



Научная статья

УДК 633.16:631.81.033:631.51.01

doi: 10.55186/25876740_2023_66_5_518

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЯРОВОМ ЯЧМЕНЕ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Е.В. Дубовик, Д.В. Дубовик

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

Аннотация. В условиях Курской области (2020-2022 гг.) проведены исследования по влиянию способов основной обработки почвы: вспашка, комбинированная, поверхностная обработка, прямой посев на содержание тяжелых металлов (ТМ) в почве и растениях ячменя. Установлено, что содержание валовой формы ТМ в почве не зависело от способа основной обработки почвы. При прямом посеве, относительно вспашки, отмечается повышение подвижных форм никеля (на 0,21 мг/кг) и кадмия (на 0,15 мг/кг). Превышения ПДК в почве валовых и подвижных форм ТМ не наблюдается. При минимизации обработки происходит снижение содержания никеля в корнях на 0,10-1,17 мг/кг, с минимумом при прямом посеве. При уменьшении глубины обработки почвы проявляется тенденция к повышению содержания никеля в соломе ячменя (на 0,06-0,33 мг/кг). Существенных различий по количеству никеля в зерне, в зависимости от способа обработки, не отмечается. Наиболее высокая концентрация свинца характерна для корней растений, при наименьшем содержании на вспашке и прямом посеве. При переходе на комбинированную и поверхностную обработки происходит снижение количества свинца в соломе по сравнению со вспашкой на 0,27 и 0,37 мг/кг соответственно, а при прямом посеве — рост на 0,10-0,20 мг/кг. Имеется тенденция к повышению количества свинца в зерне при поверхностной обработке на 0,10-0,20 мг/кг. Содержание кадмия в корнях при прямом посеве ниже на 0,06-0,15 мг/кг, соломе — на 0,03-0,04 мг/кг, чем при других способах обработки почвы. Наименьшее содержание кадмия в зерне характерно при прямом посеве, а более высокое при поверхностной обработке. Превышения ПДК ТМ в зерне ячменя нет. Наиболее высокие коэффициенты биологического поглощения никеля и кадмия характерны для зерна, свинца — для корней ячменя. При прямом посеве наблюдается снижение коэффициентов биологического поглощения кадмия всеми частями растений ячменя.

Ключевые слова: яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), обработка почвы, прямой посев, никель, свинец, кадмий, биологическое поглощение

Original article

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SPRING BARLEY WHILE MINIMIZING THE MAIN TILLAGE

E.V. Dubovik, D.V. Dubovik

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

Abstract. In the conditions of the Kursk region (2020-2022) studies were conducted on the influence of the methods of basic tillage: plowing, combined, surface treatment, direct sowing on the content of heavy metals (TM) in the soil and barley plants. It was found that the content of the gross form of TM in the soil did not depend on the method of basic tillage. With direct sowing, relative to plowing, there is an increase in the mobile forms of nickel (by 0.21 mg/kg) and cadmium (by 0.15 mg/kg). There is no excess of MPC in the soil of gross and mobile forms of TM. When processing is minimized, the nickel content in the roots decreases by 0.10-1.17 mg/kg, with a minimum during direct sowing. With a decrease in the depth of tillage, there is a tendency to increase the nickel content in barley straw (by 0.06-0.33 mg/kg). There are no significant differences in the amount of nickel in the grain, depending on the processing method. The highest concentration of lead is characteristic of plant roots, with the lowest content on plowing and direct sowing. When switching to combined and surface treatment, the amount of lead in straw decreases by 0.27 and 0.37 mg/kg, respectively, compared with plowing, and with direct sowing, an increase of 0.10-0.20 mg/kg. There is a tendency to increase the amount of lead in grain during surface treatment by 0.10-0.20 mg/kg. The cadmium content in the roots during direct sowing is lower by 0.06-0.15, straw by 0.03-0.04 mg/kg than with other methods of tillage. The lowest content of cadmium in grain is typical for direct sowing, and higher for surface treatment. There is no excess of MPC TM in barley grain. The highest coefficients of biological absorption of nickel and cadmium are characteristic of grain, lead — for barley roots. With direct sowing, there is a decrease in the coefficients of biological absorption of cadmium by all parts of barley plants.

Keywords: spring barley (*Hordeum vulgare* L.), tillage, direct sowing, nickel, lead, cadmium, biological absorption

Введение. При возрастающей интенсификации сельскохозяйственного производства довольно остро встает вопрос экологической безопасности получаемой растениеводческой продукции. Одним из показателей качества основной продукции растениеводства — зерна, является содержание тяжелых металлов, представляющих опасность для здоровья людей и животных [1]. Среди зерновых культур, зерно которых используется как для производства продуктов питания человека, так и для кормов сельскохозяйственных животных, значимое место занимает яровой ячмень [2]. Поэтому изучение уровня накопления растениями ячменя тяжелых металлов довольно актуально.

Поступление тяжелых металлов в растения, в первую очередь, обусловлено их запасом в почве, скоростью десорбции из твердых фаз в жидкие, концентрацией в почвенном растворе [3]. Данные процессы тесно связаны

с физико-химическими свойствами почвы [4], на которые непосредственное влияние оказывают используемые агротехнические приемы [5]. Среди агротехнических приемов можно выделить способ обработки почвы. Одним из факторов выбора того или иного способа обработки почвы является уровень его воздействия на изменение агрофизических, агрохимических и биологических свойств почвы [6, 7]. При этом в последнее время получает распространение технология прямого посева, характеризующаяся отсутствием механической обработки [8, 9].

Изменение свойств и режимов почв под воздействием применяемого способа обработки оказывает влияние на изменение содержания тяжелых металлов в почве [10] и уровень их накопления растениями [11].

Данных о влиянии способа основной обработки почвы на содержание тяжелых металлов в почве и накопление их ячменем очень мало

и, зачастую, они противоречивы. Поэтому возникает необходимость оценки степени влияния основной обработки почвы на накопление яровым ячменем ряда тяжелых металлов.

Цель исследований — оценить уровень накопления яровым ячменем никеля, свинца и кадмия в зависимости от способа основной обработки почвы.

Объекты и методы. Исследования проведены на опытном поле Курского федерального аграрного научного центра (Курская область, Курский район, п. Черемушки) в 2020-2022 гг. в четырехпольном севообороте, развернутом в пространстве и времени, со следующим чередованием культур: горох — озимая пшеница — соя — яровой ячмень.

Схема опыта включала следующие варианты: вспашка с оборотом пласта на глубину 20-22 см; комбинированная обработка (дискование на 8-10 см + чизелевание на 20-22 см);



поверхностная обработка (дискование до 8 см); прямой посев (без обработки почвы) с использованием сеялки прямого посева Дон 114. Варианты в полевом опыте размещали систематически в один ярус. Площадь посевной делянки 6000 м² (60×100 м), повторность трехкратная.

Исследования проведены во второй ротации севооборота на полях с посевами ярового ячменя. Технология возделывания ярового ячменя по вариантам была общепринятая для региона, за исключением различий в основной обработке почвы. Сорт ярового ячменя — Суздалец, предшественник — соя.

Почва опытного участка — чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый. Среднее содержание гумуса в пахотном слое составляет 5,1%, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) — 190 и 136 мг/кг соответственно. Реакция почвенной среды слабокислая (рН_{KCl} = 5,3 ед.).

Валовое содержание тяжелых металлов (Ni, Pb, Cd) определяли методом спекания почвы с карбонатом натрия, дальнейшей обработкой HNO₃ (1:1) и H₂O₂ (конц.) с атомно-абсорбционным окончанием [12]. Содержание подвижных соединений микроэлементов определяли в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) рН 4,8, соотношение почва:раствор — 1:10. Содержание микроэлементов в растениях проводили по методу сухого озоления и кислотного сжигания (мокрого озоления) [13]. Все определения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-3.

Статистическую обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение. Содержание валовой формы тяжелых металлов в почве не зависело от способа основной обработки почвы. Количество никеля было ниже кларка (К) почвы (K=40 мг/кг) [14] в среднем в 1,7 раза, свинца (K=20 мг/кг) — ниже в 1,6 раза, что свидетельствует о рассеянии этих элементов (табл. 1). Содержание валового кадмия превышало кларк почвы (K=0,4 мг/кг) в 1,9 раза, что говорит о концентрации данного элемента. При этом содержание валовой формы тяжелых металлов не превышало ПДК ни по одному из изучаемых элементов.

Содержание подвижной формы тяжелых металлов при минимизации обработки почвы имело тенденцию к повышению (табл. 1). Так, количество подвижного никеля при переходе от вспашки к комбинированной обработке повышалось на 0,13 мг/кг, поверхностной обработке — на 0,17 мг/кг, прямому посеву — на 0,21 мг/кг. Как видно из данных таблицы 1, повышение содержания подвижного никеля при прямом посеве, по сравнению со вспашкой, было существенным. В отношении количества подвижного свинца можно отметить лишь тенденцию к его увеличению при снижении глубины обработки почвы на 0,02-0,05 мг/кг. Содержание подвижного кадмия значимо увеличивалось при прямом посеве по сравнению с остальными изучаемыми способами обработки — на 0,15-0,16 мг/кг. Можно отметить, что превышение уровня ПДК для подвижной формы тяжелых металлов не наблюдается.

Для изучения характера накопления тяжелых металлов яровым ячменем было оценено их содержание в корнях, соломе и зерне растений при различных способах основной обработки почвы (табл. 2).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в почве (среднее за 2020-2022 гг.)
Table 1. Content of heavy metals in soil (average for 2020-2022)

Обработка почвы	Содержание тяжелых металлов, мг/кг		
	Ni	Pb	Cd
Валовые формы			
Вспашка	23,31	12,02	0,79
Комбинированная	24,63	12,46	0,77
Поверхностная	24,07	12,36	0,83
Прямой посев	24,70	12,46	0,84
НСР ₀₅	1,55	0,83	0,18
ПДК [15]	40,0	65,0	2,0
Подвижные формы			
Вспашка	0,73	0,77	0,59
Комбинированная	0,86	0,79	0,58
Поверхностная	0,90	0,82	0,59
Прямой посев	0,94	0,81	0,74
НСР ₀₅	0,20	0,17	0,12
ПДК [16]	4,0	6,0	1,0

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в сухом веществе растений ячменя (среднее за 2020-2022 гг.)
Table 2. The content of heavy metals in the dry matter of barley plants (average for 2020-2022)

Обработка почвы	Содержание тяжелых металлов, мг/кг		
	Ni	Pb	Cd
Корни			
Вспашка	15,60	9,20	0,74
Комбинированная	15,50	10,03	0,72
Поверхностная	14,77	9,93	0,81
Прямой посев	14,43	9,03	0,66
НСР ₀₅	0,54	0,78	0,15
Солома			
Вспашка	1,77	0,97	0,34
Комбинированная	2,03	0,70	0,34
Поверхностная	2,04	0,60	0,35
Прямой посев	2,10	0,80	0,31
НСР ₀₅	0,60	0,33	0,08
Зерно			
Вспашка	2,20	0,50	0,20
Комбинированная	2,27	0,50	0,24
Поверхностная	2,20	0,70	0,26
Прямой посев	2,27	0,60	0,18
НСР ₀₅	0,61	0,22	0,07
ПДК	3,0	5,0	0,30

Наиболее высокая концентрация никеля отмечается в корнях ячменя, что обусловлено активной абсорбцией растворимых форм этого элемента корнями растений [17]. При этом наименьшее количество никеля было при прямом посеве, а наибольшее при вспашке. Можно отметить постепенное снижение содержания никеля в корнях при минимизации обработки. Так, по сравнению со вспашкой его количество уменьшилось при комбинированной обработке на 0,10 мг/кг, поверхностной обработке — на 0,83 мг/кг, прямом посеве — на 1,17 мг/кг.

Содержание никеля в соломе было в среднем в 7,6 раза ниже, чем в корнях. При этом наименьшее количество отмечается при вспашке. При уменьшении глубины обработки почвы проявляется тенденция к повышению содержания никеля в соломе ячменя (на 0,06-0,33 мг/кг). Очевидно, это связано с большей фиксацией никеля корнями растений при более глубоких обработках, что подтверждается высокой обратной корреляционной связью (r=-0,74).

Содержание никеля в зерне ячменя в среднем было ниже, чем в корнях в 6,7 раза, и выше, чем в соломе в 1,1 раза. Существенных различий по количеству этого элемента в зерне, в зависимости от способа обработки, не отмечается. Содержание никеля в зерне не превышало ПДК.

Содержание свинца в растениях ячменя характеризовалось следующими особенностями. Наиболее высокая концентрация свинца характерна для корней растений. Это связано с тем, что свинец в основном поглощается корневыми волосками и задерживается в стенках клеток, поэтому перемещение свинца из корней в надземную часть весьма ограничено [4]. Отмечается его наименьшее содержание при крайние противоположных способах основной обработки почвы — вспашке и прямом посеве. При комбинированной обработке происходит увеличение концентрации свинца в корнях на 0,83 мг/кг по сравнению со вспашкой и на 1,00 мг/кг по сравнению с прямым посевом. При поверхностной обработке, хотя и отмечается тенденция



к снижению свинца в корнях на 0,10 мг/кг относительно комбинированной обработки, его количество превосходит вспашку и прямой посев на 0,73 и 0,90 мг/кг соответственно.

Содержание свинца в соломе в среднем было меньше, чем в корнях в 12,4 раза. При этом наиболее высокий уровень его содержания характерен на фоне вспашки. При переходе на комбинированную и поверхностную обработки происходит снижение количества свинца в соломе по сравнению со вспашкой на 0,27 и 0,37 мг/кг соответственно. При крайней степени минимизации обработки — прямом посеве отмечается тенденция к росту содержания свинца в соломе ячменя относительно комбинированной и поверхностной обработок на 0,10 и 0,20 мг/кг соответственно. Такой характер накопления свинца в соломе ячменя обусловлен закреплением свинца корнями растений, что подтверждается высокой обратной корреляционной связью ($r=-0,77$).

Содержание свинца в зерне ячменя было в среднем ниже, чем в корнях в 16,5 раза, и ниже, чем в соломе в 1,3 раза. Существенных различий по уровню концентрации свинца в зерне между способами обработки почвы не выявлено, но можно отметить тенденцию к повышению его количества при поверхностной обработке на 0,10-0,20 мг/кг. Превышения ПДК свинца в зерне ни при одном изучаемом способе обработки почвы не выявлено.

Наиболее высокая концентрация кадмия отмечается в корнях ячменя, что обусловлено особенностями его поглощения — как пассивно, так и метаболическим путем [18]. Установлено, что при прямом посеве в корнях ячменя содержится наименьшее количество кадмия (0,66 мг/кг), что ниже на 0,08 мг/кг, чем при вспашке, на 0,06 мг/кг, чем при комбинированной обработке и на 0,15 мг/кг, чем при поверхностной обработке.

Содержание кадмия в соломе ячменя было в среднем ниже в 2,1 раза, чем в корнях. При этом существенных различий между изучаемыми способами обработки почвы не установлено, но можно отметить тенденцию к наибольшему снижению кадмия в соломе при прямом посеве (на 0,03-0,04 мг/кг).

Содержание кадмия в зерне ячменя в среднем ниже, чем в корнях в 3,3 раза, в соломе — в 1,5 раза. Так же как для корней и соломы наименьшее содержание кадмия в зерне характерно при прямом посеве, а более высокое при поверхностной обработке. Кадмий обладает высокой биодоступностью и относительно свободно перемещается в тканях растений. Установлена заметная корреляционная связь между содержанием кадмия в корнях и соломе растений ($r=0,64$), а также высокая связь между его количеством в корнях и зерне ($r=0,83$) и соломе и зерне ($r=0,74$). Превышения ПДК кадмия в зерне ячмене не выявлено.

Для оценки интенсивности поступления тяжелых металлов в растения ячменя был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП), предложенный Б.Б. Польшовым и сформулированный А.И. Перельманом. Он представляет собой отношение содержания элемента в золе растения (или определенной части растения) к валовому содержанию элемента в почве.

Из данных таблицы 3 видно, что КБП никеля корнями был наименьшим при прямом посеве, что согласуется с количеством этого элемента, накопленного корнями при данном способе обработки. Биологическое поглощение никеля соломы ячменя было наименее интенсивным при вспашке (КБП=0,74), а наибольшим при прямом посеве (КБП=0,92). При этом отмечается тенденция к повышению КБП при минимизации обработки почвы. КБП никеля зерном ячменя также увеличивался при прямом посеве. В целом можно отметить, что в среднем КБП никеля зерном ячменя выше в 1,6 раза, чем корнями и в 3,6 раза, чем соломой.

КБП свинца корнями ячменя был наименьшим при вспашке (2,26) и прямом посеве (2,30), и увеличивался при комбинированной и поверхностной обработках — до 2,48 и 2,59 соответственно. При этом для соломы отмечается обратный характер биологического поглощения свинца, чем для корней. Для соломы КБП свинца был наиболее высоким при вспашке (0,78) и снижался относительно этого варианта на 10,2% при прямом посеве, 24,3% при комбинированной обработке и 34,6% при поверхностной

обработке. Для зерна ячменя КБП свинца при минимизации обработки почвы повышался по сравнению со вспашкой и комбинированной обработкой на 41,0% при поверхностной обработке и на 23,9% при прямом посеве. В среднем поглощение свинца интенсивнее корнями растений в 3,7 раза, чем соломой и в 1,5 раза, чем зерном. При этом КБП свинца зерном выше, чем соломой в 2,4 раза.

Наиболее высокий КБП кадмия характерен для зерна ячменя. В среднем КБП зерном выше в 3,2 раза, чем корнями и в 2,1 раза, чем соломой. При этом КБП кадмия корнями был наименьшим при прямом посеве, а наиболее высоким при поверхностной обработке. При переходе на безотвальные способы обработки почвы КБП кадмия для соломы увеличивался на 10,7% при комбинированной обработке, и на 4,8% при поверхностной обработке. При прямом посеве отмечается наименьший КБП для соломы. Для зерна ячменя КБП кадмия при минимизации обработки почвы повышался по сравнению со вспашкой на 27,2% при комбинированной обработке и на 27,8% при поверхностной обработке, но снижался при прямом посеве на 9,5%.

Выводы. Содержание валовой формы тяжелых металлов в почве не зависело от способа основной обработки почвы и не превышало ПДК ни по одному изучаемому элементу. Содержание подвижной формы тяжелых металлов при минимизации обработки почвы имело тенденцию к повышению, но превышения уровня ПДК не наблюдается. При прямом посеве, относительно вспашки, отмечается существенное повышение подвижных форм никеля (на 0,21 мг/кг) и кадмия (на 0,15 мг/кг).

Наиболее высокая концентрация никеля отмечается в корнях ячменя. При минимизации обработки происходит снижение содержания никеля в корнях 0,10-1,17 мг/кг, с минимумом при прямом посеве. При уменьшении глубины обработки почвы проявляется тенденция к повышению содержания никеля в соломе ячменя (на 0,06-0,33 мг/кг). Существенных различий по количеству никеля в зерне, в зависимости от способа обработки, не отмечается. Содержание никеля в зерне не превышало ПДК.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в золе растений ячменя и коэффициенты биологического поглощения (среднее за 2020-2022 гг.)
Table 3. The content of heavy metals in the ash of barley plants and biological absorption coefficients (average for 2020-2022)

Обработка почвы	Зола, % от сухого вещества	Ni		Pb		Cd	
		мг/кг	КБП	мг/кг	КБП	мг/кг	КБП
Корни							
Вспашка	33,8	46,15	1,98	27,22	2,26	2,19	2,77
Комбинированная	32,5	47,69	1,94	30,86	2,48	2,22	2,88
Поверхностная	31,0	47,65	1,98	32,03	2,59	2,61	3,15
Прямой посев	31,5	46,13	1,87	28,67	2,30	2,10	2,49
Солома							
Вспашка	10,3	17,18	0,74	9,42	0,78	3,30	4,18
Комбинированная	9,5	21,37	0,87	7,37	0,59	3,57	4,63
Поверхностная	9,6	21,47	0,89	6,25	0,51	3,64	4,38
Прямой посев	9,2	22,82	0,92	8,70	0,70	3,37	4,01
Зерно							
Вспашка	3,1	70,97	3,04	16,13	1,34	6,45	8,17
Комбинированная	3,0	75,67	3,07	16,67	1,34	8,00	10,39
Поверхностная	3,0	73,33	3,05	23,33	1,89	8,67	10,44
Прямой посев	2,9	78,28	3,17	20,69	1,66	6,21	7,39



Наиболее высокая концентрация свинца характерна для корней растений. Отмечается его наименьшее содержание при крайне противоположных способах основной обработки почвы — вспашке и прямом посеве. При переходе на комбинированную и поверхностную обработку происходит снижение количества свинца в соломе по сравнению со вспашкой на 0,27 и 0,37 мг/кг соответственно, а при прямом посеве происходит рост на 0,10-0,20 мг/кг. Имеется тенденция к повышению количества свинца в зерне при поверхностной обработке на 0,10-0,20 мг/кг. Превышения ПДК свинца в зерне не выявлено.

Содержание кадмия в корнях ячменя при прямом посеве было ниже на 0,06-0,15 мг/кг, в соломе — на 0,03-0,04 мг/кг, чем при других способах обработки почвы. Наименьшее содержание кадмия в зерне характерно при прямом посеве, а более высокое при поверхностной обработке. Превышения ПДК кадмия в зерне ячменя не наблюдается.

Наиболее высокие коэффициенты биологического поглощения никеля и кадмия характерны для зерна, свинца — для корней ячменя. При прямом посеве наблюдается снижение коэффициентов биологического поглощения кадмия всеми частями растений ячменя.

Список источников

1. Просянникова О.И., Клевлина Т.П., Сладкова Т.В. Качество и безопасность зерна ярового ячменя в Кемеровской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 9. С. 34-37.
2. Талаева О.В., Сумина А.В. Зерно ячменя как многофункциональный природный ресурс // Наука без границ. 2018. № 2. С. 67-71.
3. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. и др. Накопление тяжелых металлов растениями ячменя на черноземе и каштановой почве // Агрохимия. 2009. № 10. С. 53-63.
4. Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th Edition. Boca Raton, FL, CRC Press, 548 p.
5. Несмеянова М.А., Дедов А.В., Коротких Е.В. Влияние приемов основной обработки почвы на ее плодородие, засоренность посевов и урожайность ячменя // Земледелие. 2022. № 4. С. 8-10. doi: 10.24412/0044-3913-2022-4-8-11
6. Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н. и др. Влияние ресурсосберегающей технологии No-till на агрофизические и биологические свойства чернозема обыкновенного Башкирского Зуралья // Достижения науки и техники АПК. 2022. № 4. С. 66-71. doi: 10.53859/02352451_2022_36_4_66
7. Волошенкова Т.В., Дридригер В.К., Епифанова Р.Ф. и др. Влияние технологии No-till на структуру и противодефляционные свойства чернозема обыкновенного в Центральном Предкавказье // Достижения науки и техники АПК. 2022. № 9. С. 20-25. doi: 10.53859/02352451_2022_36_9_20
8. Иванов А.Л., Кулинцев В.В., Дридригер В.К. и др. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 4. С. 8-16. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10401

Информация об авторах:

Дубовик Елена Валентиновна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5999-9718>, dubovikev@yandex.ru
Дубовик Дмитрий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1585-6990>, dubovikdm@yandex.ru

Information about the authors:

Elena V. Dubovik, doctor of biological sciences, leading researcher, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5999-9718>, dubovikev@yandex.ru
Dmitry V. Dubovik, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1585-6990>, dubovikdm@yandex.ru

9. Mondal, S., Chakraborty, D., Bandyopadhyay, K., Aggarwal, P., Singh Rana, D. (2019). A Global Analysis on the Impact of No-Tillage on Soil Physical Condition and Organic Carbon Content, and Plant Root Response. *Land Degradation & Development*, vol. 31, pp. 557-567. doi: 10.1002/ldr.3470

10. Смуров С.И., Григоров О.В., Шелухина Н.В. Влияние способов основной обработки почвы на содержание тяжелых металлов в почве // Земледелие. 2014. № 8. С. 16-17.

11. Degryse, F., Verma, V.K., Smolders, E. (2008). Mobilization of Cu and Zn by root exudates of dicotyledonous plants in resin-buffered solutions and in soil. *Plant Soil*, vol. 306, pp. 69-84. doi: 10.1007/s11104-007-9449-4

12. Кузнецов А.В. и др. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.

13. Минеев В.Г. и др. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

14. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.

15. ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.

16. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.

17. Aschmann, S.G., Zasoski, R.J. (1987). Nickel and rubidium uptake by whole oat plants in solution culture. *Physiol. Plant*, vol. 71, pp. 191-196.

18. Шаббаев В.П. Почвенные механизмы уменьшения поглощения кадмия растениями ячменя при применении ризосферных бактерий, стимулирующих рост растений // Агрохимия. 2017. № 7. С. 71-77.

References

1. Prosyannikova, O.I., Klevlina, T.P., Sladkova, T.V. (2010). *Kachestvo i bezopasnost' zerna yarovogo yachmenya v Kemerovskoi oblasti* [Quality and safety of spring barley grain in the Kemerovo region]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], no. 9, pp. 34-37.
2. Talaeva, O.V., Sumina, A.V. (2018). *Zerno yachmenya kak mnogofunktsional'nyi prirodnyi resurs* [Barley grain as a multifunctional natural resource]. *Nauka bez granits* [Science without borders], no. 2, pp. 67-71.
3. Minkina, T.M., Motuzova, G.V., Nazarenko, O.G. i dr. (2009). *Nakoplenie tyazhlykh metallov rasteniyami yachmenya na chernozeme i kashtanovoi pochve* [Accumulation of heavy metals by barley plants grown on chernozem and chestnut soil]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 10, pp. 53-63.
4. Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th Edition. Boca Raton, FL, CRC Press, 548 p.
5. Nesmeyanova, M.A., Dedov, A.V., Korotkikh, E.V. (2022). *Vliyaniye priemov osnovnoi obrabotki pochvy na ee plodorodie, zasorennost' posevov i urozhainost' yachmenya* [Influence of tillage methods on soil fertility, crops infestation and barley yield]. *Zemledelie*, no. 4, pp. 8-10. doi: 10.24412/0044-3913-2022-4-8-11
6. Il'bulova, G.R., Suyundukov, Ya.T., Semenova, I.N. i dr. (2022). *Vliyaniye resursosberegayushchei tekhnologii No-till na agrofizicheskie i biologicheskie svoystva chernozema obyknovennogo Bashkirkogo Zural'ya* [Influence of resource-saving no-till technology on the agrophysical and

biological properties of ordinary chernozem in the Bashkir Trans-Urals]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], no. 4, pp. 66-71. doi: 10.53859/02352451_2022_36_4_66

7. Voloshenkova, T.V., Dridiger, V.K., Epifanova, R.F. i dr. (2022). *Vliyaniye tekhnologii No-till na strukturu i protivodeflyatsionnye svoystva chernozema obyknovennogo v Tsentral'nom Predkavkaz'e* [Influence of no-till technology on the structure and anti-deflationary properties of ordinary chernozem in the Central Ciscaucasia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], no. 9, pp. 20-25. doi: 10.53859/02352451_2022_36_9_20

8. Ivanov, A.L., Kulintsev, V.V., Dridiger, V.K. i dr. (2021). *O tselesoobraznosti osvoeniya sistemy pryamogo poseva na chernozemakh Rossii* [Feasibility of a direct sowing system on the Russian chernozems]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], no. 4, pp. 8-16. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10401

9. Mondal, S., Chakraborty, D., Bandyopadhyay, K., Aggarwal, P., Singh Rana, D. (2019). A Global Analysis on the Impact of No-Tillage on Soil Physical Condition and Organic Carbon Content, and Plant Root Response. *Land Degradation & Development*, vol. 31, pp. 557-567. doi: 10.1002/ldr.3470

10. Smurov, S.I., Grigorov, O.V., Shelukhina, N.V. (2014). *Vliyaniye sposobov osnovnoi obrabotki pochvy na sodержание tyazhlykh metallov v pochve* [Effect of primary tillage methods on the content of heavy metals in the soil]. *Zemledelie*, no. 8, pp. 16-17.

11. Degryse, F., Verma, V.K., Smolders, E. (2008). Mobilization of Cu and Zn by root exudates of dicotyledonous plants in resin-buffered solutions and in soil. *Plant Soil*, vol. 306, pp. 69-84. doi: 10.1007/s11104-007-9449-4

12. Kuznetsov, A.V. i dr. (1992). *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhlykh metallov v pochvakh sel'khozugodii i produktsii rastenievodstva* [Methodological guidelines for the determination of heavy metals in the soils of farmland and crop production]. Moscow, Central Institute of Agrochemical Service of Agriculture, 61 p.

13. Mineev, V.G. i dr. (2001). *Praktikum po agrokimii* [Workshop on agrochemistry]. Moscow, Moscow State University, 689 p.

14. Sheudzen, A.Kh. (2003). *Biogeochemiya* [Biogeochemistry]. Maykop, GURIPP "Aдыгея", 1028 p.

15. HS 2.1.7.2042-06. (2006). *Orientirovochno-dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy* [Approximate permissible concentrations (ODC) of chemicals in the soil: Hygienic standards]. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор, 11 p.

16. HS 2.1.7.2041-06. (2006). *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy* [Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the soil: Hygienic standards]. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор, 15 p.

17. Aschmann, S.G., Zasoski, R.J. (1987). Nickel and rubidium uptake by whole oat plants in solution culture. *Physiol. Plant*, vol. 71, pp. 191-196.

18. Shabaev, V.P. (2017). *Pochvennye mekhanizmy umen'sheniya pogloshcheniya kadmia rasteniyami yachmenya pri primeneniі rizofernykh bakterii, stimuliruyushchikh rost rastenii* [Soil mechanisms of reducing uptake of cadmium by barley plants with application of rhizosphere bacteria stimulating plant growth]. *Agrokimiya* [Agricultural chemistry], no. 7, pp. 71-77.

