

УДК 631.411.6

Ремедиация загрязненных городских почв с применением гуминовых препаратов

Степанов Андрей Анатольевич, Якименко Ольга Сергеевна

Аннотация:

В серии экспериментов дана оценка ремедиационной способности промышленных гуминовых препаратов в отношении городских почв, испытывающих многокомпонентное загрязнение. Приведены результаты апробации четырех марок гуматов: два препарата на основе угля, и два – на основе торфа. Гуматы апробированы в условиях натурального эксперимента на газонах вдоль автотрасс г.Москвы и в микрополевом опыте. Показано, что гуминовые препараты в значительной степени снимают токсическое воздействие загрязняющих веществ и увеличивают стрессоустойчивость растений. По результатам многолетних лабораторных и микрополевых опытов установлены эффективные дозы гуматов для применения в качестве детоксикантов городских почв.

Ключевые слова: гуматы, ремедиация, городские почвы, антигололедные реагенты, нефтепродукты, тяжелые металлы, стимулирование роста растений

Remediation of urban soils using humic products

Stepanov Andrey Anatolievich, Yakimenko Olga Sergeevna

Abstract:

A potential to remediate polluted urban soil was evaluated for commercial humic products in two sets of experiments. Four brands of humic products – two from peat and two from coal – have been tested in a field experiment on lawns along the highways of Moscow and in plot trials. It is shown that humic products are capable to mitigate the toxic effects of pollutants and maintain plant resistance to stress. Basing on results of research the effective rates of humic products application for remediation of polluted urban soils are suggested.

Key words: humic products, remediation, urban soils, anti-icing agents, oil products, heavy metals, plant growth stimulation

Детоксикация и рекультивация загрязненных почв с применением гуминовых препаратов является в настоящее время весьма актуальным и перспективным направлением развития экологических технологий. Гуминовые кислоты и их соли (гуматы), будучи естественным продуктом круговорота веществ в окружающей среде, обладают способностью не только активировать рост и развитие живых организмов (в первую очередь растений и почвенных микроорганизмов), но и эффективно связывать и трансформировать токсичные соединения, поступающие в почву в результате хозяйственной деятельности человека.

Факт положительного влияния гуматов на рост и развитие растений был впервые обнаружен в конце XIX века и позже подтвержден в классических работах Л.А. Христовой, М.М. Кононовой, И.В. Тюрина и С. Ваксмана и др.

Степанов А. А., Якименко О. С., Ремедиация загрязненных городских почв с применением гуминовых препаратов // «Живые и биокосные системы». – 2016. – № 18; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-18/article-5>

Такие исследования особенно активизировались в 1960-х годах прошлого века, и с того времени по этому вопросу уже накоплен большой массив данных, в том числе установлена способность гуматов инактивировать воздействия тяжелых металлов и органических поллютантов в почвах [6, 7, 17—21].

Промышленные гуматы по данным многих исследований могут действовать как эффективные почвенные мелиоранты для рекультивации деградированных и загрязненных почв [1—5, 9—11, 14, 15]. Высокая положительная отзывчивость почв и растений на применение гуматов в полевых и лабораторных экспериментах обусловила большой интерес к производству коммерческих гуматов во всем мире. Положительный опыт применения гуматов в сельском хозяйстве, садоводстве и ремедиационных технологиях привел к тому, что многие промышленные компании стали производить разнообразные гуматы из органического сырья – главным образом из торфа и бурого угля, а также из органических отходов, вермикомпостов и сапропеля.

Способность гуминовых веществ (ГВ) взаимодействовать с токсикантами, реализуя свою протекторную функцию в почве и в экосистеме в целом, показана в ряде исследований [8, 19, 20]). За счет полифункциональности своего строения ГВ могут вступать в различные типы химических взаимодействий, как с органическими, так и неорганическими поллютантами, и такой широкий ремедиационный потенциал может быть особенно перспективен для рекультивации городских почв, испытывающих многокомпонентное загрязнение. Для почв г.Москвы приоритетными экотоксикантами являются нефтепродукты, тяжелые металлы и минеральные соли, используемые в качестве анти-гололедных реагентов. Сегодня предлагается большое количество гуматов, сходных по ряду свойств с почвенными ГВ, но различных по своей биологической активности и ремедиационной способности [12, 13, 16].

На кафедре химии почв факультета почвоведения Московского университета с 2008 г. ведутся исследования гуминовых препаратов с целью оценки возможности их применения для детоксикации и ремедиации загрязненных городских почв. Целью настоящей работы является 1) оценка возможности применения ряда гуматов, полученных из различного органического сырья, для ремедиации натуральных почв на участках примагистрального озеленения г. Москвы; и 2) оценка детоксикационной способности этих гуматов в мелкоделяночном эксперименте с искусственно созданным загрязнением почвы высокими дозами 3 типов экотоксикантов: нефтепродуктами (на примере дизельного топлива), тяжелыми металлами (на примере ионов меди) и «антигололедными реагентами» (на примере хлорида натрия).

Материалы и методы

Работы проводили в рамках выполнения программы научных работ по Государственному контракту Департамента науки и промышленной

политики города Москвы «Технологии применения природных гуматов для ремедиации загрязненных городских почв и в целях стимулирования роста растений». В экспериментах использовали 4 вида промышленных препаратов гуматов: на основе бурого угля («БашИнком» и «Экстра») и на основе торфа («Флексом» и «Экоорганика»). В первом эксперименте были выбраны опытные площадки, расположенные на газонах вдоль загруженных автотрасс г. Москвы: Ломоносовского, Нахимовского проспектов и Каширского шоссе. На каждой точке закладывалось по шесть делянок, участки обрабатывали гуматами согласно рекомендациям производителей, включая предпосевную обработку семян и почвы, а также обработку растений по вегетации. Через месяц после посева определяли биомассу растений на опытных участках газонов.

Учитывая, что уровень загрязнения на участках примагистрального озеленения в целом был незначительным, дополнительно были проведены мелкоделяночные полевые опыты с искусственно созданным загрязнением почвы высокими дозами нефтепродуктов, тяжелых металлов и «антигололедных реагентов». Для этой серии опытов был создан экспериментальный полигон, имитирующий территории озеленения города Москвы. Опытный участок состоял из 83 делянок площадью 0,25 м² (0,5×0,5м), огороженных деревянными планками и имитирующими строение конструкторземов города. В почвы делянок по отдельности вносили NaCl (1% и 3%), дизельное топливо (1% и 5%) или сульфат меди (1000 мг/кг Cu), обрабатывали растворами гуматов (0,5 и 1,0 г/л) и высевали райграс пастбищный (*Lolium perenne*). После вегетации делали укосы с делянок и определяли биомассу трав.

Результаты и обсуждение

Биомасса растений опытных участков газонов вдоль автотрасс при обработке гуматами во всех случаях превышала биомассу на контрольных участках (рис.1). В большинстве случаев наблюдали увеличение биомассы не менее чем в 1,5—2 раза, а на отдельных делянках, обработанных гуматами из торфа – в 4—8 раз.

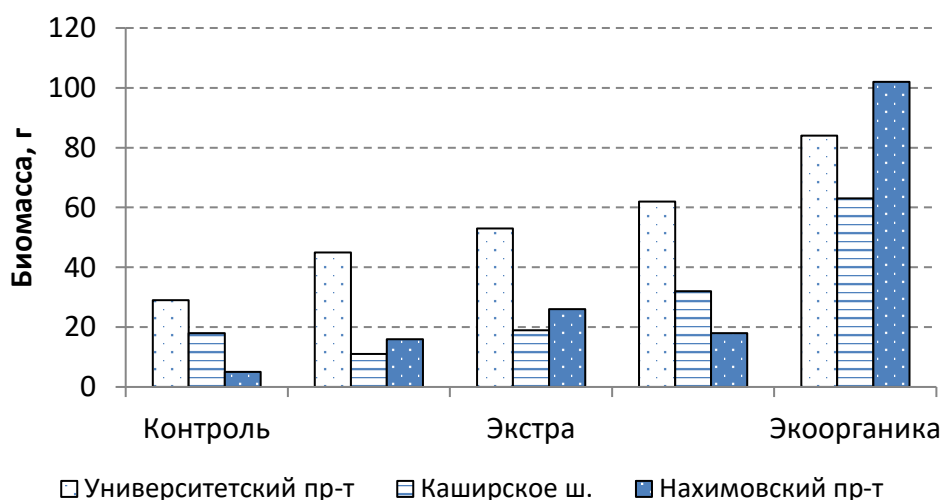


Рис.1 – Биомасса трав на опытных участках газонов вдоль автотрасс при обработке гуматами

В мелкоделяночном опыте выявлено, что внесенные поллютанты обладают неодинаковой токсичностью для растений райграса. При загрязнении хлоридом натрия биомасса трав снижалась на 60%, и на этом фоне внесение гуматов из торфа полностью снимало токсичность NaCl и биомасса достигала, или даже превышала, уровень незагрязненного контроля (рис.2). В то же время гуматы на основе бурого угля не показали положительного эффекта.

Внесение дизельного топлива в дозе 1% к массе субстрата приводило к значительному угнетению растений, биомасса составляла около 30% к незагрязненному контролю, а в дозе 5% – практически к их полной гибели (10% к контролю). Обработка гуматами на фоне более низкой загрязненности нефтепродуктами в отдельных случаях способствовала некоторой детоксикации почв (рис.3). При высокой степени загрязнения нефтепродуктами наблюдалась 90-процентная гибель растительности и обработка гуминовыми препаратами в дозах 0,5 и 1 г/л не снижала токсичность субстратов. Растительность на делянках, обработанных гуматами, представлена отдельными угнетенными экземплярами, биомасса не достигала уровня загрязненного контроля, составляя от него 16-65%. Вероятно, при высоком уровне нефтезагрязнения углеводороды нефти инкорпорируются в состав гуминовых веществ в результате сорбционных или межмолекулярных взаимодействий и таким образом закрепляются в субстрате. За счет этого естественному улетучиванию легких фракций и вымыванию подвергается меньшее количество углеводородов по сравнению с загрязненными делянками без внесения гуматов.

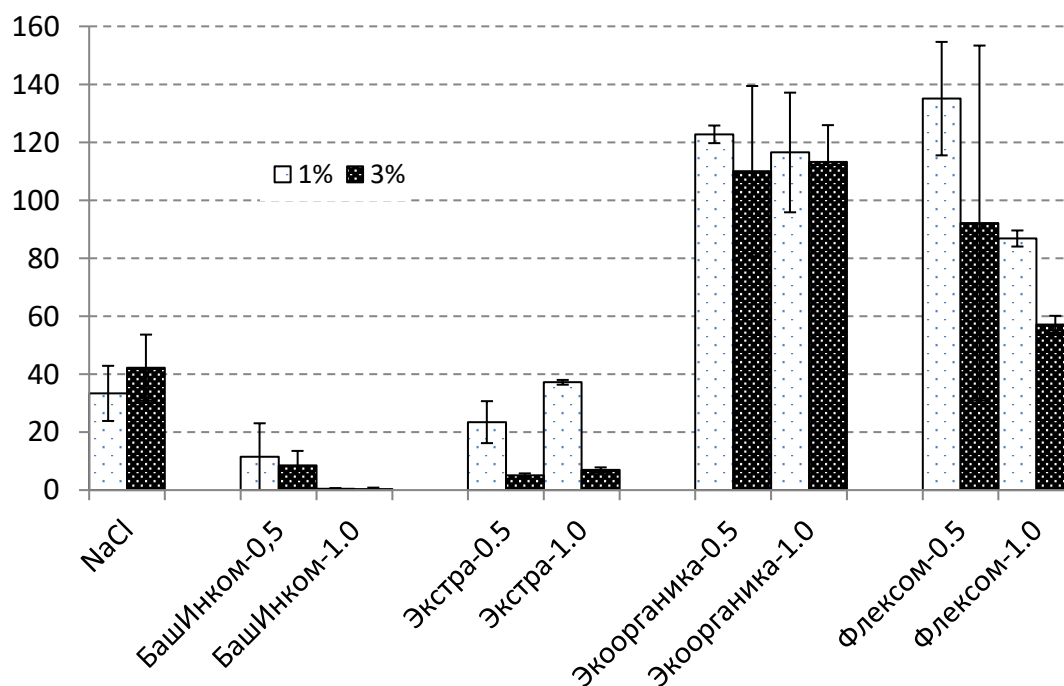


Рис. 2 – Биомасса трав при внесении NaCl и гуматов, % к контролю

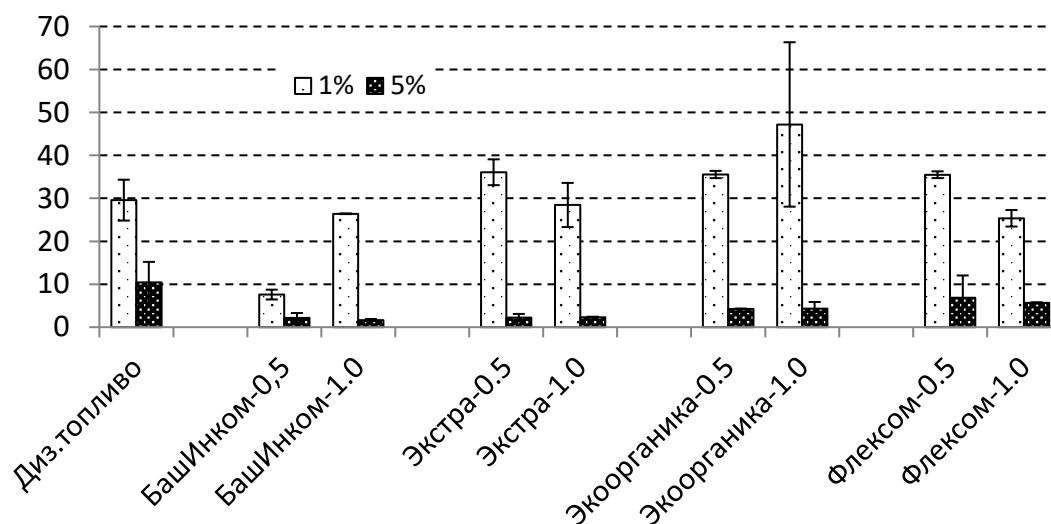


Рис. 3 – Биомасса трав при внесении дизельного топлива и гуматов, % к контролю

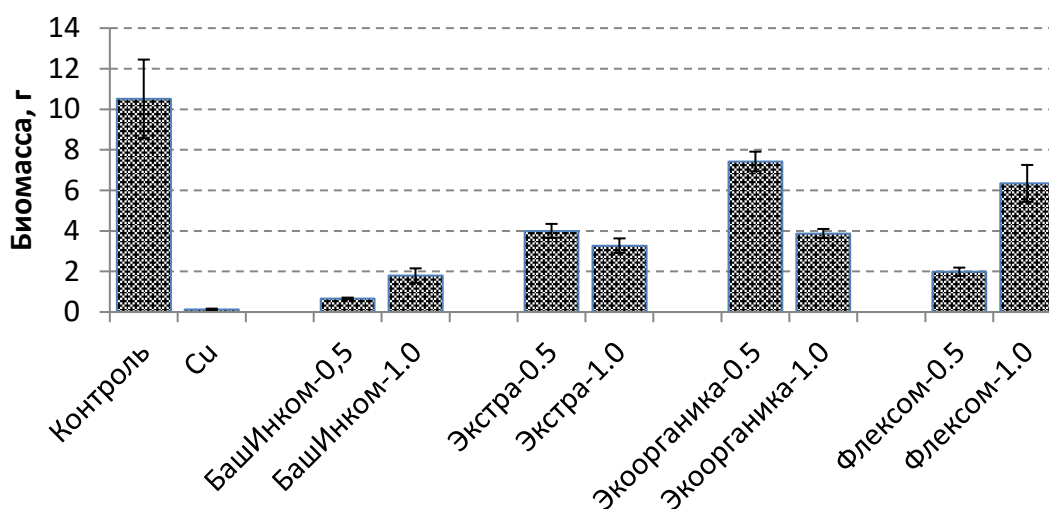


Рис. 4 – Биомасса трав при внесении соли меди и гуматов, % к контролю

Загрязнение почв высокими дозами меди (1000 мг/кг) также приводило к практически полной гибели растений (рис.4). Обработка гуматами позволяла почти полностью преодолеть токсичное действие ионов меди на посевы: биомасса в 5—50 раз превосходила контроль. Препараты из торфа были более эффективны, однако, в отличие от солевого и нефтяного загрязнения, препараты из угля также обнаружили определенный ремедиационный эффект.

Проведенные лабораторные и микрополевые опыты позволили выявить эффективные дозы гуматов для применения в качестве детоксикантов городских почв (Табл. 1). Установлено, что двукратная обработка вегетирующих растений (первая – через неделю после появления всходов, вторая – через две недели после первой обработки) опрыскиванием из расчета 10 л/м² 0,02% раствором для гуматов из торфа или 0,01% раствором для гуматов из бурого угля снимает токсическое воздействие хлорида натрия и дизельного топлива в исходных концентрациях до 10 000 мг/кг [13]. Полученные результаты легли в основу технологического регламента по применению гуматов при проведении ремедиационных мероприятий на загрязненных городских почвах.

Таблица 1. Эффективные дозы обработки гуматами для ремедиации почв урбанизированных территорий

Препарат	Доза при обработке по вегетации и предпосевной обработке почвы, кол-во препарата/объем воды/площадь поверхности	Доза при обработке семян, кол-во препарата/объем воды/масса семян
«БашИнком»	2,3мл/1л/1м.кв.	24мкл/200мкл/20г
«Флексом»	0,5мл/1л/1м.кв.	5,7мл/14,3мл/20г

«Экстра»	3мг/1л/1м.кв.	6мг/20мл/20г
«Экоорганика»	0,5мл/1л/1м.кв.	5,7мл/14,3мл/20г

Заключение

Таким образом, проведенные натурные эксперименты на участках городского озеленения г.Москвы продемонстрировали, что гуматы обладают определенным ремедиационным потенциалом для почв, испытывающих мультикомпонентное загрязнение и могут использоваться в комплексе мероприятий по озеленению города .

Микрополевые опыты показали, что при низком уровне загрязнения почв хлоридом натрия, дизельным топливом и солью меди гуматы позволяют снижать их токсичность для растений. Величина детоксицирующего эффекта главным образом определяется природой экотоксиканта, он наиболее выражен при загрязнении NaCl, и наименее – нефтепродуктами. Индивидуальные свойства гуминового препарата и источник органического сырья для его получения также играют существенную роль, тогда как более высокие дозы внесения гуматов не всегда оказываются более эффективными.

Список литературы

1. Артюхов Д.Б. Влияние гуматов и стимуляторов роста на развитие растений//Российская аграрная газета, 2012 (1—28 февраля), N 3(9). – С.8
2. Бутюгин А.В., Зубкова Ю.Н. Новые гуминовые препараты: свойства и применение //Труды IV Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». М. 19—21 декабря 2007 г., Санкт-Петербург, 2007. с.440—447
3. Гороя А.И., Скворцова Т.В., Павличенко А.В. Антимутагенные эффекты физиологически активных веществ на почвах трансформированных горной промышленностью. //Труды IV Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». М. 19—21 декабря 2007 г. Санкт-Петербург, 2007. – С.412—419
4. Каниськин М.А., Изосимов А.А., Терехова В.А., Якименко О.С., Пукальчик М.А. Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом // Теоретическая и прикладная экология. 2011. №1. – С.86-93
5. Колчанова К.А., Степанов А.А., Барсова Н.Ю., Карпухин М.М., Киселева В.А., Мотузова Г.В. Влияние гуминового препарата «Экстра» на состояние меди в искусственном органоминеральном субстрате // Тр. V Всероссийской конф. «Гуминовые вещества в биосфере». 2014. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН. – С. 132—135
6. Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водной и почвенной средах в условиях абиотических стрессов. Автореф. докт. дисс. М., МГУ, 2008. – 48 с.

7. Нугуманов А.Х., Гилязетдинов Ш.Я., Пусенкова Л.И. и др. Сопряженность действия гуминовых кислот и эндофитных бактерий в формировании продуктивности и устойчивости к болезням яровой пшеницы. //Труды IV Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». М. 19-21 декабря 2007 г. Санкт-Петербург, 2007. – С.502
8. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
9. Парфенова Л.Н. Опыт применения гуминовых препаратов в условиях озеленения селитебных территорий Санкт-Петербурга // Тез. докл. III Всероссийской. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». Санкт-Петербург. 2005. – С.112—113.
10. Пукальчик М. А., Терехова В. А., Якименко О. С., Кыдралиева К. А., Акулова М. И.. Метод TRIAD в оценке ремедиационного действия гуминовых препаратов на урбаноземы // Почвоведение. 2015. № 6. – С. 1–10
11. Пукальчик М.А., Терехова В.А., Якименко О.С., Акулова М.И. Сравнение ремедиационных эффектов биочара и лигногумата на почвы при полиметаллическом загрязнении // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 2. – С.79—85
12. Соколова Д.А., Трофимов С.Я., Степанов А.А. «Экстра-growth» - гуминовый препарат нового поколения для ремедиации загрязненных почв и стимулирования роста растений// Сб. трудов VI Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития», Москва, 2011. – С.344.
13. Степанов А.А. Амфифильные фракции гуминовых веществ из препарата «Флексом» как стимуляторы роста растений// Сборник трудов V Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере», Санкт-Петербург, 2010. – С.451—454.
14. Степанов А.А., Косьяненко Г.Н. Применение природных гуматов для ремедиации загрязненных городских почв в целях стимулирования роста растений // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение. Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – 366 с.
15. Трофимов С.Я., Степанов А.А. Применение природных гуматов для ремедиации загрязненных городских почв и в целях стимулирования роста растений // Сборник трудов III Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития». М., 2010. – С.256.
16. Якименко О.С., Терехова В.А. Гуминовые препараты и проблема оценки их биологической активности для целей сертификации // Почвоведение. 2011. № 11. – С. 1334-1343.
17. Kaschl A., Chen Y. Interactions of humic substances with trace metals and their stimulatory effects on plant growth technology // Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice. Springer Netherlands, 2005. – P. 83—113

18. Kulikova N.A., Stepanova E.V., Koroleva O.V. Mitigating activity of humic substances: Direct influence on biota // Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice. Springer Netherlands, 2005. – P. 285—310.
19. Perminova I.V., Kulikova N.A., Zhilin D.M., Grechischeva N.Yu, Kovalevskii D.V., Lebedeva G.F., Matorin D.N., Venediktov P.S., Konstantinov A.I., Kholodov V.A., Petrosyan V.S. Mediating effects of humic substances in the contaminated environments. Concepts, results, and prospects // Viable methods of soil and water pollution monitoring, protection and remediation. Series IV: Earth and Environmental Sciences. Springer Netherlands, 2006. V. 69. – P. 249—274.
20. Perminova, I.; Hatfield, K. Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice. Springer, 2005. – P. 3–36.
21. Soler-Rovira P., Madejyn E., Madejyn P., Plaza C. In situ remediation of metal-contaminated soils with organic amendments: role of humic acids in copper bioavailability // Chemosphere. 2010. V.79. – P.844–849.

Spisok literatury

1. Artyuxov D.B. Vliyanie gumatov i stimulyatorov rosta na razvitie rastenij // Rossijskaya agrarnaya gazeta, 2012 (1-28 fevralya), N 3(9), S.8
2. Butyugin A.V., Zubkova Yu.N. Novye guminovye preparaty: svoystva i primeneniye. // Trudy IV Vserossijskoj konferencii «Guminovye veshhestva v biosfere». M. 19-21 dekabrya 2007 g. Sankt-Peterburg, 2007, s.440-447
3. Gorovaya A.I., Skvorcova T.V., Pavlichenko A.V. Antimutagennyye e'ffekty fiziologicheskii aktivnyx veshhestv na pochvax transformirovannyx gornoj promyshlennost'yu. // Trudy IV Vserossijskoj konferencii «Guminovye veshhestva v biosfere». M. 19-21 dekabrya 2007 g. Sankt-Peterburg, 2007, s.412-419
4. Kanis'kin M.A., Izosimov A.A., Terexova V.A., Yakimenko O.S., Pukal'chik M.A. Vliyanie guminovyx preparatov na bioaktivnost' pochvogrunta s fosfogipsom // Teoreticheskaya i prikladnaya e'kologiya. 2011. №1. S.86-93
5. Kolchanova K.A., Stepanov A.A., Barsova N.Yu., Karpuxin M.M., Kiseleva V.A., Motuzova G.V. Vliyanie guminovogo preparata «E'kstra» na sostoyanie medi v iskustvennom organomineral'nom substrate // Tr. V Vserossijskoj konf. «Guminovye veshhestva v biosfere». 2014. Syktyvkar: Izd-vo Komi NC UrO RAN. S. 132-135
6. Kulikova N.A. Zashhitnoe dejstvie guminovyx veshhestv po otnosheniyu k rasteniyam v vodnoj i pochvennoj sredax v usloviyax abioticheskix stressov. Avtoref. dokt. diss. M., MGU, 2008.
7. Nugumanov A.X., Gilyazetdinov Sh.Ya., Pusenkova L.I. i dr. Sopryazhennost' dejstviya guminovyx kislot i e'ndofitnyx bakterij v formirovanii produktivnosti i ustojchivosti k boleznyam yarovoj pshenicy. // Trudy IV Vserossijskoj konferencii «Guminovye veshhestva v biosfere». M. 19-21 dekabrya 2007 g. Sankt-Peterburg, 2007, s.502-508.

8. Orlov D.S. Gumusovye kisloty pochv i obshhaya teoriya gumifikacii. M.: Izd-vo MGU, 1990.
9. Parfenova L.N. Opyt primeneniya guminovykh preparatov v usloviyax ozeleneniya selitebnykh territorij Sankt-Peterburga // Tez. dolkl. III Vserossijskoj. konf. «Guminovye veshhestva v biosfere». Sankt-Peterburg. 2005. s.112-113.
10. Pukal'chik M. A., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Kydralievа K. A., Akulova M. I. Metod TRIAD v ocenke remediacionnogo dejstviya guminovykh preparatov na urbanozemly // Pochvovedenie. 2015. № 6. S. 1–10
11. Pukal'chik M.A., Terekhova V.A., Yakimenko O.S., Akulova M.I. Sravnenie remediacionnykh e'ffektov biochara i lignogumata na pochvy pri polimetallicheskom zagryaznenii // Teoreticheskaya i prikladnaya e'kologiya. 2016. № 2. S.79-85
12. Sokolova D.A., Trofimov S.Ya., Stepanov A.A. «E'kstra-growth» - guminovyy preparat novogo pokoleniya dlya remediatsii zagryaznennykh pochv i stimulirovaniya rosta rastenij // Sb. trudov VI Moskovskogo mezhdunarodnogo kongressa «Biotexnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya», Moskva, 2011, S.344.
13. Stepanov A.A. Amfifil'nye frakcii guminovykh veshhestv iz preparata «Fleksom» kak stimulyatory rosta rastenij // Sbornik trudov V Vserossijskoj konferencii «Guminovye veshhestva v biosfere», Sankt-Peterburg, 2010, S.451-454.
14. Stepanov A.A., Kos'yanenko G.N. Primenenie prirodnykh gumatov dlya remediatsii zagryaznennykh gorodskix pochv v celyax stimulirovaniya rosta rastenij // Pochvenno-zemel'nye resursy: ocenka, ustojchivoe ispol'zovanie, geoinformacionnoe obespechenie. Minsk: Izd. centr BGU, 2012. 366 s.
15. Trofimov S.Ya., Stepanov A.A. Primenenie prirodnykh gumatov dlya remediatsii zagryaznennykh gorodskix pochv i v celyax stimulirovaniya rosta rastenij // Sbornik trudov III Moskovskogo mezhdunarodnogo kongressa «Biotexnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya», Moskva, 2010, S.256.
16. Yakimenko O.S., Terekhova V.A. Guminovye preparaty i problema ocenki ix biologicheskoy aktivnosti dlya celej sertifikacii // Pochvovedenie. 2011. № 11. S. 1334-1343.
17. Kaschl A., Chen Y. Interactions of humic substances with trace metals and their stimulatory effects on plant growth technology // Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice. Springer Netherlands, 2005. P. 83-113
18. Kulikova N.A., Stepanova E.V., Koroleva O.V. Mitigating activity of humic substances: Direct influence on biota // Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice. Springer Netherlands, 2005. P. 285-310.
19. Perminova I.V., Kulikova N.A., Zhilin D.M., Grechischeva N.Yu, Kovalevskii D.V., Lebedeva G.F., Matorin D.N., Venediktov P.S., Konstantinov A.I., Kholodov V.A., Petrosyan V.S. Mediating effects of humic substances in the

- contaminated environments. Concepts, results, and prospects // Viable methods of soil and water pollution monitoring, protection and remediation. Series IV: Earth and Environmental Sciences. Springer Netherlands, 2006. V. 69. P. 249-274.
20. Perminova, I.; Hatfield, K. Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice. Springer, 2005, P. 3–36.
21. Soler-Rovira P., Madejun E., Madejun P., Plaza C. In situ remediation of metal-contaminated soils with organic amendments: role of humic acids in copper bioavailability // Chemosphere. 2010. V.79. P.844–849.