

УДК 633 : 632.95.024.4

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В ФОРМИРОВАНИИ ФИТОТОКСИЧНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ В КОМПЛЕКСАХ БИОЛОГИЗАЦИИ

**В. В. ВЕРЗИЛИН, А. В. ГОНЧАРОВ, Е. Н. ЗАКАБУНИНА**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»  
г. Балашиха, Россия, 143900, e-mail: [tikva2008@mail.ru](mailto:tikva2008@mail.ru)

**Н. Д. ВЕРЗИЛИНА**

ФГОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,  
г. Воронеж; Россия

**Н. В. ПОЛЯКОВА**

ФГОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»,  
г. Воронеж; Россия

(Поступила в редакцию 25.06.2019)

*Представлены результаты многолетних исследований по влиянию различных сельскохозяйственных культур, их растительных остатков и комплексов приёмов биологизации земледелия на процессы, определяющие закономерности формирования отрицательного влияния токсических веществ на свойства чернозёмных почв и продуктивность культур агроценоза. Выявлено, что сельскохозяйственные культуры, различные по биологическим особенностям и технологии возделывания по-разному влияют на процессы формирования фитотоксических свойств чернозёмных почв. Исследования показали, что действие комплексов биологизации агроценозов на динамику процессов формирования и проявления фитотоксических свойств почвы различалось по вариантам исследований, периодам роста и развития полевых культур.*

*Установлена различная роль сельскохозяйственных растений агроценозов в создании фитотоксических свойств чернозёмных почв, их связь с биологическими особенностями полевых культур и технологиями их возделывания. Определено, что фитотоксичность почвы является одним из основных биологических показателей эффективного плодородия почвы, отражающим уровень ингибирующего влияния физиологически активных веществ на рост и развитие растений и одним из определяющих биологическое состояние почвы агроценозов, на основе которого формируется экологическая устойчивость окружающей среды. Токсичность почвы, как правило, возрастала по мере роста и развития возделываемых культур, достигла максимальных показателей в фазы активного роста и развития растений в агроценозах. Разные комплексы биологизации агроценозов Центрально-Чернозёмного региона в разной степени активизируют биологическую активность чернозёмных почв и разнонаправленный уровень их фитотоксичности.*

**Ключевые слова:** агроценозы, биологизация, биогенность, биологическая активность, сельскохозяйственные культуры, фитотоксичность, экологическая нагрузка, экологическая устойчивость.

*We have presented results of many years of research on the impact of various crops, their plant debris, and complexes of agricultural biologization techniques on processes that determine the patterns of negative influence of toxic substances on the properties of chernozem soils and the productivity of agricultural crops. It was revealed that crops different in biological features and cultivation technologies have different effects on the processes and formation of phytotoxic properties of chernozem soils. Studies have shown that the influence of agrocnosis biologization complexes on the dynamics of processes of formation and manifestation of phytotoxic soil properties differed in research options, periods of growth and development of field crops.*

*The different role of agricultural plants of agrocnoses in creating the phytotoxic properties of chernozem soils, their relationship with the biological characteristics of field crops and their cultivation technologies, has been established. It was determined that soil phytotoxicity is one of the main biological indicators of effective soil fertility, reflecting the level of the inhibitory effect of physiologically active substances on plant growth and development and one of those that determine the biological state of agrocnoses soil, on the basis of which the environmental sustainability is formed. Toxicity of the soil, as a rule, increased with the growth and development of cultivated crops, reached maximum levels in the phases of active growth and development of plants in agrocnoses. Different complexes of biologization of agrocnoses of the Central Black Earth region, to varying degrees, activate the biological activity of chernozem soils and the multidirectional level of their phytotoxicity.*

**Key words:** agrocnoses, biologization, biogenicity, biological activity, crops, phytotoxicity, environmental load, environmental sustainability.

### **Введение**

Современный этап развития научных знаний о почве характеризуется познанием экологических функций почвы, среди которых обще биосферные и биогеоценотические являются ведущими. Биогеоценотические функции почвы обусловлены её

биологическими свойствами, способностью производить, накапливать и передавать информационные потоки. С позиций современного информационного подхода почва рассматривается как «память» биогеоценоза, информационные потоки которой формируются воспроизводящей функцией почвы во времени.

Биологические свойства почвы, в совокупности показателей её характеризующих, определяют интенсивность биологических процессов и биохимических реакций, обеспечивающих разнонаправленное воспроизводство элементов почвенного плодородия в системе «почва-растения-микроорганизмы».

Токсичность почвы, как категория плодородия, характеризующая уровень отрицательного влияния физиологически активных веществ почвы на рост и развитие растений, является признанным показателем, характеризующим экологическое состояние и устойчивость окружающей среды [4, 5].

Проявление токсических свойств почвы – один из основных биологических показателей, воспроизводимых в почве в результате нарушения равновесия в многоуровневой системе – «синтез – разложение» органического вещества, что в конечном итоге определяет степень ингибирующего влияния токсических веществ на рост и развитие растений, экологическое состояние и продуктивность агроценоза.

Ряд исследователей в качестве основных причин, определяющих токсические свойства почвы, указывают на влияние возделываемых сельскохозяйственных растений в период их вегетации, действие их растительных остатков, минеральных и органических удобрений, а также гидротермических условий вегетационного периода [2, 3, 6].

Определяющее влияние на формирование токсических свойств почвы в агроценозах, как отмечают многие исследователи, оказывают возделываемые в них полевые культуры в период их вегетации, многоуровневая трансформация их послеуборочных остатков, минеральные и органические удобрения, используемые при их возделывании, а также гидротермические условия в период их вегетации [4, 5, 6].

В настоящем научном исследовании приведены результаты многолетних исследований по влиянию различных сельскохозяйственных культур, их растительных остатков и комплексов приёмов биологизации земледелия на процессы, определяющие закономерности формирования отрицательного влияния токсических веществ на свойства чернозёмных почв и продуктивность культур агроценоза в лесостепи Центрально-Чернозёмного региона России.

#### **Основная часть**

Исследования проводились в многофакторном стационарном опыте кафедры земледелия и отдела плодородия опытной станции Воронежского аграрного университета в основные фазы вегетации растений озимой пшеницы (отрастание, цветение, перед уборкой), сахарной свеклы (всходы, смыкание рядков, перед уборкой), ячменя (всходы, цветение, перед уборкой) и эспарцета (отрастание, цветение, перед уборкой).

Схема севооборота: сидеральный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень, с использованием разных приёмов биологизации по следующим вариантам опыта:

1. Пар сидеральный – контроль. Минеральные удобрения вносили весной для подкормки озимой пшеницы ( $N_{30}$ ).

2. Пар сидеральный + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ ) и сахарную свеклу ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ ) + 40 т/га навоза + солома озимой пшеницы (5–7 т/га) + пожнивный сидерат (ПС) горчицы (*Brassica juncea*), посеянной после уборки озимой пшеницы.

3. Пар сидеральный + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ ) и сахарную свеклу ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ ) + 40 т/га навоза + пожнивный сидерат горчицы (*Brassica juncea*), посеянной после уборки озимой пшеницы.

4. Пар сидеральный + внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ ) и сахарную свеклу ( $N_{100}P_{100}K_{100}$ ) + пожнивный сидерат горчицы (*Brassica juncea*), посеянной после уборки озимой пшеницы + солома озимой пшеницы, урожая текущего года (С) (5–7 т/га).

Технология возделывания культур, рекомендованная для лесостепной зоны Воронежской области.

Почва опытного участка – выщелоченный среднегумусный среднетощный тяжелосуглинистый чернозем, с содержанием гумуса в пахотном слое 4,0–4,4 %. Гидролитическая кислотность – 4 мг-экв./100 г почвы, насыщенность основаниями 85 %, рН сол. – 6,3, содержание подвижного фосфора (по Чирикову) – 6,8–13 мг/100 г обменного калия (по Масловой) – 16–28 мг/100 г абсолютно сухой почвы.

Содержание гумуса определяли по И. В. Тюрину в модификации Б. А. Никитина.

Определение содержания водорастворимых калиев в почве под культурами агроценоза проводили по методике А. М. Гродзинского (1979 г.). В качестве тест-культуры использовали семена редиса сорта красный с белым кончиком.

Показатели токсичности почвы представлены в УКЕ (условно кумариновые единицы).

В результате исследований были получены следующие результаты.

Показатели фитотоксичности почвы под растениями озимой пшеницы в динамике вегетационного периода показаны на рис. 1. Они различались как по вариантам проводимых исследований, так и по срокам определения.

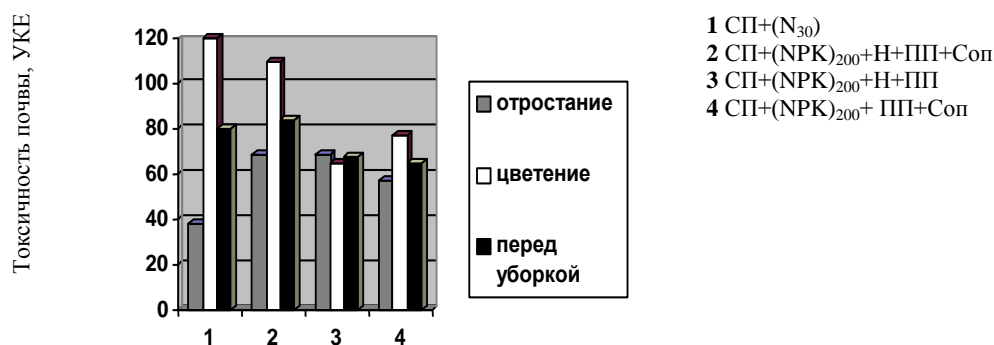


Рис. 1. Динамика фитотоксичности почвы под озимой пшеницей в УКЕ

На всех вариантах опыта, кроме третьего – СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП, отмечен рост показателей токсичности почвы от начальной фазы роста и развития растений до фазы цветения озимой пшеницы и снижение её величин перед уборкой культуры. Это, по нашему мнению, характеризует роль вегетирующих растений в активизации биологических процессов трансформации растительных остатков культур прошлых лет, находящихся в почве, микроорганизмами с мощным ферментативным аппаратом и выделяющих фитотоксические вещества в почву.

В фазе отрастания растений озимой пшеницы наибольшая фитотоксичность почвы была отмечена на вариантах СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП+Соп и СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП по 69 УКЕ, в почву которых вносили навоз и солому в качестве средств биологизации, а наименьшая – 38 УКЕ – в почве первого варианта – СП+(N<sub>30</sub>). Повышение фитотоксичных свойств почвы на этих вариантах можно объяснить внесением свежего навоза с высоким содержанием в нём соломыстых остатков. Низкие показатели фитотоксичности почвы первого варианта указывают на достаточно глубокую стадию трансформации растительных остатков, исключая повышение содержания токсических веществ в почве, оказывающих ингибирующее влияние на рост и развитие растений.

В фазе цветения растений озимой пшеницы высокие показатели токсичности почвы установлены на варианте СП+(N<sub>30</sub>) – 120 УКЕ, что, по нашему мнению, основанному на результатах ранее проведенных исследований (2), связано с отсутствием в почве этого варианта легкоразлагаемой растительной органики и активным развитием групп микроорганизмов, разлагающих гумус. В свою очередь микроорганизмы усваивают экссудаты растений, выделяемые в процессе жизнедеятельности корневой системой, – органические кислоты, аминокислоты и амиды, сахара, нуклеиновые кислоты, ферменты, витамины, гормоны и токсины. Все эти вещества оказывают как стимулирующее, так и ингибирующее действие на рост и развитие растений. В этой группе почвенных редуцентов растительных остатков, по данным Н. А. Красильникова, А. М. Гродзинского, Т. Г. Мирчинк, доминируют представители фитотоксических форм.

Наименьшие показатели проявления фитотоксичности почвы в этот срок определения, были выявлены на варианте: СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП – 65 УКЕ, что связано со стимулирующим влиянием пожнивного сидерата и навоза на биологические свойства почвы в эту фазу роста и развития растений.

Перед уборкой озимой пшеницы показатели фитотоксичности почвы на варианте – СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП+Соп составили – 84 УКЕ, что выше в сравнении с другими вариантами и связано с интенсивным разложением растительных остатков на фоне высоких доз минеральных удобрений. В этот срок на варианте СП+(NPK)<sub>200</sub> + ПП + Соп снижение токсичности почвы до 65 УКЕ связано с положительным влиянием растений пожнивного сидерата на активизацию процессов трансформации растительных остатков в почве агроценоза.

Таким образом, динамика воспроизводства и влияния фитотоксических свойств почвы на рост и развитие растений озимой пшеницей зависела от фаз развития этой культуры, комплекса приемов воспроизводства плодородия почвы, количества и качества растительных остатков предшествующей и сидеральной культуры, а также гидротермических условий в годы проведения исследований.

На рис. 2 показана динамика показателей фитотоксичности почвы под сахарной свеклой. Как видно, величина фитотоксичности почвы определялась, как биологическими особенностями этой культуры в разные фазы роста и развития, так и технологией её возделывания на разных уровнях биологизации агроценозов в изучаемых вариантах опыта.

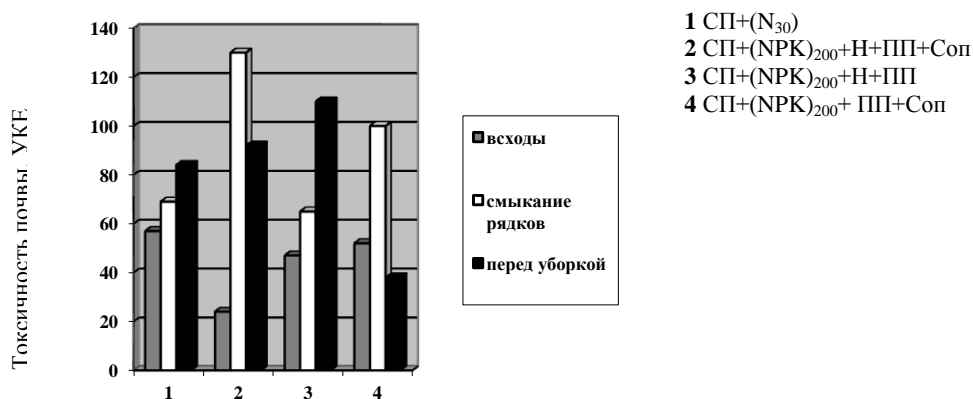


Рис. 2. Динамика фитотоксичности почвы под сахарной свёклой в УКЕ

В первый срок определения фитотоксичности почвы под сахарной свёклой наибольшее ингибирующее действие токсических веществ на прорастание семян тест-культуры установлено на варианте СП+(N<sub>30</sub>) – 57 УКЕ, а минимальные показатели – 24 УКЕ отмечены в почве второго варианта.

Нами установлено [2], что такая разница показателей фитотоксичности почвы по изучаемым вариантам комплексов биологизации агроценозов связана с количественными и качественными изменениями в структуре комплексов микроорганизмов, обеспечивающих трансформацию растительных остатков, возделываемых культур в почве.

В фазе смыкания рядков сахарной свёклы показатели фитотоксичности почвы возрастали на всех вариантах возделывания и особенно с использованием соломы, как источника обогащения почвы органическим веществом. При этом, резкий – до 130 УКЕ рост показателей фитотоксичности почвы отмечен на втором варианте СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП+Соп с внесением навоза, что, на наш взгляд, связано с наступлением более глубокой фазы трансформации растительных остатков в почве. Самые низкие показатели фитотоксичности почвы – 65 УКЕ, в этот срок определения, установлены на варианте СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП, что хорошо согласуется с полученными нами ранее данными по биогенности [2, 3]. Увеличение фитотоксических свойств почвы на варианте СП+(NPK)<sub>200</sub> + Н+ПП до 110 УКЕ перед уборкой культуры указывает на завершающую стадию трансформации растительных остатков с участием корневых выделений растений

сахарной свёклы, а снижение показателей токсичности почвы четвертого варианта – до 38 УКЕ связано со снижением отрицательного действия соломистых растительных остатков в условиях недостаточного увлажнения в этот период роста и развития растений сахарной свёклы.

Как видно из данных, приведенных в диаграмме, заплата соломы озимой пшеницы при совместном внесении минеральных удобрений, навоза и пожнивных сидератов, в засушливые периоды вегетации растений способствовали увеличению показателей фитотоксичности почвы.

В целом приём совместного внесения соломы и пожнивных сидератов в варианте с внесением минеральных удобрений снижал содержание токсических соединений в почве, особенно во влажные периоды вегетации растений. Это указывает на существенное влияние агроклиматических факторов природной среды не только на процессы роста и развития растений, но и биогенные процессы воспроизводства фитотоксических веществ в почве под культурами агроценоза.

На рис. 3 показана динамика фитотоксичности почвы под ячменем в зависимости от уровня применяемых в опыте средств биологизации.



Рис. 3 Динамика фитотоксичности почвы в УКЕ под ячменём

В начале фазы роста и развития ячменя (всходы) воздействие растений на токсические свойства почвы было минимальным и в большей мере определялось влиянием используемых комплексов биологизации и последствием растительных остатков предшествующих культур в стадии разложения. Наибольшая фитотоксичность почвы в начальную фазу роста и развития растений ячменя была отмечена на варианте СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП+Соп. – 59 УКЕ, что указывает на продолжение этапа активного разложения разнокачественного растительного материала внесённого в почву этого варианта. Минимальные показатели фитотоксических свойств почвы в фазу всходов ячменя установлены на варианте с пожнивным посевом сидератов СП+(NPK)<sub>200</sub>+ПП+Соп – 16 УКЕ, что указывает на роль сидеральной культуры в активизации биогенных процессов в почве и снижении её токсических свойств. Воздействие корневых выделений растений на формирование токсических свойств почвы усиливается до достижения ими фазы активного роста и развития.

В наших исследованиях, в фазу активного роста и развития растений ячменя (цветение), отмечалось увеличение токсических свойств почвы на всех исследуемых вариантах за исключением СП+(NPK)<sub>200</sub>+Н+ПП+Соп. При этом наибольшее проявление фитотоксических свойств почвы установлено на варианте СП+(N<sub>30</sub>) – 125УКЕ, что мы объясняем с развитием иммобилизационных процессов, связанных с трансформацией гумусовых соединений с участием токсических форм микроорганизмов. Перед уборкой культуры динамика токсичности почвы по вариантам опыта изменялась. Высокие показатели фитотоксичности почвы сохранялись на первом и четвертом вариантах. Это связано с отсутствием дополнительного внесения органических веществ в первом и наличием среди таковых соломы в четвертом, что обеспечило соответственно развитие процессов трансформации гумусовых веществ и иммобилизацию соединений азота.

Последствие навоза на вариантах его внесения, как показали результаты наших исследований, значительно снижало токсичность почвы под ячменём, по фазам вегетации

растений.

Эспарцет, как культура сидерального пара, является одним из основных факторов биологизации агроценозов в наших исследованиях. Будучи бобовой культурой, эспарцет фиксирует азот атмосферы, высокое содержание которого в растительной и корневой массе, в течение ряда лет оказывает более заметное воздействие на биогенные свойства почвы, в том числе и фитотоксичные, чем чистые и занятые пары.

Показатели фитотоксических свойств почвы под культурой эспарцета, полученные в наших исследованиях, указывают на роль изучаемых факторов биологизации агроценозов в формировании биологических свойств почвы и её фитотоксических показателей.

Наряду с этим необходимо отметить влияние всех предшествующих культур, возделываемых в севообороте, и их растительных остатков на проявление фитотоксических свойств почвы под эспарцетом.

Так, в первый срок определения на контрольном варианте установлены высокие показатели фитотоксичности почвы, что указывает на решающую роль в её формировании растительных остатков ячменя, как предшественника, завершающего звено чередования культур в севообороте.

Действие соломы как источника дополнительного внесения органики в почву варианта СП+(NPK)<sub>200</sub>+ПП+Соп также сказалось на высоком проявлении фитотоксических свойств почвы – 59 УКЕ в сравнении с другими вариантами проведенных в опыте исследований.

В тоже время в почве под эспарцетом последствие навоза на варианте СП + (NPK)<sub>200</sub> + Н + ПП + Соп привело к снижению показателей фитотоксичности до 33 УКЕ.

В начале фазы цветения эспарцета показатели токсичности почвы на всех вариантах, за исключением первого, стабилизировались и были в пределах 100 УКЕ. На варианте СП+(N<sub>30</sub>) они составляли 50 УКЕ и 59 УКЕ перед уборкой.

Такое проявление фитотоксических свойств почвы под растениями эспарцета указывает на её стабилизирующую роль в формировании биологических свойств почвы, показателей её эффективного плодородия и снижении фитотоксического влияния на рост и развитие возделываемых культур.

### **Заключение**

Таким образом, установлено, что фитотоксические свойства почвы являются одним из биогенных факторов плодородия, оказывающих ингибирующее влияние на рост и развитие сельскохозяйственных растений в агроценозах. Сельскохозяйственные культуры, различные по биологии и технологии возделывания по-разному влияют на процессы формирования фитотоксических свойств чернозёмных почв. Наиболее выраженное влияние оказывает ячмень, затем озимая пшеница, после – сахарная свёкла и в меньшей степени эспарцет. Действие комплексов биологизации агроценозов на динамику процессов формирования и проявления фитотоксичных свойств почвы различалось по вариантам исследований, периодам роста и развития полевых культур.

Солома озимой пшеницы при внесении её в почву как дополнительного источника органического вещества повышала фитотоксические свойства почвы и особенно в стартовый период разложения при наличии достаточного количества доступной влаги в почве, а также на более поздних стадиях разложения органического вещества в острозасушливые периоды. Внесение навоза как одного из основных приемов биологизации и повышения биогенности почвы оказывало разное влияние на формирование фитотоксичных свойств почвы по вариантам опыта. При совместном внесении с соломой в первые фазы трансформации органических веществ наблюдалось повышение токсичности почвы. На более глубоких стадиях разложения растительных остатков навоз обеспечивал снижение токсических свойств почвы, интенсифицировал процессы роста и развития растений в агроценозах.

Выявлено, что сидеральные культуры – эспарцет в паровом поле севооборота и горчица

сарептская в пожнивном посеве после озимой пшеницы снижали фитотоксические свойства почвы, проявляли эффект последействия под последующими культурами агроценоза. Токсичность почвы, как правило, возрастала по мере роста и развития возделываемых культур, достигла максимальных показателей в фазы активного роста и развития растений в агроценозах. Влияние минеральных удобрений на фитотоксические свойства почвы проявлялось различным образом. В периоды с недостатком влаги в почве отмечалось повышение показателей фитотоксичности на фоне применения удобрений, а в условиях достаточного увлажнения – снижение.

Токсичность почвы изменялась также и под влиянием гидротермических условий в годы проведения исследований. Она возрастала в засушливые и снижалась во влажные периоды роста и развития сельскохозяйственных культур.

Таким образом, рациональное сочетание изучаемых комплексов биологических приемов воспроизводства плодородия почвы, как и в совокупности так и отдельно с учётом гидротермических условий зоны производства растениеводческой продукции, может в значительной степени снизить интенсивность процессов воспроизводства и проявления фитотоксических свойств почвы, способствовать повышению биологической устойчивости почвенной среды, улучшить экологические условия роста и развития сельскохозяйственных культур, оптимизировать их продуктивность и производительную способность агроэкосистем.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Ахтырцев, Б. П. Изменение гумусного состояния лесостепных и степных черноземов под курганами и при длительной распашке / Б. П. Ахтырцев, А. Б. Ахтырцев // Почвоведение. – 2002. – №2. – С. 140–149.
2. Верзилин, В. В. динамика разложения послеуборочных остатков в черноземе / В. В. Верзилин, Н. И. Придворев, А. В. Дедов // Земледелие. – 2004. – № 4. – С. 16–18.
3. Ганжара, Н. Ф. Состояние органического вещества дерново-подзолистых и черноземных почв при длительном применении удобрений / Н. Ф. Ганжара, Р. Ф. Байбеков, В. В. Верзилин // Тезисы докл. IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск, 2004. – С. 43.
4. Гродзинский, А. М. Аллелопатия растений и почвоутомление / А. М. Гродзинский. – Киев.: Наук. думка, 1991. – С. 432 с.
5. Красильников, Н. А. Микроорганизмы и высшие растения / Н. А. Красильников. – М., Изд. МГУ, 1988. – С. 458.
6. Мирчинк, Т. Г. Почвенная микология / Т. Г. Мирчинк. – М., Изд. МГУ, 1988. – С. 220.