

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.41:631.51.01
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-102-107

Содержание микроэлементов в почве в зависимости от способа основной обработки чернозема типичного

Дмитрий В. Дубовик, Елена В. Дубовик, Александр В. Шумаков, Борис С. Ильин

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр», Курск, Россия

Контактное лицо

Дмитрий В. Дубовик, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр» (ФГБНУ «Курский ФАНЦ»); 305021 Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 706.
Тел. +79611670293
Email dubovikdm@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1585-6990>

Формат цитирования

Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Шумаков А.В., Ильин Б.С. Содержание микроэлементов в почве в зависимости от способа основной обработки чернозема типичного // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 3. С. 102-107. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-102-107

Получена 13 апреля 2020 г.
Прошла рецензирование 14 декабря 2020 г.
Принята 26 апреля 2021 г.

Резюме

Цель – определение уровня содержания микроэлементов в черноземе типичном при использовании различных систем основной обработки почвы.

Материал и методы. Использованы системный, химический, сравнительно-аналитический, полевой, лабораторный и статистический методы исследования, а также программные пакеты Microsoft Excel, Statistica. Изучены следующие варианты основной обработки почвы – вспашка с оборотом пласта (20-22 см); комбинированная обработка (дискование+чизель) (20-22 см); поверхностная обработка (дискование) (8-10 см); без обработки (прямой посев) – No-till, по уровню их влияния на изменение содержания в почве подвижных форм Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Pb, Cd.

Результаты. Установлены особенности изменения содержания подвижных форм микроэлементов при использовании различных способов основной обработки почвы, применяемых систематически. Выявлена дифференциация содержания микроэлементов в почве по глубине обрабатываемого слоя, особенно в вариантах с крайне противоположными системами основной обработки почвы – вспашкой и прямым посевом (No-till). При вспашке аккумуляция Zn, Mn, Co, Ni, Pb происходит в слое почвы 10-20 см. При прямом посеве накопление микроэлементов наблюдается в слое 0-10 см.

Выводы. Изучаемые способы основной обработки почвы не способствовали накоплению в них микроэлементов в дозах превышающих ПДК и не приводили к загрязнению почвы. Выявленные особенности накопления и распределения микроэлементов в зависимости от используемого способа основной обработки почвы дают возможность регулирования их количества с целью повышения уровня содержания биогенных элементов, для улучшения питания сельскохозяйственных культур, и контроля тяжелых металлов для предотвращения загрязнения почвы и растений.

Ключевые слова

Микроэлементы, чернозем типичный, вспашка, комбинированная обработка, поверхностная обработка, без обработки почвы.

Content of trace elements in the soil of typical chernozem depending on methods of primary tillage

Dmitriy V. Dubovik, Elena V. Dubovik, Alexander V. Shumakov and Boris S. Ilyin

Federal Agricultural Kursk Research Centre, Kursk, Russia

Principal contact

Dmitriy V. Dubovik, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Federal Agricultural Kursk Research Centre; 70b Karl Marx St, Kursk, Russia 305021. Tel. +79611670293

Email dubovikdm@yandex.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-1585-6990>

How to cite this article

Dubovik D.V., Dubovik E.V., Shumakov A.V., Ilyin B.S. Content of trace elements in the soil of typical chernozem depending on methods of primary tillage. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 3, pp. 102-107. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-102-107

Received 13 April 2020

Revised 14 December 2020

Accepted 26 April 2021

Abstract

Aim. To determine the level of trace elements in typical chernozem when using different systems of primary tillage.

Materials and Methods. In the study systemic, chemical, comparative-analytical, field, laboratory and statistical methods were used and software packages Microsoft Excel and Statistica software packages. The following methods of primary tillage: moldboard plowing 20-22 cm deep, combined tillage (disking+chisel) 20-22 cm, surface tillage (disking) 8-10 cm and without tillage (direct seeding) – No-till were studied for the level of their impact on the change in the content in the soil of the mobile forms of Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Pb and Cd.

Results. Specific features of changes in the content of the mobile forms of trace elements when systematically using different systems of primary tillage were determined. Differentiation of the content of trace elements in the soil according to the depth of the treated soil layer was identified, especially in the variants with extremely opposite systems of primary tillage, i.e. plowing and No-till. When plowing is used the accumulation of Zn, Mn, Co, Ni, Pb occurs in the 10-20 cm soil layer. When No-till is used the accumulation of trace elements is observed in the 0-10 layer.

Conclusion. Methods of tillage under study did not contribute to the accumulation of trace elements in the soil in doses exceeding MAC and did not result in soil contamination. The peculiarities identified of the accumulation and distribution of trace elements depending on the method of primary tillage used give the opportunity to regulate their amount in order to raise the level of nutrient content, to improve the nutrition of crops and to control heavy metals to prevent contamination of soil and plants.

Key Words

Trace elements, typical chernozem, plowing, combined tillage, surface tillage, No-till.

ВВЕДЕНИЕ

В современных агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур на основную обработку почвы приходится значительная часть затрат. Сельхозтоваропроизводители стремясь сократить производственные затраты стараются перейти на системы, предусматривающие минимизацию обработки почвы. В связи с этим системы основной обработки почв претерпели значительную эволюцию, направленную на сокращение глубины обработки, вплоть до полного отказа от обработки почвы - No-till [1]. Споры о преимуществах и недостатках технологии No-till или прямого посева в России ведутся достаточно давно [2; 3]. С одной стороны, систематический прямой посев, при полном отказе от какой-либо обработки почвы предотвращает развитие эрозионных процессов, способствует сохранению органического вещества почвы, улучшает микробиологическое состояние почвы, снижает эмиссию CO₂ в атмосферу [4-6]. С другой стороны, отмечается уплотнение почвы, увеличивается пестицидная нагрузка за счет увеличения количества сорных растений и вредителей, возникают проблемы внесения минеральных, органических удобрений и мелиорантов [7-9]. Одним из аспектов применения технологии No-till может являться уровень содержания микроэлементов в почве при ее постоянном использовании. К сожалению, исследований по изменению содержания микроэлементов в почве в зависимости от используемых способов основной обработки почвы немного [10-12]. Поскольку от уровня содержания микроэлементов в почве в значительной мере зависит и их содержание в сельскохозяйственной продукции, этот вопрос представляется довольно актуальным.

Цель исследований определить уровень содержания микроэлементов в черноземе типичном при использовании различных систем основной обработки почвы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в полевом стационарном опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ» по изучению эффективности способов основной обработки почвы (начат в 2015 г.), в четырехпольном зерновом севообороте. Опыт расположен в Курской области, Курский район, п. Черемушки.

Схема опыта включала следующие варианты: 1 вариант – вспашка с оборотом пласта (20-22 см); 2 вариант – комбинированная обработка (дискование + чизель) (20-22 см); 3 вариант – поверхностная обработка (дискование) (8-10 см); 4 вариант – без обработки (прямой посев) – No-till. Способы обработки почвы применялись систематически для каждого варианта.

Варианты в полевом опыте размещались систематически в один ярус. Площадь посевной делянки 6000 м² (60×100). В севообороте было следующее чередование культур: горохо-овсяная смесь – озимая пшеница – кукуруза – ячмень. Отбор образцов проводился после уборки озимой пшеницы.

Почва опытного участка – чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый. Среднее содержание гумуса в пахотном слое составляет 5,40-5,51%, подвижного фосфора (по Чирикову) – 15,7-19,3 мг/100 г, обменного калия (по Чирикову) – 10,8-11,7 мг/100

почвы. Реакция почвенной среды слабо кислая (рН 5,3-5,6).

Содержание подвижных соединений микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Pb, Cd) определяли в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) рН 4,8, соотношение почва – раствор 1:10 [13]. Все определения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30.

Методологической основой являлись концепции внутренней неоднородности и эволюционного развития почвенного покрова под воздействием естественных и антропогенных факторов. В работе использованы системный, химический, сравнительно-аналитический, полевой, лабораторный и статистический методы исследования. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Понятие микроэлементы не имеет строгого определения. Оно применяется как к химическим элементам, распространенность которых в земной коре составляет менее 0,1%, так и к тем, что присутствуют в живом веществе в очень малых количествах. С точки зрения экологии более распространен термин тяжелые металлы. Многие элементы, такие как медь, цинк, марганец, кобальт, участвуя в биологических процессах в определенных количествах, являются необходимыми для жизнедеятельности растений, животных и человека микроэлементами. С другой стороны, при определенной концентрации, становясь токсичными для живых организмов, могут оказывать вредное воздействие на живые объекты [14].

В связи с этим в работе изучаемые элементы были разделены на биогенные микроэлементы - медь, цинк, марганец, кобальт и токсичные элементы – никель, свинец, кадмий. Для первой группы, помимо их предельно допустимой концентрации (ПДК) рассматривался уровень обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов. Для второй группы – ПДК.

В результате исследований установлено, что содержание подвижной меди в почве в зависимости от способа основной обработки почвы существенно не различалось (табл. 1). При этом можно отметить, что при использовании поверхностной обработки и системы No-till, в слое почвы 0-10 см количество подвижной меди было выше, чем в слое 10-20 см. При глубокой обработке дифференциации между почвенными слоями не наблюдается. В целом содержание подвижной меди в почве характеризуется как низкое [13].

Такая особенность распределения меди, очевидно, связана с изменением содержания гумуса в почве при различных способах основной обработки, а также уровнем кислотности почвы (табл. 2). Как известно, медь легко связывается органическим веществом почвы, образуя растворимые или нерастворимые комплексы и способность к растворимости, зависит от состава органического вещества. Кроме того, подвижность меди увеличивается при подкислении почвенного раствора [14]. Это подтверждается наличием положительной корреляционной связи между содержанием меди и гумуса в почве, и отрицательной связью между содержанием меди и величиной рН, а также обменным кальцием (табл. 3).

Таблица 1. Содержание в почве микроэлементов в зависимости от способа основной обработки почвы**Table 1.** Content of trace elements in the soil depending on primary tillage methods

Способ обработки почвы Tillage method	Слой почвы, см Soil layer, cm	Содержание микроэлементов, мг/кг Content of trace elements, mg/kg						
		Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Pb	Cd
Вспашка Plowing	0-10	0,07	1,9	16,2	0,23	1,41	1,39	0,20
	10-20	0,08	2,5	18,7	0,44	1,57	1,48	0,21
Комбинированная Combined tillage	0-10	0,03	2,1	18,5	0,29	1,27	1,51	0,18
	10-20	0,03	2,0	12,5	0,21	1,14	1,35	0,19
Поверхностная Surface tillage	0-10	0,06	1,6	18,6	0,32	1,21	1,71	0,15
	10-20	0,02	1,5	13,7	0,31	1,20	1,09	0,14
Без обработки No-till	0-10	0,08	1,4	16,7	0,29	1,03	1,45	0,16
	10-20	0,06	1,0	13,0	0,26	0,89	1,26	0,10
НСР₀₅ LSD ₀₅	обработка tillage	0,05	0,8	4,0	0,15	0,31	0,66	0,07
	слой layer	0,03	0,4	3,1	0,21	0,22	0,46	0,05
ПДК / MAC		3,00	23,0	80,0	5,00	4,00	6,00	1,00

Таблица 2. Показатели почвенного плодородия в зависимости от способа основной обработки почвы**Table 2.** Indexes of soil fertility depending on primary tillage methods

Способ обработки почвы Tillage method	Слой почвы, см Soil layer, cm	Гумус, % Humus, %	pH _{KCl}	Ca ²⁺ , мг-экв/100 г Ca ²⁺ , me/100 g
Вспашка Plowing	0-10	5,38	5,8	22,2
	10-20	5,54	5,3	21,8
Комбинированная Combined tillage	0-10	5,60	5,7	22,2
	10-20	5,21	5,5	22,7
Поверхностная Surface tillage	0-10	5,67	5,5	22,7
	10-20	5,35	5,3	23,1
Без обработки No-till	0-10	5,58	5,2	21,8
	10-20	5,34	5,3	22,7

В среднем обеспеченность почвы подвижным цинком при использовании глубоких способов основной обработки почвы (вспашка и комбинированная) оценивается как средняя, тогда как при поверхностной обработке и прямом посеве – как низкая. При этом наблюдается дифференциация по пахотному слою, особенно в крайних вариантах – вспашке и прямом посеве (табл. 1). На вспашке в слое 10-20 см содержание подвижного цинка выше в 2,5 раза, чем на

No-till, и в 1,6 раза, чем при поверхностной обработке. В целом при использовании прямого посева содержание подвижного цинка в почве было наименьшим. Это может быть связано с более кислой pH на варианте No-till. Доступность цинка растениям может повышаться при низких значениях pH за счет кислотного выщелачивания, что приводит к усиленному выносу его из почвы.

Таблица 3. Корреляционные связи между содержанием в почве микроэлементов и показателями почвенного плодородия**Table 3.** Correlational relations between the content of trace elements and soil fertility indexes

Микроэлементы Trace elements	Гумус Humus	pH _{KCl}	Ca ²⁺
Cu	0,40	-0,21	-0,72
Zn	0,38	0,15	-0,46
Mn	0,22	0,91	-0,62
Co	-0,42	0,56	-0,38
Ni	0,39	0,24	-0,41
Pb	0,29	0,76	-0,46
Cd	0,45	0,09	-0,57

Обеспеченность почвы подвижным марганцем по всем изучаемым способам основной обработки почвы была средняя. При этом разница в содержании марганца в слое почвы 0-10 см между различными способами основной обработки была незначительная и варьировала от 0,5 до 2,4 мг/кг (табл. 1). В слое почвы

10-20 см при отвальной вспашке содержание подвижного марганца было существенно выше на 5,0-6,2 мг/кг по сравнению с другими изучаемыми способами обработки. Это связано с заделкой верхнего слоя почвы, содержащего пожнивно-корневые остатки и распределением их по всему пахотному слою, тогда

как при других способах обработки почвы основная масса растительных остатков распределена в верхнем слое. Также, усиление окислительных условий в слое почвы 10-20 см, при поверхностных обработках, способствует снижению подвижности марганца.

По уровню обеспеченности подвижным кобальтом почва характеризуется как средняя. Между способами основной обработки почвы существенных различий по содержанию кобальта не выявлено (табл. 1). На вспашке отмечается увеличение в 1,9 раза содержания кобальта в слое 10-20 см по сравнению с верхним слоем 0-10 см. При использовании остальных изучаемых способов обработки почвы отмечается тенденция к снижению количества кобальта в нижнем слое почвы. Такой характер распределения кобальта в почве может быть связан с содержанием марганца, так как известно, что оксиды марганца обладают высокой избирательной способностью к адсорбции кобальта. Это подтверждается заметной корреляционной связью между содержанием марганца и кобальта в изучаемой почве – $r=0,62$.

Для рассмотренных выше биогенных элементов уровень их содержания в почве был значительно ниже их ПДК.

Такие металлы как никель, свинец и кадмий традиционно принято относить к группе поллютантов – тяжелых металлов.

Изменение содержания подвижного никеля в почве в зависимости от способа основной обработки имело следующие закономерности. Наиболее высокое содержание никеля в среднем в пахотном слое отмечается при вспашке – 1,49 мг/кг. Наименьшее количество никеля было при прямом посеве – 0,96 мг/кг. Имеется тенденция к аккумуляции никеля в верхнем слое 0-10 см при минимизации обработки почвы и в слое 10-20 см при отвальной обработке. Очевидно, такой характер распределения никеля в почве связан с содержанием органического вещества в почве, поскольку в верхних горизонтах никель главным образом представлен органически связанными легкорастворимыми хелатными формами. Отмечается умеренная корреляционная связь между содержанием в почве никеля и гумуса (табл. 3).

Содержание подвижного свинца существенно не изменялось от способа основной обработки почвы (табл. 1). В среднем его содержание в почве колебалось от 1,09 до 1,71 мг/кг. Закономерности распределения в почве свинца повторяли характер распределения других элементов, особенно марганца – $r=0,79$. Это объясняется большой склонностью оксидов марганца к сорбции свинца.

Количество подвижного кадмия в почве в зависимости от способа основной обработки значительно не изменялось. Но можно отметить, что при использовании прямого посева его содержание было наименьшим – 0,10-0,16 мг/кг (табл. 1). При использовании в качестве способа основной обработки вспашки имеется тенденция к повышению содержания подвижного кадмия в почве до 0,20-0,21 мг/кг.

Необходимо отметить, что содержание в почве никеля, свинца и кадмия было значительно ниже уровня ПДК.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведенных исследований можно отметить, что изучаемые способы основной обработки почвы не способствовали накоплению в них микроэлементов в дозах

превышающих ПДК и не приводили к загрязнению почвы.

Наблюдается дифференциация содержания микроэлементов в почве по глубине обрабатываемого слоя, особенно в вариантах с крайне противоположными системами основной обработки почвы – вспашкой и прямым посевом (No-till). При вспашке аккумуляция цинка, марганца, кобальта, никеля, свинца происходит в слое почвы 10-20 см. При прямом посеве накопление микроэлементов наблюдается в слое 0-10 см.

По содержанию подвижной меди почвы относятся к низко обеспеченным, подвижными марганцем и кобальтом к средне обеспеченным при всех рассмотренных способах основной обработки. Применение вспашки способствовало повышению уровня обеспеченности почв цинком до среднего, по остальным способам обработки обеспеченность цинком характеризуется как низкая.

Выявленные особенности накопления и распределения микроэлементов в зависимости от используемого способа основной обработки почвы дают возможность регулирования их количества с целью повышения уровня содержания биогенных элементов, для улучшения питания сельскохозяйственных культур, и контроля тяжелых металлов для предотвращения загрязнения почвы и растений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюшин В.И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // Земледелие. 2019. N 3. С. 3-7. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10301
2. Дридигер В.К. О методике исследований технологии No-till // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. N 4. С. 30-32.
3. Черкасов Г.Н., Пыхтин И.Г., Гостев А.В. Ареал применения нулевых и поверхностных обработок при возделывании колосовых культур на территории Европейской части Российской Федерации // Земледелие. 2017. N 2. С. 10-13.
4. Zavalin A.A., Dridiger V.K., Belobrov V.P., Yudin S.A. Nitrogen in Chernozems under Traditional and Direct Seeding Cropping Systems: A Review // Eurasian Soil Science. 2018. V. 51. N 12. P. 1497-1506. DOI: 10.1134/S1064229318120141
5. Sharkov I.N., Samokhvalova L.M., Mishina P.V. Transformation of soil organic matter in leached chernozems under minimized treatment in the forest-steppe of West Siberia // Eurasian Soil Science. 2016. V. 49. N 7. P. 824-830. DOI: 10.1134/S1064229316070097
6. Soane B., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // Soil and Tillage Research. 2012. V. 118. P. 66-87. DOI: 10.1016/j.still.2011.10.015
7. Вольтерс И.А., Власова О.И., Трубочева Л.В., Передериева В.М., Дорошко Г.Р. Влияние традиционной технологии возделывания и прямого посева полевых культур на агрофизические факторы почвенного плодородия чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения // Агрофизика. 2018. N 4. С. 24-30. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.04.04
8. Trofimova T.A., Korzhov S.I., Gulevskii V.A., Obratsov V.N. Assessing the Degree of Physical Degradation and Suitability of Chernozems for the Minimization of Basic

- Tillage // *Eurasian Soil Science*. 2018. V. 51. N 9. P. 1080-1085. DOI: 10.1134/S1064229318090120
9. Хасанова Г.Р., Сафин Х.М., Ямалов С.М. Оценка уровня засоренности агрофитоценозов при системе нулевой обработки почв (No-till) // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. N 11. С. 26-30.
10. Смуров С.И., Григоров О.В., Шелухина Н.В. Влияние способов основной обработки почвы на содержание тяжелых металлов в почве // *Земледелие*. 2014. N 8. С. 16-17.
11. Смуров С.И., Агафонов Г.С., Григоров О.В., Шелухина Н.В. Влияние способов основной обработки почвы на содержание микроэлементов // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. N 5. С. 5-7.
12. Чуркина Г.Н. Экологическая оценка ноу-тилл технологии в Северном Казахстане // *Владимирский земледелец*. 2016. N 2. С. 13-17.
13. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. и др. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.
14. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

REFERENCES

1. Kiryushin V.I. Actual problems and contradictions of the agriculture development. *Zemledelie*, 2019, no. 3, pp. 3-7. (In Russian) DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10301
2. Dridiger V.K. About methods of research of No-till technology. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. 2016, vol. 30, no. 4, pp. 30-32. (In Russian)
3. Cherkasov G.N., Pykhtin I.G., Gostev A.V. Areal of application of zero and surface tillage in the cultivation of cereal crops in the European part of the Russian Federation. *Zemledelie* [Zemledelie]. 2017, no. 2, pp. 10-13. (In Russian)
4. Zavalin A.A., Dridiger V.K., Belobrov V.P., Yudin S.A. Nitrogen in Chernozems under Traditional and Direct Seeding Cropping Systems: A Review. *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 12, pp. 1497-1506. DOI: 10.1134/S1064229318120141
5. Sharkov I.N., Samokhvalova L.M., Mishina P.V. Transformation of soil organic matter in leached chernozems under minimized treatment in the forest-

- steppe of West Siberia. *Eurasian Soil Science*, 2016, vol. 49, no. 7, pp. 824-830. DOI: 10.1134/S1064229316070097
6. Soane B., Ball B., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 2012, vol. 118, pp. 66-87. DOI: 10.1016/j.still.2011.10.015
7. Walters I.A., Vlasova O.I., Trubacheva L.V., Perederieva V.M., Dorozhko G.R. Impact of crop management on agrophysical factors of soil fertility of ordinary chernozem in unstable moistening zone. *Agrophysics*, 2018, no. 4, pp. 24-30. (In Russian) DOI: 10.25695/AGRPH.2018.04.04
8. Trofimova T.A., Korzhov S.I., Gulevskii V.A., Obratsov V.N. Assessing the Degree of Physical Degradation and Suitability of Chernozems for the Minimization of Basic Tillage. *Eurasian Soil Science*, 2018, vol. 51, no. 9, pp. 1080-1085. DOI: 10.1134/S1064229318090120
9. Khasanova G.R., Safin Kh.M., Yamalov S.M. Estimation of infestation level of agrophytocenosis at the zero system of tillage (No-till). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. 2017, vol. 31, no. 11, pp. 26-30. (In Russian)
10. Smurov S.I., Grigorov O.V., Shelukhina N.V. Influence of the basic soil cultivation on contents of heavy metals in soil. *Zemledelie* [Zemledelie]. 2014, no. 8, pp. 16-17. (In Russian)
11. Smurov S.I., Agafonov G.S., Grigorov O.V., Shelukhina N.V. The influence of the main ways of tillage on content of microelements. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. 2014, no. 5, pp. 5-7. (In Russian)
12. Churkina G.N. Ecological assessment of No-till technology in Northern Kazakhstan. *Vladimirskiy zemledelets* [Vladimir agriculturalist]. 2016, no. 2, pp. 13-17. (In Russian)
13. Mineev V.G., Sychev V.G., Amelyanchik O.A. et al. *Praktikum po agrokhimii* [Workshop on agrochemistry]. Moscow, Kolos Publ., 2001, 689 p. (In Russian)
14. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010, 548 p.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Дмитрий В. Дубовик разработка концепции исследования, редакция рукописи; Елена В. Дубовик анализ и обработка полученных данных, анализ литературы; Александр В. Шумаков закладка и ведение полевого опыта; Борис С. Ильин отбор проб почвы, подготовка к анализу. Все авторы участвовали в сборе и обработке материала, подготовке рукописи. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Dmitriy V. Dubovik developed the concept of the research and edited the manuscript. Elena V. Dubovik analysed and processed data and analysed the literature. Alexander V. Shumakov laid and conducted field experiments. Boris S. Ilyin undertook soil sampling and preparation for analysis. All the authors participated in the collection and processing of the material and preparation of the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Дмитрий В. Дубовик / Dmitriy V. Dubovik <http://orcid.org/0000-0002-1585-6990>
 Елена В. Дубовик / Elena V. Dubovik <http://orcid.org/0000-0001-5999-9718>
 Александр В. Шумаков / Alexander V. Shumakov <http://orcid.org/0000-0002-8620-7816>
 Борис С. Ильин / Boris S. Ilyin <http://orcid.org/0000-0002-7423-258X>