

## CROP PRODUCTION

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.3.23.02>

Stepanov A.A.<sup>1\*</sup>, Yakimenko O.S.<sup>2</sup>, Shulga P.S.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

\* Corresponding author (stepan.1963[at]mail.ru)

Received: 12.06.2022; Accepted: 20.06.2022; Published: 20.07.2022

### THE EFFECTIVENESS OF HUMIC BIOPOLYMERS OUT PEAT AND COAL IN RESTORATION OF SOIL STRUCTURE

Research article

#### Abstract

The effectiveness of natural biopolymers based on humic substances from peat and coal ("Torfogel" and "Uglegel") as soil modifiers (SM) for fertile soil mixtures was evaluated. The effect of increasing doses of SM has been studied (0, 3, 5, 7, 9, 13 and 15% to weight of the initial soil) on the agrophysical properties of soil mixtures and the productivity of wheat plants in a vegetation experiment. It was shown that an increase in the proportion of SM in the composition of soil mixtures naturally improves the structure of soil mixtures in comparison with the initial soil. Both SM dramatically increase the proportion of medium and large soil aggregates, while the proportion of small particles decreases. The most significant changes are observed when the organic matter in soil mixtures reaches a level of 6% or higher. For soil mixtures based on "Torfogel", the optimal composition is the SM content of 13–15%, and the content on the basis of "Uglegel" of 7–13%.

**Keywords:** biopolymers, humic substances, artificial soils, soil structure.

Степанов А.А.<sup>1\*</sup>, Якименко О.С.<sup>2</sup>, Шульга П.С.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (stepan.1963[at]mail.ru)

Получена: 12.06.2022; Доработана: 20.06.2022; Опубликовано: 20.07.2022

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ГУМИНОВЫХ БИОПОЛИМЕРОВ ИЗ ТОРФА И УГЛЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Научная статья

#### Аннотация

Проведена оценка эффективности действия природных биополимеров на основе гуминовых веществ из торфа и угля («Торфогель» и «Углегель») в качестве почвенных модификаторов (ГМ) для создания плодородных почвосмесей. Изучено влияние возрастающих доз ГМ (0, 3, 5, 7, 9, 13 и 15% к массе исходного грунта) на агрофизические свойства почвосмесей и продуктивность растений пшеницы в условиях вегетационного эксперимента. Показано, что увеличение доли ГМ в составе почвосмесей закономерно улучшает структурное состояние почвосмесей по сравнению с исходным грунтом. Оба ГМ резко увеличивают долю средних и крупных агрегатов почвы, тогда как доля мелких частиц уменьшается. Наиболее существенные изменения наблюдаются при достижении содержания органического вещества в почвосмесях уровня 6 % и выше. Для почвосмесей на основе «Торфогеля» оптимальным составом является содержание ГМ 13–15%, а на основе «Углегеля» 7–13%.

**Ключевые слова:** биополимеры, гуминовые вещества, искусственные почвы, агрегатный состав почвы.

#### 1. 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 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], [13]. В связи с этим сегодня 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. д.

Эффективность таких инновационных продуктов на основе биополимеров различна. Показано их положительное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур [1], [9], [14], в качестве почвенных структурообразователей [3], [5], [12], [16] и агентов для ремедиации загрязненных почв [7], [8], [11], [15]. Тем не менее, закономерности влияния почво-модификаторов на основе ГВ в зависимости как от их природы и особенностей рецептуры, так и от свойств почв, пока не установлены. Понимание механизмов взаимодействия почв и почво-подобных 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 почво-смесей на основе геологических пород, строительных грунтов, что является актуальной фундаментально-научной и прикладной задачей. Необходимо учитывать генезис почв и грунтов, минеральный и химический состав, гранулометрический состав, пластичность, физическое состояние (плотность и консистенцию) и другие особенности.

Целью данного исследования является оценка перспектив применения природных биополимеров на основе гуминовых веществ из торфа и угля в качестве почвенных модификаторов для создания плодородных почвосмесей.

## 2. Объекты и методы 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 (ОВ): 55 и 80% для «Торфогеля» и «Углегеля» соответственно. В свою очередь, органическое вещество препаратов представлено комплексом гуминовых веществ с преобладанием гуминовых кислот в препарате из угля (95% от ОВ) и сбалансированным сочетанием гуминовых кислот и фульвокислот в препарате из торфа (39% ГК и 20% ФК). Содержание ОВ определяли методом бихроматного окисления по Тюрину; содержание ГК и ФК – в 0,1н NaOH-вытяжке по Тюрину [6].

Почвосмеси готовили путем смешивания в определенных пропорциях неструктурированного и малоплодородного среднесуглинистого грунта (элювиальный горизонт дерново-подзолистого почвенного горизонта, 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 минут при 600 об/минуту. 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 ( $V = 0,6$  л) помещали дренаж (3 см песка). Сосуды наполняли почвосмесями и проводили посев семян озимой пшеницы *Triticum aestivum* (сорт «Юка»). В качестве контроля использовали исходный грунт без внесения ГМ. 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 месяц проводили укос биомассы и отбирали пробы почв для проведения агрофизических анализов.

Влияние ГМ на агрегатный состав почвосмесей определяли методами сухого и мокрого просеивания по Саввинову [2]. По результатам сухого просеивания рассчитывали коэффициент структурности  $K_{стр}$  как отношение количества агрегатов от 0,25 до 5 мм к суммарному содержанию агрегатов размером менее 0,25 мм и более 5 мм. За меру водоустойчивости почвосмеси принимали суммарную долю фракций размером 0,25–5 мм, полученную при мокром просеивании [10].

## 3. Результаты и обсуждения

ГМ оказывают существенное воздействие на структурное состояние почвосмесей. Исходный грунт представляет собой бесструктурный суглинок с преобладанием агрегатов размером 1–3 мм (Табл.1 и рис.1А). При модификации грунта с использованием возрастающих доз «Торфогеля» наблюдается возрастание доли агрономически ценных агрегатов (3–5 и 3–1мм) за счет снижения доли мелкой (1–0,25 мм) и пылевой (<0,25 мм) фракций (Табл.1). При этом наиболее высокие дозы (13 и 15%) приводят к формированию крупных агрегатов размером более 5мм в количестве 16–29%. Результаты мокрого просеивания показали, что начиная с дозы 7% уменьшается и доля частиц размером <0,25 мм, что свидетельствует о повышении водоустойчивости агрегатов в составе почвосмесей под воздействием «Торфогеля».



A



B

Рис. 1 – Исходный грунт, используемый для создания почвосмесей (A) и различные варианты почвосмесей (B)

Таблица 1 – Агрегатный состав почвосмесей при внесении «Торфогеля» в вегетационном опыте

Содержание модификатора, %	Размер агрегата, мм				
	>5	5-3	3-1	1-0,25	<0,25
0 (Контроль)	<u>5,7</u> 3,9	<u>10,1</u> 6,3	<u>61,0</u> 39,3	<u>15,5</u> 19,9	<u>7,8</u> 30,6
3	<u>3,7</u> 0,1	<u>10,1</u> 0,2	<u>68,5</u> 26,8	<u>11,4</u> 32,2	<u>6,4</u> 40,7
5	<u>5,1</u> 1,1	<u>11,3</u> 3,8	<u>70,3</u> 40,5	<u>7,6</u> 22,5	<u>5,7</u> 32,0
7	<u>5,3</u> 1,7	<u>11,7</u> 5,4	<u>72,2</u> 46,2	<u>7,6</u> 18,8	<u>3,1</u> 27,8
9	<u>5,6</u> 2,9	<u>12,1</u> 9,5	<u>71,9</u> 47,8	<u>7,6</u> 18,1	<u>2,8</u> 21,7
13	<u>16,1</u> 3,8	<u>21,8</u> 13,6	<u>56,2</u> 49,5	<u>4,5</u> 17,9	<u>1,5</u> 15,2
15	<u>29,0</u> 19,9	<u>52,0</u> 36,0	<u>16,9</u> 22,5	<u>1,3</u> 15,3	<u>0,8</u> 6,4

Примечание: над чертой – данные сухого просеивания, под чертой – данные мокрого просеивания

Таблица 2 – Агрегатный состав почвосмесей при внесении «Углегеля» в вегетационном опыте

Содержание модификатора, %	Размер агрегата, мм				
	>5	5-3	3-1	1-0,25	<0,25
0 (Контроль)	<u>5,7</u> 3,9	<u>10,1</u> 6,3	<u>61,0</u> 39,3	<u>15,5</u> 19,9	<u>7,8</u> 30,6
3	<u>4,2</u> 1,0	<u>10,3</u> 3,9	<u>67,4</u> 40,4	<u>10,1</u> 22,5	<u>7,9</u> 32,1
5	<u>12,9</u> 1,7	<u>14,2</u> 4,4	<u>62,2</u> 47,2	<u>7,8</u> 18,8	<u>2,8</u> 27,9
7	<u>19,6</u> 3,7	<u>21,7</u> 13,7	<u>50,4</u> 49,4	<u>5,6</u> 17,9	<u>2,7</u> 15,3
9	<u>29,0</u> 19,7	<u>52,4</u> 35,9	<u>17,0</u> 22,6	<u>1,1</u> 15,3	<u>0,4</u> 6,5
13	<u>57,9</u> 27,3	<u>24,9</u> 23,7	<u>15,5</u> 24,4	<u>1,3</u> 15,9	<u>0,4</u> 8,7
15	<u>75,6</u> 33,5	<u>15,9</u> 11,8	<u>7,8</u> 25,1	<u>0,4</u> 16,0	<u>0,2</u> 13,5

Примечание: над чертой – данные сухого просеивания, под чертой – данные мокрого просеивания

В итоге под воздействием возрастающих доз обоих ГМ коэффициент структурности почвосмесей сначала увеличивается, а затем снижется за счет формирования слишком крупных агрегатов (рис. 2А). При обработке «Углегелем» этот эффект выражен более отчетливо (снижение К стр наблюдается уже с дозы 5%), тогда как «Торфогель» оказывает более мягкое воздействие и Кстр достигает максимума при 7–9% ГМ в составе почвосмеси.

Возрастающие дозы обоих ГМ увеличивают водоустойчивость агрегатов, сильнее выраженную при обработке «Углегелем» (рис.2Б).

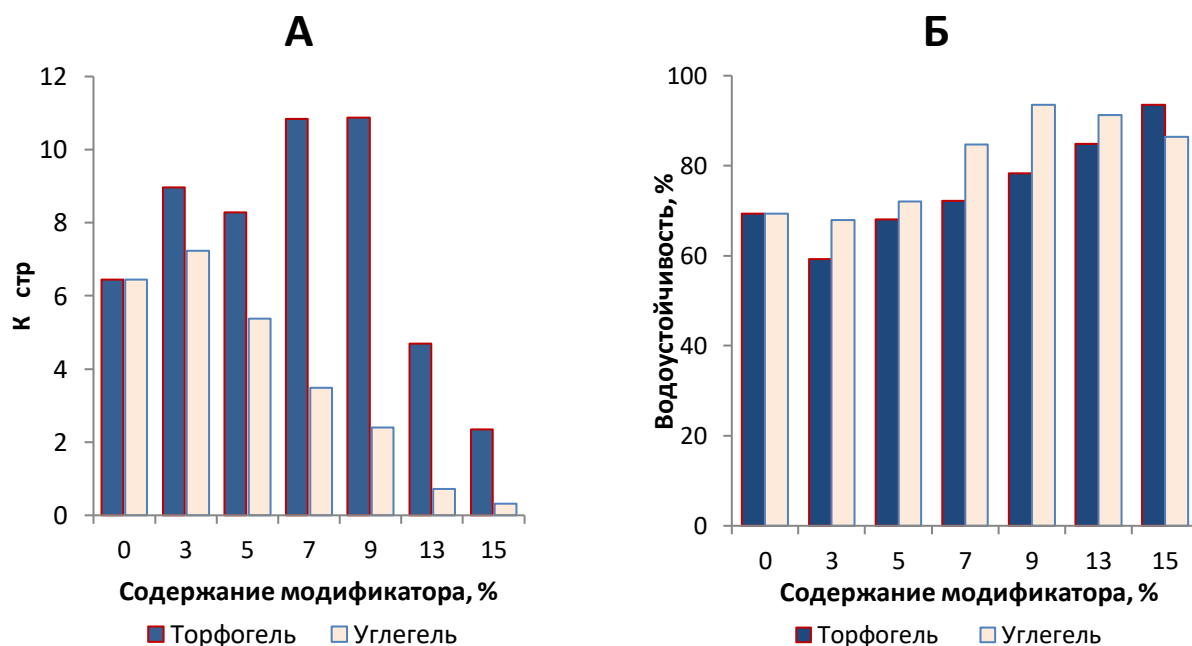


Рис. 2 – Влияние модификаторов «Торфогель» и «Углегель» на коэффициент структурности (А) и водоустойчивость почвосмесей (Б)

Биологическая продуктивность исследуемых почвосмесей повышается с увеличением доли обоих препаратов в их составе. Низкая доза ГМ (3%) не оказывала положительного влияния на продуктивность тест-культуры, но начиная с 5%-го содержания модификаторов в почвосмеси прибавка биомассы линейно возрастала от 6 до 48% к контролю при внесении «Торфогеля» (рис.3). Обработка «Углегелем» обеспечивала максимальную прибавку в 34% к контролю при содержании модификатора 9%, но более высокие дозы не приводили к дальнейшему увеличению продуктивности тест-культуры.

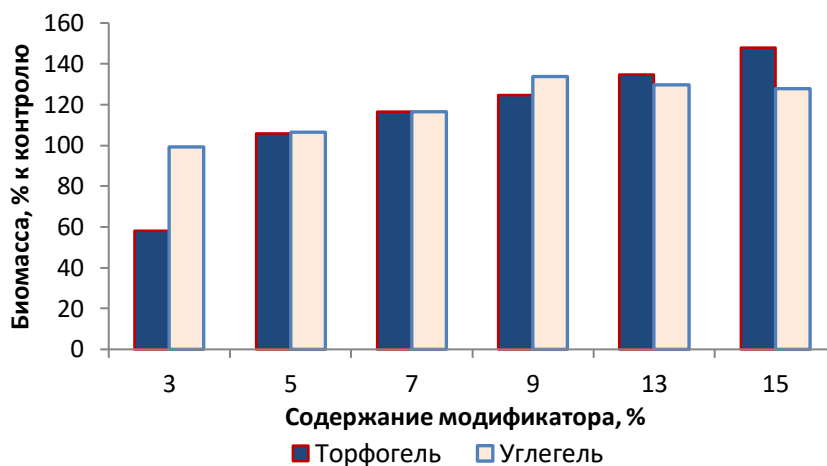


Рис. 3 – Влияние гуминовых модификаторов «Торфогель» и «Углегель» на биомассу озимой пшеницы в вегетационном эксперименте

#### 4. Выводы

Изученные почвомодификаторы на основе природных биополимеров – гуминовых веществ - «Торфогель» и «Углегель» оказывают существенное положительное влияние на агрофизические свойства искусственных почв (почвосмесей). Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение этих препаратов для оптимизации свойств малоплодородного бесструктурного грунта позволяет получить хорошо оструктуренные искусственные почвы, которые могут быть использованы в городском озеленении, тепличном хозяйстве и др. Для почвосмесей на основе «Торфогеля» оптимальным составом является содержание ГМ 13–15%, а на основе «Углегеля» - 7–13%.

#### Funding

The work was done under the state task 121040800154-8.

#### Финансирование

Работа выполнена по госзаданию 121040800154-8.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### References

1. Безуглова О.С. Применение гуминовых препаратов под картофель и озимую пшеницу / О.С. Безуглова, Е.А. Полиенко // Проблемы агрохимии и экологии – 2011 – № 4 – С. 29–32.
2. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
3. Демидов В.В. Противозероизонные свойства чернозема, обработанного полиэлектролитными комплексами на основе гуматов калия / В.В. Демидов, И.Г. Панова, П.С. Шульга и др. // В сборнике: Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – М.: МГУ – 2019. – С. 503–507.
4. Лыхман В.А. Эффективность гуминового препарата как структурообразователя при выращивании озимой пшеницы в Ростовской области / В.А. Лыхман // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – №. 4 (78). – С. 54–58.
5. Панова И.Г. Полиэлектролитные комплексы гуматов калия и поли(диаллилдиметиламмоний хлорида) для закрепления песчаного грунта / И.Г. Панова, Д.Д. Хайдапова, Л.О. Ильясов и др. // Высокомолекулярные соединения. – Сер. Б. – 2019. – Т. 61. – №6. – С. 1–6.
6. Практикум по агрохимии / под ред. Минеева В.Г. и др. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.
7. Соколова Д.А. «Экстра-growth» – гуминовый препарат нового поколения для ремедиации загрязненных почв и стимулирования роста растений / Д.А. Соколова, С.Я. Трофимов, А.А. Степанов // Сборник трудов VI Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития» – Москва, 2011 – С.344.
8. Степанов, А.А. Применение природных гуматов для ремедиации загрязненных городских почв и стимулирования роста растений / А.А. Степанов, П.С. Шульга, Д.Д. Госс и др. // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение – 2018 – 2 – С. 30–34.
9. Степанов, А.А. Изучение эффективности гуминового удобрения ЭДАГУМ® СМ как стимулятора роста и мелиоранта в вегетационном и мелкоделяночном опытах с пшеницей / А.А. Степанов, О.С. Якименко, Д.Д. Госс и др. // Агрохимия – 2018 – 6 – С. 36–43.
10. Теории и методы физики почв / Под ред. Шеина Е.В., Карпачевского Л.О. – М.: «Гриф и К», 2007 – 616 с.
11. Трегубова, П.Н. Влияние гуминовых препаратов на свойства деградированных почв техногенных пустошей / П.Н. Трегубова, Г.Н. Копчик, А.Л. Степанов и др. // Бюллетень Почвенного института им. ВВ Докучаева – 2019 – 97 – С. 129–149.

12. Якименко, О.С. Полиэлектролиты для конструирования искусственных почв / О.С. Якименко, Д.А. Грузденко, А.А. Степанов и др. // Высокомолекулярные соединения. Серия С – 2021 – 63(2) – С. 245–252.
13. Curcio M. Polymer in agriculture: a review / M. Curcio, N. Picci // Am J Agric Biol Sci. – 2008 – V.3. – № 1 – pp. 299–314.
14. Turgay O.C. Effects of coal-derived humic substance on some soil properties and bread wheat yield / O.C. Turgay, A. Karaca, S. Unver et al. // Comm. Soil Sci. Plant Analysis. – 2011 – V.42. – pp.1050–1070.
15. Stepanov, A.A. Application of Natural Humates for Remediating Contaminated Urban Soils and Stimulating Plant Growth / A.A. Stepanov, P.S. Shulga, D.D. Gosse et al. // Moscow University Soil Science Bulletin – 2018 – 73(2) – pp. 71–75.
16. Piccolo A. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability / A. Piccolo, G. Pietramellara, J.S.C. Mbagwu // Geoderma – 1997 – V.75. – pp. 267–277.

#### References in English

1. Bezuglova O.S. Primenenie guminovykh preparatov pod kartofel' i ozimuyu pshenicu [Application of humic drugs for potatoes and winter wheat] / O.S. Bezuglova, E.A. Polienko // Problemy agrokhimii i ekologii [Problems of agrochemistry and ecology]. – 2011. – № 4. – pp. 29–32. [in Russian]
2. Vadyunina A.F. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv [Methods of research of physical properties of soils]. / A.F. Vadyunina, Z.A. Korchagina // Moscow: Agropromizdat, 1986. – 416 p. [in Russian]
3. Demidov V.V. Protivoerozionnyye svoystva chernozema, obrabotannogo polielektrolitnymi kompleksami na osnove gumatov kaliya [Anti-erosion properties of black earth treated with polyelectrolyte complexes based on potassium humates] / V.V. Demidov, I.G. Panova, P.S. Shulga et al. // V sbornike: Problemy i perspektivy nauchno-innovatsionnogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa regionov Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [In the collection: Problems and prospects of scientific and innovative support of the agro-industrial complex of the regions. Collection of reports of the International scientific and practical conference]. – Moscow: MSU. – 2019. – pp. 503–507. [in Russian]
4. Lykhman V.V. Effektivnost' guminovogo preparata kak strukturoobrazovatelya pri vyrashchivani ozimoy pshenicy v Rostovskoy oblasti [The effectiveness of the humic preparation as a structure-forming agent in the cultivation of winter wheat in the Rostov region] / V.V. Lykhman // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. – 2019. – №. 4 (78). – pp. 54–58. [in Russian]
5. Panova I.G. Polielektrolitnye komplekсы gumatov kaliya i poli(dialildimetilammonij hlorigida) dlya zakrepleniya peschanogo grunta [Polyelectrolyte complexes of potassium humates and poly(diallyldimethylammonium chloride) for fixing sandy soil] / I.G. Panova, D.D. Haidapova, L.O. Ilyasov // Vysokomolekulyarnye soedineniya [High-molecular compounds]. Ser. B. – 2019 – Vol. 61. – No. 6. – pp. 1–6. [in Russian]
6. Praktikum po agrokhimii [Workshop on agrochemistry] / edited by Mineeva V.G. et al. – M.: MSU, 2001. – 689 p. [in Russian]
7. Sokolova D.A. «Ekstra-growth» – guminovyy preparat novogo pokoleniya dlya remediacii zagryaznennykh pochv i stimulirovaniya rosta rastenij [Extra-growth is a new generation humic drug for remediation of polluted soils and stimulation of plant growth] / D.A. Sokolova, S.Ya. Trofimov, A.A. Stepanov // Sbornik trudov VI Moskovskogo mezhdunarodnogo kongressa «Biotehnologiya: sostoyaniye i perspektivy razvitiya» [Collection of works of the VI Moscow International Congress "Biotechnology: state and prospects of development"] – Moscow, 2011 – P. 344. [in Russian]
8. Stepanov A.A. Primenenie prirodnykh gumatov dlya remediacii zagryaznennykh gorodskikh pochv i stimulirovaniya rosta rastenij [Application of natural humates for remediation of polluted urban soils and stimulation of plant growth] / A.A. Stepanov, P.S. Shulga, D.D. Gosse et al. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedeniye, [Bulletin of Moscow University. Series 17. Soil Studies] – 2018 – 2 – pp. 30–34. [in Russian]
9. Stepanov A.A. Izuchenie effektivnosti guminovogo udobreniya EDAGUM® SM kak stimulyatora rosta i melioranta v vegetatsionnom i melkodelyanochnom opytah s pshenicej [The effectiveness of EDAGUM® CM humic fertilizer as a growth stimulator and meliorant in vegetative and small-scale experiments with wheat] / A.A. Stepanov, O.S. Yakimenko, D.D. Gosse et al. // Agrokhiimiya [Agrochemistry] – 2018 – 6 – pp. 36–43. [in Russian]
10. Teorii i metody fiziki pochv [Theories and methods of soil physics] / Edited by E.V. Shein, L.O. Karpachevsky. – M.: «Grif i K», 2007. – 616 p. [in Russian]
11. Tregubova P.N. Vliyaniye guminovykh preparatov na svoystva degradirovannykh pochv tekhnogennykh pustoshey [The effect of humic drugs on the properties of degraded soils of man-made wastelands]. / P.N. Tregubova, G.N. Koptsik, A.L. Stepanov et al. // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva [Bulletin of Dokuchaev Soil Science Institute] – 97 – pp. 129–149. [in Russian]
12. Yakimenko O.S. Polielektrolity dlya konstruirovaniya iskusstvennykh pochv [Polyelectrolytes for the construction of artificial soils] / O.S. Yakimenko, D.A. Gruzdenko, A.A. Stepanov et al. // Vysokomolekulyarnye soedineniya [High-molecular compounds]. Series C – 63(2) – pp. 245–252. [in Russian]
13. Curcio M. Polymer in agriculture: a review / M. Curcio, N. Picci // Am J Agric Biol Sci. – 2008 – V.3. – № 1 – pp. 299–314.
14. Turgay O.C. Effects of coal-derived humic substance on some soil properties and bread wheat yield / O.C. Turgay, A. Karaca, S. Unver et al. // Comm. Soil Sci. Plant Analysis. – 2011 – V.42. – pp.1050–1070.
15. Stepanov, A.A. Application of Natural Humates for Remediating Contaminated Urban Soils and Stimulating Plant Growth / A.A. Stepanov, P.S. Shulga, D.D. Gosse et al. // Moscow University Soil Science Bulletin – 2018 – 73(2) – pp. 71–75.
16. Piccolo A. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability / A. Piccolo, G. Pietramellara, J.S.C. Mbagwu // Geoderma – 1997 – V.75. – pp. 267–277.