

ВЛИЯНИЕ ГУМАТОВ КАЛИЯ НА МИГРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ

В.А. Касатиков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Т.Ю. Анисимова, кандидат сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа
г. Владимир, Россия

Аннотация

Выявлено положительное последствие осадка сточных вод, известкования и гуматов калия, как экстрагированного из вермикомпоста на основе осадка сточных вод, так и входящего в состав торфо-гуминового удобрения (ТГУ), на биогеохимические показатели агроценоза. Обработка почвы гуматом калия, экстрагированного из вермикомпоста, способствовала повышению величины показателя суммарного загрязнения (Zс) подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) в сравнении с фоновым вариантом, особенно при минимальной дозе известкования, и как следствие, увеличению Zс овса, в первую очередь соломы. ТГУ снижает подвижность ТМ в слое почвы 0-20 см, исходя из величин Zс.

Ключевые слова: гумат калия, осадок сточных вод, торфо-гуминовое удобрение, известкование, тяжёлые металлы

Abstract

V.A. Kasatikov, T.Ju. Anisimova

POTASSIUM HUMATES AFFECT MIGRATION PROPERTIES OF HEAVY METALS IN THE SYSTEM OF SOIL - PLANTS

The positive aftereffect of sewage sludge, liming and humates of potassium, both extracted from a vermicompost on the basis of sewage sludge, and included in peat-humic fertilizer, on biogeochemical indicators of agrocenosis was revealed. Soil treatment by potassium humate extracted from a vermicompost increased the value of the total contamination index (Zc) of mobile heavy metals in comparison with the background version, especially with a minimum dose of liming, and as a result Zc of oats was increased, primarily straw. Peat-humic fertilizer decreases mobility of heavy metals in 0-20 cm soil layer on the basis of Zc level.

Keywords: potassium humate, sewage sludge, peat-humic fertilizer, liming, heavy metals

В современных условиях развития сельского хозяйства наряду с необходимостью осуществления рекультивационных мероприятий одним из направлений исследований становится разработка и внедрение биоорганических препаратов. Известно, что данные препараты способны в малых дозах стимулировать рост и развитие растений, а также повышать эколого-экономическую эффективность общепринятых технологических приёмов повышения продуктивности культур и эффективности рекультивации нарушенных территорий. Наибольший интерес в этом направлении представляют гумусовые вещества ввиду высокой их степени технологичности производства, особенности строения и применения в ультрамалых дозах [2, 3, 4].

Ранее проведенными исследованиями установлено стимулирующее действие гуминовых соединений на рост и развитие растений, повышение их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. При систематическом использовании препаратов улучшается почвенная структура, буферные и ионообменные свойства почвы, активизируется деятельность почвенных микроорганизмов, мине-

ральные элементы переводятся в доступную для растений форму [2, 3].

При систематическом использовании гумусовых препаратов улучшается в частности почвенная структура, буферные и ионообменные свойства почвы, активизируется деятельность почвенных микроорганизмов, минеральные элементы переводятся в доступную для растений форму [1].

Целью настоящего исследования являлось изучение микроэлементного состава почвы и растений, а также биогеохимических изменений, протекающих в дерново-подзолистой супесчаной почве с повышенным содержанием тяжелых металлов под действием гуматов калия в составе торфо-гуминового удобрения, последствия осадка городских сточных вод и доломитовой муки.

Методика исследований

Исследования проводились в мелкоделяночном и микрополевым опытах, заложенных на опытном поле ФГБНУ ВНИИОУ. Почва участков дерново-подзолистая супесчаная, развитая на флювиогляционной супеси, подстилаемой моренным суглинком. Повторность в опыте 5-ти кратная. Площадь деланки

мелкоделяночного опыта 3 м². Микрополевой опыт заложен в сосудах без дна (d = 20 см), вкопанных на делянках мелкоделяночного опыта с длительным применением различных доз осадка городских сточных вод (330-1320 т/га в сумме за годы исследований) в сочетании с различными уровнями известкования (3-6 т/га). В 2013г. изучалось действие гуматов калия, экстрагированных из вермикомпоста. Гуматы калия вносились в дозе эквивалентной 5 и 10 т/га вермикомпоста по углероду гумусовых кислот. Гуматы калия, получали из вермикомпоста на основе осадка сточных вод (ОСВ) путем 4-х кратной вытяжки 0,1 н К.ОН, рН среды доводили до нейтральных значений добавлением H₂SO₄. Агроэкологическая характеристика гуматов следующая: влажность – 99,3 %; N_{общ.} – 1,64 %; P₂O₅ – 3,2 %; K₂O – 11,8 % (на сухое в-во), C_{общ.} – 0,55 мг/мл. рН_{KCl} вытяжки доведены до нейтрального значения. Для проведения полевых исследований в 2015г. использовалось торфогуминовое удобрение. Торфо-гуминовое удобрение (ТГУ) получено методом щелочной обработки 0,1 н КОН диспергированного торфа. Далее рН среды доводили до нейтральной реакции добавлением 1н H₂SO₄. Агроэкологическая характеристика ТГУ следующая: влажность – 78,9 %; N_{общ.} – 1,54 %; P₂O₅ – 0,37 %; K₂O – 2,91 % (на сухое в-во), C_{общ.} – 33,8 %.

Дозы торфо-гуминового удобрения рассчитывали по содержанию общего углерода в вытяжке и вносили в жидком виде из расчета 3 и 6 г/м² органического углерода. В 2015 г. в расчете на влажность ТГУ, равную 78,9 % его дозы были равны соответственно 42 и 84 г/м.

Результаты и их обсуждение

Полученные в ходе исследований результаты свидетельствует о заметном влиянии гуматов на почву агроценоза. Данная зависимость подтверждает ранее полученные данные при рассмотрении действия вермигуматов на агроэкологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы [4]. В наибольшей степени это проявляется при рассмотрении факторов, влияющих на миграцию ТМ в агроценозе дерново-подзолистой почвы.

Взаимосвязь между почвой и растениями в поглощении ТМ довольно сложная. На поступление ТМ в растения влияет множество факторов, важнейшими из которых являются свойства почв и динамика почвенных процессов, содержание металлов, состоя-

ние и трансформация их соединений, физиологические особенности растений. Известно, что по валовому количеству элементов в почве оценить обеспеченность ими растений трудно. Наиболее чувствительным показателем состояния ТМ является содержание в почве подвижных форм их соединений [3].

Полученные в 2013 г. результаты исследований выявили положительную зависимость значений показателя суммарного загрязнения (Z_c) подвижных форм ТМ по последствию ОСВ 300 т/га и дозы известкования, равной 6 т/га, за счет повышения подвижности Cd, Cr и Cu (таблица 1). По последствию максимальной дозы ОСВ возрастает концентрация подвижных форм ТМ и как следствие, значения Z_c повышаются с 10,31 до 15,9 ед. Концентрация Cd превышала допустимый уровень 0,5 мг/кг на большинстве вариантов опыта.

По значениям K_c подвижных форм ТМ в почве вариантов с ОСВ 330 и 1320 т/га т/га выделен следующий убывающий ряд: Cd > Cr > Cu > Ni > Pb > Zn, для известкования 6 т/га.

Обработка почвы гуматами калия, экстрагированным из вермикомпоста, способствовала росту подвижности ТМ в слое почвы 0-20 см и, как следствие, повышению уровня Z_c при суммарной дозе ОСВ 320 т/га в 1,61 раза, а при дозе ОСВ 1320 т/га – в 1,24 раза по сравнению с фоновыми вариантами. Данная зависимость очевидно обусловлена как необменной фиксацией ТМ Ca – гуматами, образующимся при обработке почвы гумусовыми соединениями, и, как следствие, снижением миграционной активности ТМ по почвенному профилю, так и повышением подвижности ТМ, входящих в состав их органоминеральных комплексов. Следствием этого явилось увеличение коэффициентов биологической доступности для Cd, Cu и Ni на вариантах с максимальной и минимальной дозами ОСВ. В результате повысилось содержание Cd, Cu и Ni в зерне и соломе овса. В соломе кроме выше указанных элементов повысилось также содержание Cr, Pb и Zn, но их концентрация, как и в зерне, была ниже допустимых уровней (таблица 2).

По значениям K_c ТМ в зерне овса вариантов с ОСВ 330 и 1320 т/га т/га выделены следующие убывающие ряды: зерно: Cd > Ni > Cu > Zn > Cr > Pb, солома: Cd > Ni > Cu > Pb > Zn > Cr на фоновом варианте и Cu > Ni > Cd > Zn > Pb > Cr в варианте с внесением гуматов калия.

Таблица 1. – Влияние суммарных доз ОСВ и гуматов калия на концентрацию подвижных форм ТМ в дерново-подзолистой супесчаной почве, слой 0-20 см, мг/кг сухого вещества

| ВАРИАНТ | ЭЛЕМЕНТЫ | | | | | | Z _c |
|--------------------------------|----------|------|------|------|------|------|----------------|
| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Zn | |
| Контроль | 0,21 | 0,32 | 0,51 | 0,32 | 0,57 | 1,86 | - |
| Фон | | | | | | | |
| *ОСВ 320т/га+ дол. мука 6 т/га | 1,12 | 0,69 | 1,63 | 0,56 | 0,86 | 2,57 | 10 |
| ОСВ 1320т/га+ дол. мука 6 т/га | 1,39 | 1,33 | 2,49 | 0,62 | 1,10 | 2,63 | 16 |
| Фон + ВГ ₁ | | | | | | | к фону |
| ОСВ 320т/га+ дол. мука 6 т/га | 1,16 | 0,77 | 1,75 | 0,68 | 0,96 | 2,63 | 2 |
| ОСВ 1320т/га+ дол. мука 6 т/га | 1,53 | 1,48 | 3,0 | 1,08 | 1,17 | 3,02 | 2 |

Таблица 2. – Влияние суммарных доз ОСВ и гуматов калия на содержание ТМ в зерне и соломе овса, мг/кг сухого вещества

| ВАРИАНТ | ЭЛЕМЕНТЫ | | | | | | Z _c |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Zn | |
| 1. Контроль | <u>0,06</u> 0,08 | <u>0,67</u> 0,12 | <u>9,51</u> 10,18 | <u>0,97</u> 0,56 | <u>0,84</u> 0,69 | <u>6,95</u> 0,98 | - |
| Фон | | | | | | | |
| 3. ОСВ 320 т/га + изв. 6 т/га | <u>0,12</u> 0,18 | <u>1,06</u> 0,25 | <u>11,14</u> 10,73 | <u>2,16</u> 1,41 | <u>0,98</u> 1,21 | <u>9,31</u> 1,63 | <u>5</u> 6 |
| 5. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т/га | <u>0,21</u> 0,26 | <u>1,10</u> 0,28 | <u>12,48</u> 11,23 | <u>2,36</u> 1,53 | <u>1,15</u> 1,35 | <u>10,62</u> 1,78 | <u>7</u> 8 |
| Фон + ВГ ₁ | | | | | | | к фону |
| 7. ОСВ 320 т/га + изв. 6 т/га | <u>0,16</u> 0,17 | <u>1,27</u> 0,72 | <u>11,23</u> 13,72 | <u>2,36</u> 1,54 | <u>0,99</u> 1,61 | <u>9,58</u> 2,20 | <u>2</u> 4 |
| 9. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т/га | <u>0,20</u> 0,22 | <u>1,37</u> 0,58 | <u>12,64</u> 12,89 | <u>2,96</u> 1,68 | <u>1,05</u> 1,50 | <u>11,76</u> 2,30 | <u>2</u> 3 |

Примечание: над чертой – содержание элемента в зерне, под чертой – содержание элемента в соломе, мг/кг

Исследования в выбранном направлении были продолжены в 2015 г. При этом с целью выявления различий в действии технологически различных гуматов на подвижность ТМ использовалось торфо-гуминовое удобрение с содержанием в гуматах калия ТГУ С_{общ} в количестве 33,8 %.

В 2015 г. сохранилась пропорциональная зависимость значений Z_c подвижных форм ТМ по последнему действию ОСВ 300 т/га от доз известкования, равных 3 и 6 т/га, за счет повышения подвижности Cd, Cu и Pb (таблица 3). По последнему действию максимальной дозы ОСВ пропорционально возрастает концентрация подвижных форм ТМ. Значения Z_c повышаются с 3,98 – 7,50 ед. до 12,14 – 13,54 ед. С увеличением доз известкования наблюдалось увеличение Z_c за счет повышения подвижности Zn. Концентрация Cd превышала допустимый уровень на большинстве вариантов опыта.

По значениям K_c подвижных форм ТМ в почве вариантов с ОСВ 330 и 1320 т/га т/га выделен следующий убывающий ряд: Zn > Cu > Cd > Pb > Cr > Ni, для известкования 6 т/га и 9 т/га.

Обработка почвы ТГУ₁ способствовала незначительному повышению показателя Z_c в сравнении с фоновыми вариантами при минимальной дозе известкования, что обусловлено необменной фиксацией тяжелых металлов (ТМ) Са-гуматами, образующимся при обработке почвы гумусовыми соединениями, и, как следствие, снижением миграционной активности ТМ по почвенному профилю (таблица 3). Дальнейшее увеличение дозы известкования не оказывает заметного влияния на коэффициенты концентрации ТМ и как следствие значения Z_c. Применение двойной дозы ТГУ приводит к снижению подвижности ТМ исходя из величин Z_c. Данная зависимость очевидно обусловлена образованием соединений ТМ с

Таблица 3. – Влияние последствий ОСВ, известкования и действия ТГУ на содержание подвижных форм ТМ в почве пахотного слоя (0-20 см), мг/кг сухого вещества

| ВАРИАНТ | Cd | Cu | Zn | Cr | Ni | Pb | Zc |
|---------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|----|
| Последствие ОСВ, известкования | | | | | | | |
| Контроль, без удобрений | 0,90 | 0,30 | 1,68 | 1,67 | 1,65 | 0,48 | - |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 1,20 | 0,40 | 4,80 | 2,00 | 1,71 | 0,60 | 4 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 2,50 | 1,38 | 5,62 | 2,20 | 1,90 | 1,90 | 12 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 1,60 | 0,70 | 4,41 | 2,27 | 1,80 | 0,75 | 5 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 2,50 | 1,22 | 8,05 | 2,65 | 1,93 | 2,00 | 14 |
| 5. ОСВ 330 т/га + изв. 9 т./га | 2,20 | 0,80 | 5,12 | 1,96 | 1,82 | 1,00 | 8 |
| 6. ОСВ 1320 т/га + изв. 9 т./га | 2,50 | 1,22 | 7,89 | 2,56 | 1,95 | 1,90 | 13 |
| Действие ТГУ | | | | | | | |
| Контроль, без удобрений | 0,90 | 0,38 | 1,75 | 0,76 | 1,67 | 0,46 | - |
| Фон | | | | | | | |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 1,90 | 0,86 | 5,28 | 0,80 | 1,85 | 0,80 | 6 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 2,20 | 1,60 | 8,93 | 0,92 | 2,07 | 1,20 | 12 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 2,00 | 1,20 | 7,00 | 1,00 | 1,90 | 1,00 | 9 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 2,50 | 2,47 | 10,68 | 1,13 | 2,17 | 1,30 | 16 |
| Фон+ТГУ₁ | | | | | | | |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 1,60 | 1,20 | 7,19 | 1,01 | 2,08 | 0,90 | 9 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 2,20 | 2,46 | 11,97 | 1,28 | 2,21 | 1,07 | 16 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 1,90 | 1,20 | 6,18 | 1,06 | 1,90 | 0,90 | 8 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 2,30 | 2,40 | 10,46 | 1,35 | 2,03 | 1,10 | 15 |
| Фон+ТГУ₂ | | | | | | | |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 1,20 | 0,80 | 5,12 | 1,09 | 1,85 | 0,90 | 5 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 2,50 | 1,50 | 9,49 | 1,39 | 2,13 | 1,07 | 13 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 1,40 | 0,90 | 6,77 | 1,10 | 1,87 | 0,90 | 7 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 2,45 | 1,50 | 9,41 | 1,34 | 2,04 | 1,10 | 12 |

гумусовыми кислотами в составе ТГУ. Действие ТГУ не оказало заметного влияния на распределение ТМ в рядах Кс.

В 2015 г. сохранилась зависимость пропорционального увеличения Zc зеленой массы люпина от последствия ОСВ и известкования почвы (таблица 4). При этом наибольшая степень биологической доступности ТМ при минимальной дозе ОСВ выявлена для Cd, Cu, Ni и Cr согласно их Кс, а для максимальной дозы ОСВ – Cd, Cu, Zn и Ni. Близкая зависимость получена на фоновых вариантах микрополевого опыта, то есть основными элементами из группы ТМ, активно используемых люпином по последствию ОСВ являются Cd и Cu, что в основном согласуется с данными таблицы 2. На величины Кс и

уровень Zc активно влияет степень известкования почвы. С увеличением доз известкования возрастают уровни Zc фоновых вариантов за счет снижения миграционной активности ТМ по профилю дерново-подзолистой почвы.

Под действием ТГУ меняется степень биологической доступности Cd, Cu, Zn и Ni согласно их ряду Кс при дозе известкования 3т/га: Pb > Ni > Cu > Cr > Zn > Cd; 6 т/га: Pb > Ni > Zn > Cd > Cu.. Выявленная зависимость сказывается на значениях Zc, снижающихся под действием ТГУ1. В частности при дозе ОСВ 330 т/га Zc уменьшился в 1,3-1,5 раза. В наибольшей степени данный показатель уменьшился при максимальной дозе известкования, что соответствует влиянию ТГУ на подвижность ТМ (таблица 3). При

увеличении дозы ТГУ в 2 раза выявленные закономерности сохраняются. При этом степень снижения величин Zc достигает 26-77% при минимальной дозе ОСВ и 55-72% при максимальной дозе ОСВ, достигая наибольшего уменьшения при дозе известкования 6 т/га (таблица 4). Данная зависимость обусловлена в первую очередь снижением миграционной активности Cd, Zn и Pb в системе почва–растение. Выявленные при этом ряды Kс для максимальных доз ОСВ

имеют следующие чередования ТМ при дозе известкования 3т/га: Ni>Pb > Cu≥Cr; 6 т/га: Ni> Cr> Cu≥ Pb > Zn> Cd.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке технологических проектов рекультивации почв, загрязненных неорганическими и органическими отходами, а также в мероприятиях по биологической рекультивации свалок бытовых и промышленных отходов.

Таблица 4. – Влияние последствия ОСВ, известкования и действия ТГУ на содержание ТМ в зеленой массе люпина, мг/кг сухого вещества

| ВАРИАНТ | Cd | Cu | Zn | Cr | Ni | Pb | Zc |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|----|
| Последствие ОСВ, известкования | | | | | | | |
| Контроль, без удобрений | 0,16 | 3,30 | 26,4 | 16,7 | 11,7 | 1,10 | - |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 0,20 | 3,90 | 28,5 | 18,6 | 12,2 | 1,20 | 2 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 0,30 | 5,20 | 36,1 | 20,1 | 14,3 | 1,30 | 3 |
| 5. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 0,25 | 4,30 | 27,1 | 17,8 | 13,6 | 1,20 | 2 |
| 6. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 0,38 | 4,70 | 36,7 | 20,0 | 15,3 | 1,40 | 4 |
| Действие ТГУ | | | | | | | |
| Контроль, без удобрений | 0,16 | 3,30 | 26,4 | 16,7 | 11,7 | 1,10 | - |
| Фон | | | | | | | |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 0,27 | 3,90 | 28,2 | 18,6 | 14,8 | 1,20 | 2 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 0,40 | 5,40 | 35,4 | 21,0 | 15,8 | 1,30 | 4 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 0,35 | 4,00 | 30,0 | 20,1 | 16,4 | 1,30 | 3 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 0,45 | 4,80 | 36,7 | 22,0 | 17,0 | 1,60 | 5 |
| Фон+ТГУ₁ | | | | | | | |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 0,11 | 3,20 | 24,1 | 20,3 | 16,2 | 1,25 | 2 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 0,17 | 4,90 | 35,8 | 24,0 | 17,6 | 1,80 | 4 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 0,12 | 3,10 | 28,2 | 22,7 | 16,4 | 1,50 | 2 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 0,19 | 3,80 | 33,5 | 24,1 | 17,3 | 1,90 | 3 |
| Фон+ТГУ₂ | | | | | | | |
| 1. ОСВ 330 т/га + изв. 3 т/га | 0,10 | 4,00 | 23,1 | 20,0 | 17,3 | 1,00 | 2 |
| 2. ОСВ 1320 т/га + изв. 3 т/га | 0,14 | 4,30 | 30,1 | 22,3 | 17,9 | 1,60 | 3 |
| 3. ОСВ 330 т/га + изв. 6 т./га | 0,12 | 3,50 | 22,5 | 21,4 | 17,3 | 1,0 | 2 |
| 4. ОСВ 1320 т/га + изв. 6 т./га | 0,17 | 4,20 | 31,3 | 25,1 | 18,2 | 1,40 | 3 |

Выводы

1. Проведенные исследования выявили положительное последствие осадка сточных вод, известкования и гуматов калия, как экстрагированного из вермикомпоста на основе осадка сточных вод, так и входящего в состав ТГУ, на биогеохимические показатели агроценоза.

2. Обработка почвы гуматом калия, экстрагированного из вермикомпоста, способствовала повышению величины Zc подвижных форм ТМ в сравнении с фоновым вариантом, особенно при минимальной дозе известкования, и как следствие, увеличению Zc овса, в первую очередь соломы.

3. Применение двойной дозы ТГУ приводит к

снижению подвижности ТМ исходя из величин Z_c .
Данная зависимость обусловлена образованием соединений ТМ с гумусовыми кислотами в составе ТГУ.

4. Под действием ТГУ меняется степень биологической доступности Cd, Cu, Zn и Ni, что сказывается на значениях Z_c в зеленой массе люпина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуминовые вещества в биосфере. // Труды II Международной конференции. Москва, 3-6 февраля 2003 г. Изд-во Московского ун-та. – 2004. – С. 29-32.
2. Касатиков, В.А. Влияние систематического внесения гумусовых соединений на агроэкологические свойства почвы и растений / В.А.Касатиков, В.А. Черников // Доклады ТСХА. Выпуск № 283. – 2011. – С. 45-46.
3. Касатиков, В.А. Влияние вермигумусовых соединений на некоторые агроэкологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы/ В.А.Касатиков, Н.П. Шабардина, О.Д. Шафронов // Плодородие. – 2009. – № 6. – С.32-33.
4. Транслокация тяжелых металлов в загрязненном агроценозе / В.А.Касатиков [и др.] // Известия ТСХА. Вып. 3. – 2002. – С. 85-100.

Поступила 12.09.2017