4. С. 1279–1291.
 24. Yakimenko O., Izosimov A. Structure and properties of humates from coalified materials, peat and sapropel // Humic substances in ecosystems: Abstracts of the international conference. Slovakia, Soporna, 2009. P. 43–45.
 25. Francioso O., Ciavatta C., Montecchio D., Tugnoli V., Sanchez-Cortes S., Gessa C. Quantitative estimation of peat, brown coal and lignite humic acids using chemical parameters, ^1H -NMR and DTA analyses // Biore-source Technol. 2003. V. 88. № 3. С. 189–195.
 26. Francioso O., Montecchio D., Gioacchini P., Ciavatta C. Thermal analysis (TG–DTA) and isotopic characterization (^{13}C – ^{15}N) of humic acids from different origins // Appl. Geochem. 2005. T. 20. № 3. С. 537–544.
 27. Якименко О.С., Терехова В.А., Пукальчик М.А., Горленко М.В., Попов А.И. Сравнение двух интегральных биотических индексов при оценке эффектов воздействия гуминовых препаратов в модельном эксперименте // Почвоведение. 2019. № 7. С. 781–792.
 28. Якименко О.С., Степанов А.А., Терехова В.А., Попов А.И. Гуминовые продукты из различного органического сырья: состав, свойства и биологическая активность // Гуминовые вещества в биосфере. 2018. С. 137–138.
 29. Muscolo A.A., Sidari M., Cozzolino V., Nuzzo A., Nardi S., Piccolo A. Molecular characteristics of humic substances from different origins and their effects on growth and metabolism of *Pinus laricio* callus // Chem. Biol. Technol. Agricult. 2022. V. 9. № 1. С. 1–18.
 30. Звягинцев Д.Г. (ред.). Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
 31. Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос, 1977. 222 с.

Humic-Based Soil Modifiers from Peat and Coal: Effect on Chemical and Biological Properties of Model Soil Mixtures

A. A. Stepanov^a and O. S. Yakimenko^{a, #}

^a*M.V. Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory 1, bld. 12, Moscow 119992, Russia*

[#]*E-mail: iakim@soil.msu.ru*

The impact of humic-based soil modifiers (HSM) produced from peat and coal (“Torfogel” and “Uglegel” accordingly) on chemical properties, cellulolytic activity and productivity of model soil mixtures (artificial soils) was evaluated in a pot experiment. Soddy-podzolic cultivated soil of the Moscow region was used as a natural reference soil. It is shown that an increase in the proportion of both HSM from 3 to 15% in soil mixtures improved their main agrochemical indicators: content of NPK and humus reached high levels, comparable to and exceeding those for the reference soil. Significant differences occurred starting from 5% of “Uglegel” content in mixtures, and 7% of “Torfogel”. Soil treatment with HSM stimulated the biological activity of soil mixtures, as well as plant growth and development. All the above trends were much more pronounced when treated with “Uglegel” in comparison with “Torfogel”. This fact could be due to organic matter genesis of peat- and coal-originated HSM. The results of the work can be used to create stable and productive artificial soils.

Key words: humic fertilizers, artificial soils, soil chemical properties, humus, productivity, biological activity.