

DOI: 10.15593/2224-9400/2018.4.09

УДК 550.47:547.992.2

Д.Д. Копп, А.В. ПортноваПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ИОНОВ МЕДИ (II)
В ПОЧВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

Почва – важнейший природный ресурс, обладающий таким свойством, как плодородие, т.е. способностью удовлетворять потребности растений в питательных веществах, обеспечивать рост, развитие и биологическую продуктивность сельскохозяйственных культур.

Важным фактором, определяющим плодородие, является обеспеченность почв достаточным количеством микроэлементов, выполняющих важнейшие функции в процессах жизнедеятельности растений. Интенсификация процессов земледелия, рост урожайности сельскохозяйственных культур и использование новых высокопродуктивных сортов, имеющих интенсивный обмен веществ, ведут к истощению микроэлементного состава почв. Решением данной проблемы является применение микроудобрений. Их применение существенно улучшает качество растениеводческой продукции, так как они положительно влияют на накопление белков и углеводов.

Один из способов повысить эффективность применения микроудобрений – это перевод их в комплексные соединения (хелаты), которые эффективны в любых почвенно-агрохимических условиях. При этом первостепенное значение имеют регуляторы роста природного происхождения, к которым относятся гуминовые вещества. Они свободно включаются в естественные природные цепи превращений и легко расщепляются до простых химических соединений.

В свою очередь ряд микроэлементов являются тяжелыми металлами, и их содержание в повышенных дозах наносит существенный урон экосистеме. Одна из важнейших экологических проблем современности – загрязнение почв тяжелыми металлами. Почва не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество.

Таким образом, оптимизация биогеохимии почв является одним из необходимых условий успешного развития сельскохозяйственной промышленности.

В данной работе предлагается использовать препараты, полученные на основе гуминовых кислот, в качестве регуляторов содержания подвижных форм ионов меди (II) в почве.

Ключевые слова: гуминовые кислоты, гуматы меди, микроэлементы, микроудобрения, медь.

D.D. Kopp, A.V. Portnova

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

THE EFFICIENCY ASSESSMENT OF HUMIC PRODUCT APPLICATION FOR CONCENTRATION REGULATION OF MOBILE COPPER FORMS IN SOILS

The soil is an important environmental resource, which has such properties as fertility. The fertility is an ability to satisfy plant nutrient requirements, sustain growing, development and biological efficiency of agriculture crop.

The important factor for fertility is a microelements supply. Microelements perform many functions related to the basic vital processes. The yield increase of agriculture crops and active using of high response variety enhance soil depletion. The using of micronutrient fertilizer is one of the ways for solving this problem. Their application improves crop quality. The conversion of microelements to chelates is one of the ways to enhance efficiency of fertilizer using. Complexing agents can be used in any agrochemical conditions. Growth regulators are the most perspective substances for these aims. They can easily be included in natural conversion and decay into simple chemical compounds. One such substance is a humic acid.

A number of microelements belongs to heavy metals. Big amount of them can bring significant damage to the ecosystem. Therefore, heavy metal pollution is one the huge modernity problem. The soil can accumulate heavy metals and serve as natural buffer, which controls transport of chemical elements and compounds to atmosphere and hydrosphere.

Therefore, the soil geochemistry optimization is one of the necessary condition for the agriculture development.

In this research, we suppose to use products based on humic acids as regulators of the amount of mobile copper form in soils.

Keywords: *humic acid, copper humate, microelements, copper, micronutrient fertilizer.*

Гуминовые кислоты (ГК) – это группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и нерастворимых в кислотах. Они представляют собой высокомолекулярные гетерополимерные природные органические соединения, образующиеся при разложении отмерших растений и их гумификации [1].

При формировании почв и почвенного плодородия гуминовые вещества выполняют множество функций. Их содержание и состав обуславливают агрономическую ценность, структуру, водно-воздушный режим и окраску почв, емкость катионного обмена, буферность почвы.

В наиболее общей форме можно выделить четыре важнейшие функции гуминовых кислот в биосфере: аккумулятивная, транспортная, регуляторная и протекторная функция.

Аккумулятивная функция сводится к накоплению химических элементов и энергии, необходимых живым организмам. В составе гуминовых веществ аккумулируются значительное количество макро- и микроэлементов [2]. Гуминовые вещества отдают живым организмам необходимые им элементы питания постепенно, по мере их потребления, сохраняя тем самым необходимый запас этих элементов для последующих поколений.

Транспортная функция заключается в формировании геохимических потоков минеральных и органических веществ преимущественно в водных средах за счет образования устойчивых, но относительно легкорастворимых комплексных соединений гумусовых кислот с катионами металлов. Данная функция в некоторой степени противоречит аккумулятивной, но противоречивость действия обеспечивает многообразие влияния гуминовых веществ на минеральные компоненты почв и горных пород [2].

Регуляторная функция объединяет множество различных явлений и процессов и относится к почвам и водным объектам. К ней относят несколько главных составляющих: формирование почвенной структуры и водно-физических свойств почвы, установление равновесий в реакциях ионного обмена, кислотно-основных и окислительно-восстановительных процессах, оптимизация условий минерального питания за счет влияния на растворимость минеральных компонентов и доступность для живых организмов. Также гуминовые вещества отвечают за поддержание теплового режима почв путем влияния на спектральную отражательную способность.

Протекторная функция заключается в способности гуминовых кислот связывать токсичные элементы и вещества в малоподвижные или труднодиссоциирующие соединения. Тем самым гуминовые вещества играют роль биохимического барьера для токсикантов различной природы [3].

Как упоминалось выше, гуминовые вещества играют важную роль в подвижности микроэлементов. Взаимодействие металлов с гуминовыми веществами приводит к появлению растворимых или малорастворимых в воде комплексных соединений. Растворимость органо-минеральных комплексов зависит от их химической природы, количественного соотношения их компонентов и в особенности от кислотности среды.

Гуминовые вещества также обладают стимулирующим воздействием на рост корневой системы, способствуют образованию боковых

корней и увеличению их плотности и, как следствие, увеличению адсорбционной поверхности. Указанные процессы положительно влияют на миграцию микроэлементов в системе почва–растение [4].

Внесение в почву гуминовых препаратов способствует росту микробиологической активности и интенсифицирует потребление органических и минеральных субстратов. Все это ускоряет процессы минерализации органических веществ и разрушения почвенных минералов. Как следствие, наблюдается высвобождение элементов минерального питания в доступной для растений форме [5].

Одним из металлов, содержание которого необходимо регулировать в почве, является медь. Медь относится к группе тяжелых металлов, является токсикантом II класса опасности. Избыточные концентрации меди оказывают токсичное воздействие на природные объекты. Высокие концентрации меди в почвах ведут к изменению функционирующих в почве микробных сообществ, структуры и состава комплексов почвенных микроорганизмов и доминированию небольшого числа видов [4].

В то же время медь является одним из биологически важных, незаменимых микроэлементов. Ее роль в жизнедеятельности живых организмов очень многообразна. Основная функция меди в тканях растений и животных – участие в ферментативном катализе. Она входит в состав целого ряда ферментов (полифенолоксидазы, аскорбинатоксидазы, лактазы, дегидрогеназы, тирозиназы, нитритредуктазы, гипонитритредуктазы, редуктаз оксида азота и др.) и некоторых других белков. Ионы меди участвуют в процессах дыхания, азотном и углеводном обменах.

Недостаток меди в почвах отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов в растениях, вызывает задержку роста, хлороз, потерю тургора клеток, увядание растений и задержку цветения. У злаковых растений при остром дефиците меди происходит обесцвечивание кончиков листьев и не развивается колос, у плодовых культур при недостатке меди появляется сухoverшинность. На некоторых осушенных торфяниках недостаток меди приводит к полной потере урожая сельскохозяйственных культур [6].

Часто медь является одним из дефицитных элементов питания, что может приводить к низкой урожайности и недостаточному содержанию данного микроэлемента в растительной продукции. С урожаем различных культур с 1 га выносятся 7–27 г меди. Также следует учи-

тывать, что при внесении высоких доз азотных удобрений потребность в меди возрастает из-за снижения ее биодоступности для растений.

Медь является одним из наименее подвижных микроэлементов в почве. Ее мобильность в почве и доступность растениям и во многом зависят от процессов адсорбции и комплексообразования. Комплексообразование с органическими соединениями представляет собой ключевую реакцию, определяющую подвижность меди в почве. Гуминовые вещества образуют растворимые и нерастворимые комплексы с ионами этого металла. Их растворимость зависит от свойств и количества органических соединений и от условий комплексообразования [4].

В последнее время широкое распространение получили микроудобрения, содержащие микроэлементы в форме хелатов. Такие соединения обладают высокой биологической активностью, что позволяет их рассматривать не только как соединения, способные обеспечивать высокую доступность для растений микроэлементов, но и как одно из средств регулирования физиолого-биохимических процессов, способствующих повышению почвенного плодородия, урожайности и качества продукции.

Экспериментальная часть. Объектом исследования данной работы являлись гуминовые кислоты, полученные путем щелочной экстракции и последующего кислотного осаждения из образца бурого угля Канско-Ачинского бассейна с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики образца бурого угля Канско-Ачинского бассейна

Элементный состав, мас. %		Общее содержание золы, мас. %	Содержание основных элементов в золе, мас. %					Выход летучих веществ, мас. %	Степень ароматичности
углерод	кислород		Al	Ca	Fe	Mg	Si		
84,7	3,3	3,8	3,7	23,6	19,7	14,1	14,3	38,9	0,7

Исследование состояло из двух основных этапов. На первом этапе рассматривалась эффективность применения исследуемых гуминовых кислот в качестве мелиоранта-стабилизатора для почв с избыточным количеством подвижных форм ионов меди (II).

Второй этап заключался в оценке возможности применения комплексных соединений гуминовых кислот, насыщенных ионами Cu^{2+} , в качестве микроудобрения для почв, обедненных подвижными формами данного микроэлемента.

Для проведения экспериментов использовались два образца почвы с разной обеспеченностью подвижными формами ионов меди (II). Характеристики используемых почв представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика исследуемых образцов почв

Номер образца	Тип почвы	Содержание подвижных форм меди, мг/кг	Обеспеченность подвижными формами ионов меди (II)	pH
1	Песчаная	6,8*	Загрязненная	6,2
2	Суглинистая	0,4	Обедненная	6,9

*Общесанитарный ПДК для подвижных форм меди – 3 мг/кг (согласно гигиеническим нормативам ГН 2.1.7.2041–06).

Рассмотрение возможности применения исследуемых гуминовых кислот в качестве сорбента ионов Cu^{2+} проводилось на образце № 1. На 100 г почвы вносилось 0,1 г порошкообразных гуминовых кислот. В течение 14 суток поддерживалась влажность почвы на уровне 20 %. После чего определялась остаточная концентрация подвижных форм ионов Cu^{2+} методом атомно-абсорбционного анализа в почвенной вытяжке, полученной путем экстракции ацетатно-аммонийным буфером (pH = 4,8) [7].

В результате эксперимента было зафиксировано снижение содержания подвижных форм ионов меди (II) с 6,8 до 4,7 мг/кг, т.е. около 30 % мобильных форм ионов Cu^{2+} перешло в малодоступную для растений форму.

При получении жидких форм медьсодержащих микроудобрений за основу метода был взят патент «Способ получения комплексных гуминовых удобрений» [8]. Получение препаратов осуществлялось следующим образом. В 0,1 Н растворе КОН растворили 0,1 г гуминовой кислоты. Раствор CuSO_4 (1 г/л) при перемешивании медленно вносили дозатором в раствор гумата калия, постоянно поддерживая значение pH в пределах 7–7,8 с помощью кристаллического K_2CO_3 .

Получение сухих гуматов меди осуществлялось путем адсорбции ионов Cu^{2+} на гуминовых кислотах в водных растворах, при перемешивании на шейкере (180 об/мин) и температуре 25 °С в течение суток. Полученные гуматы меди отделяли от жидкой фазы фильтрацией, промывали дистиллированной водой и сушили при температуре 100±5 °С. Для получения препаратов с определенной степенью насыщенности ионами Cu^{2+} использовали изотерму сорбции ионов меди (II)

из водных растворов, полученную экспериментально. Характер изотермы описывается следующим уравнением:

$$C_c = 0,125 \ln(C_p) + 0,758,$$

где C_c – количество ионов меди (II), адсорбированных гуминовой кислотой, ммоль/г; C_p – равновесная концентрация ионов меди (II) в водном растворе, ммоль/л.

Состав полученных препаратов представлен в табл. 3.

Таблица 3

Состав гуминовых препаратов

Показатель	Вариант препарата				
	Жидкая форма		Сухая форма		
	Гумат меди	Гумат калия	ГК насыщенные* Cu^{2+} на 30 %	ГК насыщенные* Cu^{2+} на 15 %	ГК
Cu^{2+} , ммоль/л	0,033	–	0,48	0,24	–
КОН, моль/л	0,1	0,1	–	–	–
ГК, %	0,1	0,1	97,6	98,7	100
pH	7,3	7,3	–	–	–

*От максимальной сорбционной емкости (1,6 ммоль/г), определенной экспериментально с использованием уравнения Лэнгмюра.

В образцы почвы № 2 (с низким содержанием подвижных форм ионов Cu^{2+}) вносились приготовленные препараты в разных соотношениях. В качестве контрольной пробы использовалась почва без внесения в нее удобрений. В течение 7 дней влажность почвы поддерживалась на постоянном уровне (20 %) при комнатной температуре. После экспозиции проводилось выращивание растительной культуры *Raphanus sativus*. С целью определения содержания меди в корневой части растения проводилось кислотное разложение растительной биомассы и определение концентрации ионов меди (II) на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой «iCAP 6000». Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Результаты определения концентрации меди в растительной биомассе хорошо коррелируют с литературными данными, где указано, что среднее содержание ионов меди в корнеплодах редиса сорта «Жара» составляет $(2,32 \pm 1,52)$ мг/кг [9].

Таблица 4

Результаты применения медных микроудобрений на основе ГК

Номер опыта	Агрегатное состояние препарата	Количество внесенной меди, мг/кг почвы	Количество внесенных ГК, г/кг почвы	Содержание подвижных форм меди в почвах, мг/кг	Изменение содержания Cu^{2+} в почве по сравнению с контролем, %	Содержание меди в корневой части растения, мг/кг
Контроль	–	0,00	0,00	0,41	–	1,67
1	Твердое	0,00	1,25	0,20	–51,22	1,36
2		15,50	1,25	0,50	21,95	1,61
3		31,00	1,25	1,22	197,56	2,28
4	Жидкое	0,00	0,20	0,25	–39,02	1,41
5		6,00	0,20	0,63	53,66	1,75
6		8,00	0,25	1,05	156,10	1,95

Полученные данные показали, что применение удобрений позволило увеличить концентрацию подвижных форм ионов меди (II) в исследуемых почвах. При введении 31 мг Cu^{2+} на 1 кг почвы в составе порошкообразного удобрения концентрация подвижных форм меди увеличилась примерно в 3 раза по сравнению с контрольным опытом (опыт № 3). Внесение 8 мг Cu^{2+} на 1 кг в составе жидкого удобрения увеличило содержание мобильных форм меди примерно в 2,5 раза (опыт № 6). В результате чего удалось перевести исследуемые почвы из классификации обедненных по данному микроэлементу в среднеобеспеченные [6]. При внесении гуминовых препаратов, не содержащих ионы меди, произошло снижение их подвижных форм в образцах почв на 51 % (опыт № 1) и 39 % (опыт № 4). Это может быть связано с процессами сорбции меди гуминовыми веществами и их переводом в труднодоступные для растений формы.

Внесение в образцы почв медьсодержащих гуминовых препаратов позволило увеличить содержание меди в растительной биомассе. В опыте № 3 произошло увеличение ее содержания в корнях тест-растения от 1,67 до 2,28 мг/кг, а в опыте № 6 – до 1,95 мг/кг. Ни в одном из случаев не было зафиксировано превышения установленной ПДК (СанПиН 42-123-4089–86) для овощной продукции (5 мг/кг).

Для оценки эффективности применения внесенных в образцы почв гуминовых препаратов были измерены следующие биологические показатели: длина и масса корневой части тест-культуры [10], каталаз-

ная активность и «дыхание» (эмиссия углекислого газа) почв методом Галстяна [11].

Масса и длина корневой системы растений являются прямыми показателями почвенного плодородия. Активность почвенной каталазы может служить устойчивым и чувствительным показателем экологического состояния почв, так как практически все микроорганизмы способны в той или иной степени выделять этот фермент в почвенную среду. Эмиссия углекислого газа – это процесс выделения CO_2 почвой, связанный с ферментативным разрушением органических соединений. Этот показатель характеризует степень замкнутости биологического круговорота веществ в биогеоценозе. Объем выделяющегося с поверхности почвы CO_2 может характеризовать интенсивность протекающих в ней биохимических процессов и служить интегральным показателем ее экологического состояния. Развитие тест-растения, каталазная активность (КА) и интенсивность «дыхания» почв в разной степени отражают изменения в содержании гумуса, pH среды или содержания тяжелых металлов, поэтому наиболее рационально комплексное использование этих показателей для оценки экологического состояния почв [12]. Результаты проведенной оценки представлены в табл. 5.

Таблица 5

Оценка эффективности применения гуминовых препаратов

Номер опыта	Агрегатное состояние препарата	Содержание подвижных форм меди в почвах, мг/кг	Средняя длина корневой части, мм	Масса сухой биомассы, мг	Прирост биомассы, %	КА, O_2 cm^3 / г почвы за 1 мин	«Дыхание» почв, CO_2 / 100 г почвы за 24 ч
Контроль	–		4,4	130,1	–	1,1	19,8
1	Твердое	0,41	5,4	127,8	–1,73	1,1	21,2
2		0,20	5,9	132,7	2,01	1,0	22,9
3		0,50	5,8	146,0	12,24	1,2	22,1
4	Жидкое	1,22	3,6	122,7	–5,65	1,0	18,1
5		0,25	6,0	133,1	2,34	1,3	23,2
6		0,63	6,2	151,3	16,28	1,3	21,9

Полученные данные хорошо коррелируют с результатами предыдущего эксперимента по определению содержания подвижных форм меди в образцах почв после внесения в них гуминовых препаратов. Применение исследуемых удобрений дало положительный результат, о чем свидетельствует прирост биомассы по сравнению с контрольным

образцом. Наибольшее увеличение растительной массы получено в опытах № 3 и 6 (см. табл. 5). Таким образом, внесение ионов меди в составе комплексных соединений в приведенных соотношениях позволило увеличить прирост растительной биомассы на 12 и 16 % соответственно. При внесении в почву гуминовых кислот и гуматов калия (не содержащих ионы меди) зафиксировано их отрицательное воздействие на плодородие почвы. Это может быть объяснено уменьшением биодоступности как ионов меди (II), так и других биологически важных микроэлементов.

Полученные значения показателей каталазной активности и эмиссии углекислого газа могут свидетельствовать о том, что внесение исследуемых препаратов не вызывает нарушения экологического состояния почв и их биогеоценологических функций.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенного исследования была показана возможность использования гуминовых кислот, полученных из бурого угля Канско-Ачинского бассейна, в качестве сорбентов ионов меди (II) из почвенных объектов. Результаты экспериментов позволили зафиксировать снижение на 30 % концентрации подвижных форм ионов меди в почве с 6,8 до 4,7 мг/кг.

Применение медьсодержащих гуминовых препаратов (гуматов меди) в качестве микроудобрений для обедненных медью почв позволило оптимизировать содержание подвижных форм микроэлемента. Наиболее эффективно оказалось внесение микроудобрений в порошкообразной форме в количестве 1,25 г/кг (с содержанием Cu^{2+} 29 мг на 1 г препарата) и гуматов меди в жидком состоянии в количестве 0,25 г/кг (с концентрацией Cu^{2+} 2 мг/л). Это позволило повысить содержание подвижных форм ионов Cu^{2+} в почве от 0,41 до 1,22 мг/кг в первом случае и до 1,05 мг/кг во втором. При этом происходит увеличение их концентрации в корнях тест-растения на 36 и 17 % соответственно. Оценка показателей каталазной активности и интенсивности «дыхания» почв указывает на то, что данные препараты не вызывают нарушения биогеоценологических функций почв.

Таким образом, применение предлагаемых гуминовых препаратов эффективно как для ремедиации почвенных объектов, содержащих повышенные концентрации ионов меди, так и для восполнения этого микроэлемента в почвах, где наблюдается его дефицит.

Список литературы

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
2. Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 2. – С. 56–63.
3. Безуглова О.С., Орлов Д.С. Биогеохимия. – Ростов н/Д: Феникс, 2000. – 320 с.
4. Репницына О.Н., Попова Л.Ф. Трансформация подвижных форм меди в сезоннопромерзающих почвах города Архангельска // Арктика и север. – 2012. – № 9. – С. 1–15.
5. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горюнов А.В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2. – С. 11–13.
6. Вильдфлуш И.Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур. – Минск: Белорусская наука, 2011. – 293 с.
7. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
8. Способ получения комплексных гуминовых удобрений: пат. 2237643С2 РФ, МПК С 05 F 11/02 / Левинский Б.В. – № 2002134185; заявл. 20.08.04, опубл. 10.10.04. – 7 с.
9. Бобренко Е.Г. Влияние сорта и удобрений на микроэлементный состав редиса // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – Вып 11, № 4. – С. 1–7.
10. Методика измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенного загрязнения почв (М-П-2006. ФР.1.39.2006.02264). – СПб., 2009. – 19 с.
11. Титова В.И., Дабахова В.И., Дабахов М.В. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.
12. Еремченко О.З. Использование биологических показателей при оценке биогеоценологических функций почв // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 6–8.

References

1. Orlov D.S. Gumusovye kisloty pochv i obshhaja teoriya gumifikacii [Soils Humus Acids and general theory of humification]. Moscow, Izd-vo MGU, 1990, 325 p.
2. Orlov D.S. Guminovye veshhestva v biosphere [Humus substances in Biosphere]. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal*, 1997, no. 2. pp. 56-63.

3. Bezuglova O.S., Orlov D.S. Biogeoхимия [Biogeochemistry]. Rostov n/D: Feniks, 2000, 320 p.

4. Repnicyna O.N., Popova L.F. Transformacija podvizhnyh form medi v sezonnopromerzajushhih pochvah goroda Arhangel'ska [Mobile form copper transformation in the seasonally freezing soils of the city of Arkhangelsk]. *Arktika i sever*, 2012, no 9, pp 1-15.

5. Bezuglova O.S. Polienko E.A., Gorovcov A.V. Guminovye preparaty kak stimulatory rosta rastenij i mikroorganizmov [Humic products as growth stimulator of plants and microorganisms]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 2, pp. 11-13.

6. Vil'dflush I.R. Jefferktivnost' primenenija mikroudobrenij i reguljatorov rosta pri vozdeľyvanii sel'skohozjajstvennyh kul'tur [The application efficiently of micronutrient fertilizer and growth regulators in the crop cultivation]. *Minsk: Belorusskaja nauka*, 2011, 293 p.

7. Mineev V.G. Praktikum po agrohimii [Agrochemistry workshop]. *Moscow, Izd-vo MGU*, 2001, 689 p.

8. Levinskij B.V. Spособ poluchenija kompleksnyh guminovyh udobrenij [Method for preparing complex humin fertilizers]. Patent Rossijskaja Federatsija no. 200213418511 (2013).

9. Bobrenko E.G. Vlijanie sorta i udobrenij na mikrojelementnyj sostav redisa [Effect of Variety and Fertilizers on the Trace Element Composition of Radish]. *Jelektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU*, 2017, iss. 11 no. 4, pp.

10. Metodika izmerenij vshozhesti semjan i dliny kornej prorostkov vysshih rastenij dlja opredelenija toksichnosti tehnogenogo zagrjaznenija pochv [Measuring method of germinating ability and root length of higher plants to determine the toxicity of anthropogenic pollution] (M-P- 2006 FR.1.39.2006.02264). Sankt-Peterburg, 2009, 19 p.

11. Titova V.I. Agro- i biohimicheskie metody issledovaniya sostojanija jechosistem: ucheb. posobie dlja vuzov [Agro-and biochemical methods for studying the state of ecosystems]. N. Novgorod: Izd.-vo VVAGS, 2011, 170 p.

12. Eremchenko O.Z. Ispol'zovanie biologicheskikh pokazatelej pri ocenke biogeocenoticheskikh funkcij pochv [The using of biological indicators in the assessment of soil biogeocenotic functions]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2012, pp. 6-8.

Получено 29.10.2018

Об авторах

Копп Дмитрий Дмитриевич (Пермь, Россия) – студент магистратуры кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: mit.kopp@yandex.ru).

Портнова Анна Владимировна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: annysky2002@mail.ru).

About the authors

Dmitriy D. Kopp (Perm, Russian Federation) – Student of Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: mit.kopp@yandex.ru).

Anna V. Portnova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: annysky2002@mail.ru).