

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ
ПРИ ОСВОЕНИИ МАЛОПРОДУКТИВНЫХ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ
ВЕРХНЕВОЛЖЬЯВ.А. ШЕВЧЕНКО^{1,2}, Н.П. ПОПОВА¹, А.М. СОЛОВЬЁВ¹¹ ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова;² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Исследования проведены в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района Тверской области в 2012...2018 гг. при освоении выбывших из оборота малопродуктивных, ранее мелиорированных земель. Общая площадь пашни – 5297 га, почвы дерново-подзолистые, по гранулометрическому составу легкосуглинистые. Изучено влияние систематического внесения органических удобрений свиноводческих комплексов в виде твердой фракции навоза (60...80 т/га) и жидких стоков (100...120 м³/га) на динамику содержания меди, цинка, бора и марганца в пахотном слое. Установлено, что на почвах с промывным типом водного режима за шестилетний период наблюдений средневзвешенное содержание меди имело лишь положительную тенденцию увеличения, поскольку прибавка к исходному значению составила 0,1 мг/кг почвы. Это находилось в пределах ошибки опыта и составило 1,7 мг/кг при оптимальном значении для региона 2,45 мг/кг. Аналогичная ситуация была характерной и при изучении динамики цинка, средневзвешенное содержание которого достигло показателя 0,9 мг/кг, что значительно ниже оптимального уровня – 3,55 мг/кг почвы. Следовательно, по мере раскисления залежных земель от внесения щелочных органических удобрений существенное увеличение доступных форм меди и цинка не отмечено, что требует дополнительного внесения микроэлементов для ликвидации их дефицита.

Вместе с тем систематическое внесение органических удобрений достоверно улучшило обеспеченность малопродуктивных земель бором и марганцем, содержание которых в пахотном слое приблизилось к оптимальному значению и в конце наблюдений составило соответственно 0,50 и 44,8 мг/кг при оптимальном уровне 0,52 и 50,5 мг/кг почвы.

Ключевые слова: залежные земли, органические удобрения, микроэлементы, медь, цинк, бор, марганец.

Введение

Важное значение для увеличения производства качественной сельскохозяйственной продукции наряду с основными удобрениями имеют микроудобрения, содержащие микроэлементы. Микроэлементы необходимы растениям в весьма небольших количествах: их содержание составляет тысячные и десятитысячные доли процента от массы растения. Однако каждый из них выполняет строго определенные функции в обмене веществ, питании растений и не может быть заменен другим элементом [1, 5, 8, 14, 16]. Они являются обязательной составной частью ферментов, витаминов, ростовых веществ, играющих роль биологических ускорителей

и регуляторов сложных биохимических процессов. Если ферменты являются катализаторами, то микроэлементы можно назвать катализаторами катализаторов [2, 6, 7, 15, 17, 21].

Микроэлементы ускоряют развитие растений, улучшают процессы оплодотворения и плодообразования, обеспечивают синтез и передвижение углеводов, регулируют белковый и жировой обмен веществ в растительных тканях [9–11, 18]. В этой связи необходимо точно знать потребность растений в каждом микроэлементе и по возможности оптимально ее удовлетворять. Особенно остро проблема снабжения посевов микроэлементами проявляется при переходе на интенсивные технологии возделывания продукции растениеводства, поскольку вынос микроэлементов из почвы при этом существенно повышается [4, 12, 13, 19, 20].

Источниками поступления микроэлементов являются почва, различные виды органических и некоторых минеральных удобрений, среди которых следует отметить сырые калийные соли, фосфоритную муку, томашлак, золу. Однако количество микроэлементов, поступающих с обычными дозами минеральных удобрений, намного меньше тех объемов, которые требуются для восстановления баланса этих элементов в почве. Расходная часть микроэлементов почвы складывается из потребления их растениями с потерей с поверхностным и нисходящим током воды, утратой с почвой при водной и ветровой эрозии, переходом в результате химических реакций в недоступную форму и из других негативных процессов [14, 22].

При освоении выбывших из оборота малопродуктивных, ранее мелиорированных земель Северо-Западного региона Нечерноземной зоны России, следует учитывать, что на минеральных дерново-подзолистых почвах в дефиците находятся бор и медь; на осушенных болотных и торфянистых землях не хватает меди и цинка; на серых лесных почвах в обязательном порядке следует вносить марганец [5]. Только сбалансированное применение макро- и микроудобрений с учетом биологических особенностей возделываемых растений позволит товаропроизводителям получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Методика исследований

Исследования проводили в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района Тверской области в 2012–2018 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, мощность пахотного горизонта – 16...18 см, осушена открытым дренажем. Исходное содержание в почве (2012 г.): гумуса – 1,69...1,83%; P_2O_5 – 106...109 мг/кг; K_2O – 90...100 мг/кг; pH_{KCl} – 4,78...4,83. Почва не использовалась в период с 1994 по 2010 гг., в 2011 г. проведены агротехнические работы, а с 2012 г. начато возделывание сельскохозяйственных культур.

Метеорологические условия в годы проведения экспериментальной работы существенно различались как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков и их распределению по декадам и месяцам.

Жидкие стоки свиноводческих комплексов вносили с помощью технологии шланговых систем, которая позволяет не только равномерно распределять их по поверхности поля, но и одновременно заделывать в почву, что исключает потери газообразного азота. Для внесения твердой фракции навоза использовали ПРТ-10, с помощью которого удобрения разбрасывались по поверхности поля и заделывались в тот же день. Норма внесения жидких стоков составляла 100...120 м³/га, твердой фракции навоза – 60...80 т/га. Органические отходы вносили в качестве основного удобрения под все культуры севооборота трижды за шестилетний период: два раза – жидкие стоки; один раз – твердую фракцию навоза.

Агрохимические исследования динамики содержания меди, цинка, бора и марганца в почве проведены по общепринятым методикам в соответствии с Федеральным законом «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа [13].

Результаты и их обсуждение

Установлено, что в начале освоения (2012 г.) 88,9% залежных земель имело низкий уровень обеспеченности подвижными формами меди, и только 11,1% – средний, при средневзвешенном содержании данного микроэлемента 1,6 мг/кг почвы. Через 6 лет доля полей с низкой обеспеченностью меди снизилась на 5,6% и составила 83,3% при одновременном увеличении на такую же величину площади пашни со средним уровнем. Тем не менее средневзвешенное содержание меди имело лишь положительную тенденцию увеличения, поскольку прибавка к исходному значению составила 0,1 мг/кг почвы, что находилось в пределах ошибки опыта (табл. 1).

Таблица 1

Динамика распределения почв по обеспеченности подвижными формами меди, мг/кг

Группа	Уровень обеспеченности	Содержание микроэлемента, мг/кг	2012 г.		2018 г.		± к 2012 г.	
			площадь, га	%	площадь, га	%	площадь, га	%
I	Низкий	<1,5	4709	88,9	4412	83,3	-297	-5,6
II	Средний	1,6–3,3	588	11,1	885	16,7	+297	+5,6
III	Высокий	>3,3	-	-	-	-	-	-
Итого			5297	100	5297	100	0	0
Средневзвешенное содержание			1,6		1,7		+0,1	
НСР _{0,5}			0,1					

На основании представленных данных можно заключить, что для быстрой ликвидации дефицита меди при освоении ранее мелиорированных земель Северо-Западного региона РФ со слабокислой реакцией почвенного раствора одних только органических удобрений недостаточно. Наряду с ними в качестве медьсодержащих удобрений следует применять пиритные огарки (отходы сернокислой промышленности), содержащие 0,25...0,6% меди, а также медный купорос, содержащий 23...25% действующего вещества.

Потребность различных сельскохозяйственных культур в медных удобрениях следует устанавливать на основании анализа почвы, поскольку избыток меди в продукции растениеводства может вызывать заболевания человека и животных. При ликвидации острого дефицита этого микроудобрения потребность в обеспечении подвижными формами меди, по нашим расчетам, может полностью покрываться за счет внесения органических удобрений в виде твердой фракции навоза в дозе 10...12 т/га ежегодно.

Установлено также, что на легких по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почвах систематическое внесение органических удобрений свиноводческого комплекса в течение шестилетнего периода не оказало существенного влияния на обеспеченность цинком вовлекаемых в оборот земель (табл. 2). Средневзвешенное содержание подвижных форм цинка в 2018 г. увеличилось относительно первоначального значения всего лишь на 0,1 мг/кг почвы, что является недостоверной прибавкой, так как находится в пределах ошибки опыта. По уровню обеспеченности цинком все земли хозяйства остались в группе с низким содержанием этого микроэлемента (<2,0 мг/кг), что требует наряду с органическими удобрениями применять высокоэффективные цинкосодержащие препараты. В настоящее время наибольшее значение имеет сульфат цинка, который вносят одновременно с посевом в дозе 4...5 кг/га.

Таблица 2

**Динамика распределения почв
по обеспеченности подвижными формами цинка, мг/кг**

Группа	Уровень обеспеченности	Содержание микроэлемента, мг/кг	2012 г.		2018 г.		± к 2012 г.	
			площадь, га	%	площадь, га	%	площадь, га	%
I	Низкий	<2,0	5297	100,0	5297	100,0	0	0
II	Средний	2,1–5,0	-	-	-	-	-	-
III	Высокий	>5,0	-	-	-	-	-	-
Итого			5297	100,0	5297	100,0	0	0
Средневзвешенное содержание			0,8		0,9		+0,1	
НСР _{0,5}			0,1					

В условиях зерновой специализации важным источником микроудобрений, в том числе цинка, является измельченная и заделанная в почву на глубину 8...10 см соломенная резка. Однако при использовании соломы в качестве удобрения необходимо вносить небольшие дозы аммиачной селитры (10...15 кг/га д.в.), чтобы исключить биологическое закрепление азота в почве микроорганизмами.

В Нечерноземной зоне дефицит бора испытывают дерново-подзолистые и торфяные почвы, поэтому при их вовлечении в сельскохозяйственный оборот следует использовать все доступные виды удобрений. Согласно нашим исследованиям в начале освоения залежных земель (2012 г.) наибольшие площади по обеспеченности подвижными формами бора (47,9%) занимали почвы с низким содержанием данного микроэлемента (табл. 3).

Через 6 лет после начала освоения малопродуктивных земель при систематическом внесении органических удобрений отмечено существенное изменение в динамике распределения почв по их обеспеченности подвижными формами бора. Так, на 8,9% снизилась площадь полей с низким уровнем его содержания при одновременном увеличении на 7,2% площади пашни со средним, и на 1,7% – с высоким содержанием бора. Средневзвешенное количество подвижного бора возросло на 0,1 мг/кг почвы и составило 0,5 мг/кг, что является достоверной прибавкой при НСР_{0,5} = 0,03 мг/кг.

Таким образом, содержание доступного бора можно успешно регулировать при систематическом внесении твердой фракции навоза или жидких животноводческих стоков. В случае отсутствия или недостатка органических удобрений в условиях Нечерноземной

зоны на дерново-подзолистых и торфянистых почвах высокую эффективность оказывают борные удобрения, которые вносят в почву из расчета 0,5...1,5 кг бора на 1 га.

Таблица 3

**Динамика распределения почв
по обеспеченности подвижными формами бора, мг/кг**

Группа	Уровень обеспеченности	Содержание микроэлемента, мг/кг	2012 г.		2018 г.		± к 2012 г.	
			площадь, га	%	площадь, га	%	площадь, га	%
I	Низкий	<0,33	2537	47,9	2066	39,0	-471	-8,9
II	Средний	0,33–0,7	1949	36,8	2331	44,0	+382	+7,2
III	Высокий	>0,7	811	15,3	900	17,0	+89	+1,7
Итого			5297	100,0	5297	100,0	0	0
Средневзвешенное содержание			0,4		0,5		+0,1	
НСР _{0,5}			0,03					

В исследованиях установлено, что регулярное внесение в качестве основного удобрения твердой фракции навоза (60...80 т/га) и жидких стоков свиноводческих комплексов способствует повышению содержания подвижных форм марганца при вовлечении в производственный цикл малопродуктивных земель. Так, в начале освоения залежи (2012 г.) средневзвешенное содержание марганца на изученных полях составляло 40,4 мг/кг почвы. При этом доля земель с низким уровнем обеспеченности подвижными формами марганца составляла 47,6%, а со средним обеспечением – 52,4% (табл. 4). Спустя 6 лет после вовлечения земель в сельскохозяйственный оборот средневзвешенное содержание доступного марганца увеличилось на 4,4 мг/кг почвы и составило 44,8 мг/кг за счет снижения на 21,4% посевных площадей с низким уровнем обеспеченности этим микроэлементом.

Таблица 4

**Динамика распределения почв
по обеспеченности подвижными формами марганца, мг/кг**

Группа	Уровень обеспеченности	Содержание микроэлемента, мг/кг	2012 г.		2018 г.		± к 2012 г.	
			площадь, га	%	площадь, га	%	площадь, га	%
I	Низкий	<30	2521	47,6	1388	26,2	-1133	-21,4
II	Средний	31–70	2776	52,4	3909	73,8	+1133	+21,4
III	Высокий	>70	-	-	-	-	-	-
Итого			5297	100,0	5297	100,0	0	0
Средневзвешенное содержание			40,4		44,8		+4,4	
НСР _{0,5}			2,6					

В 2018 г. подавляющее количество изучаемых полей (73,8%) характеризовалось средним уровнем обеспеченности подвижными формами марганца, что существенно выше (52,4%) исходного значения. Тем не менее наличие почв с высоким содержанием марганца за шестилетний период внесения органических удобрений не установлено.

Для быстрой ликвидации дефицита марганца на хорошо аэрируемых легких по гранулометрическому составу почвах наряду с органическими удобрениями следует применять марганцевые удобрения. К основным из них относятся сернокислый марганец (24,6% окиси марганца), марганезированный гранулированный суперфосфат (1,5...2,5% окиси марганца), марганцовые шламы (10...17% окиси марганца).

На основании выполненного анализа по динамике обеспеченности микроэлементами осваиваемых малопродуктивных земель Северо-Западного региона России при систематическом внесении органических удобрений свиноводческих комплексов в виде твердой фракции навоза (60...80 т/га) и жидких стоков (100...120 м³/га) можно заключить, что есть вероятность существенного увеличения содержания бора и марганца до уровня средней обеспеченности за относительно короткий промежуток времени. Вместе с тем для стабилизации меди и цинка наряду с органическими удобрениями свиноводческих комплексов следует дополнительно применять соответствующие микроудобрения. По нашему мнению, это связано с тем, что медь и цинк закрепляются в почвенно-поглощающем комплексе только в условиях стабилизации кислотного состояния почвы. В случае, когда вносятся в органические удобрения, одновременно с поступлением микроэлементов происходит также и раскисление залежных земель, поскольку твердая фракция навоза и жидкие стоки имеют четко выраженную щелочную реакцию: соответственно рН = 7,8 и 7,3 ед. По этой причине при снижении кислотности доступность меди и цинка уменьшается.

При систематическом внесении органических удобрений свиноводческих комплексов в виде твердой фракции навоза (60...80 т/га) и жидких стоков (100...120 м³/га) за шестилетний период наблюдений отмечена положительная динамика содержания меди, цинка, бора и марганца в пахотном слое вовлекаемых в оборот малопродуктивных земель на всей площади пашни агрофирмы. Однако процесс оптимизации микроэлементов происходит с разной интенсивностью. Так, средневзвешенное содержание меди на легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах с промывным типом водного режима имело лишь положительную тенденцию увеличения, поскольку оно повышалось на 0,1 мг/кг почвы, что находилось в пределах ошибки опыта и составило 1,7 мг/кг при оптимальном значении 2,45 мг/кг. По нашему мнению, это объясняется тем, что при внесении органических удобрений с четко выраженной щелочной реакцией фиксация меди почвенно-поглощающим комплексом ослаблена.

Применение органических удобрений свиноводческих комплексов обеспечивает лишь незначительное увеличение содержания цинка при освоении малопродуктивных земель. Средневзвешенное содержание цинка повысилось лишь на 0,1 мг/кг и достигло показателя 0,9 мг/кг почвы, что явно ниже оптимального значения для Северо-Западного региона (3,5 мг/кг). Для ликвидации острого дефицита цинка на почвах легкого гранулометрического состава наряду с органическими удобрениями следует вносить высокоэффективные цинкосодержащие препараты, поскольку по мере раскисления почвы доступность цинка, как и меди, уменьшается.

Систематическое внесение органических удобрений явилось действенным средством улучшения обеспеченности почв агрофирмы подвижными формами бора. За период исследований средневзвешенное количество подвижного бора существенно возросло (+0,1 мг/кг при НСР_{0,5} = 0,03 мг/кг) и достигло уровня 0,5 мг/кг при оптимальном значении 0,52 мг/кг почвы.

Регулярная заделка органических удобрений обеспечила за годы проведения опытов достоверное повышение содержания марганца в пахотном слое вовлекаемых

в оборот залежных земель. Средневзвешенное содержание данного элемента увеличилось на 4,4 мг/кг и достигло показателя 44,8 мг/кг почвы при оптимальном значении 50,5 мг/кг. На кислых почвах Нечерноземной зоны для снижения дефицита марганца наряду с внесением органических удобрений целесообразно проводить предпосевную обработку семян микроудобрениями, содержащими марганец, из расчета 2,5–5,0 мг/т семян, по марганцу.

Библиографический список

1. *Кирейчева Л.В.* Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв / Л.В. Кирейчева, В.А. Шевченко // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 2. – С. 12–16.
2. *Агрохимия: Учебник* / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. – М.: Издательство Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
3. *Кидин В.В.* Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям агрономического образования / В.В. Кидин, В.В. Кидин. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2009. – 412 с.
4. *Матюк Н.С.* Оптимальные параметры пахотного слоя почвы и способы их поддержания в современной земледелии / Н.С. Матюк, Ф.А. Цвирко, В.А. Шевченко // Плодородие. – 2005. – № 1 (22). – С. 33–35.
5. Эффективные приемы окультуривания залежных земель в Нечерноземной зоне России: Научно-практические рекомендации на примере ОАО «Агрофирма «Дмитрова Гора»» / С.А. Новиков, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев и др. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 44 с.
6. *Матюк Н.С.* Баланс азота, фосфора и калия в зернопропашном севообороте / Н.С. Матюк, В.А. Шевченко // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 6. – С. 19–22.
7. Экологические проблемы при вовлечении в оборот ранее мелиорированных земель Нечерноземной зоны и пути их решения: Монография / В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2021. – 135 с.
8. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года: Версия 2.0 / А.Л. Иванов, А.В. Петриков, В.И. Кирюшин и др. – М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2021. – 400 с.
9. *Кирейчева Л.В.* Оценка эффективности использования сельскохозяйственных угодий в агропроизводстве / Л.В. Кирейчева, В.А. Шевченко, И.Ф. Юрченко // Аграрная наука. – 2021. – № 9. – С. 135–139.
10. *Попова Н.П.* Содержание меди и марганца в почвах Северо-Западного региона Нечерноземной зоны при применении отходов свиноводческих комплексов / Н.П. Попова, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев // Плодородие. – 2021. – № 6 (123). – С. 72–75.
11. Динамика содержания кальция и магния при вовлечении в оборот залежных земель Нечерноземья (или Нечерноземной зоны) / В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова // Промышленность и сельское хозяйство. – 2021. – № 4 (33). – С. 6–10.
12. Курс лекций по технологии растениеводства на богарных и мелиорированных землях: Учебное пособие для студентов аграрных вузов по направлению подготовки «Агроинженерия» / В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2020. – 344 с.

13. Основы опытного дела в растениеводстве: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Агрономия» / В.Е. Ещенко, М.Ф. Трифонова, П.Г. Копытко и др. – М.: Издательство КолосС, 2009. – 268 с. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

14. *Wijesekara H. et al.* Trace element dynamics of biosolids-derived microbeads // *Chemosphere*. – 2018. – Т. 199. – С. 331–339.

15. *Shevchenko V.A.* Geosystem approach to using surface and groundwater in agricultural water supply / V.A. Shevchenko, S.D. Isaeva, E.B. Dedova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2021 International Symposium «Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021»*. – Moscow, 2021. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012071.

16. Influence of fertilizer system on the dynamics of nitrogen content and balance on newly developed lands / V.A. Shevchenko, A.M. Soloviev, G.I. Bondareva, N.P. Popova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 г.* – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 42090.

17. *Hossain M.Z. et al.* Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant // *Biochar*. – 2020. – Т. 2., № 4. – С. 379–420.

18. *Cao W. et al.* The chemical and dynamic distribution characteristics of iron, cobalt and nickel in three different anaerobic digestates: effect of pH and trace elements dosage // *Bioresource technology*. – 2018. – Т. 269. – С. 363–374.

19. *Dhaliwal S.S. et al.* Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review // *Environmental and Sustainability Indicators*. – 2019. – Т. 1. – С. 100007.

20. *Gasparatos D.* Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps / D. Gasparatos, I. Massas, A. Godelitsas // *Catena*. – 2019. – Т. 182. – С. 104106.

21. *El-Naggar A. et al.* Release dynamics of As, Co, and Mo in a biochar treated soil under pre-definite redox conditions // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Т. 657. – С. 686–695.

22. *El-Naggar A. et al.* Biochar affects the dissolved and colloidal concentrations of Cd, Cu, Ni and Zn and their phytoavailability and potential mobility in a mining soil under dynamic redox-conditions // *Science of the total environment*. – 2018. – Т. 624. – С. 1059–1071.

23. *Gupta N. et al.* Trace elements in soil-vegetables interface: translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration-a review // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Т. 651. – С. 2927–2942.

DYNAMICS OF THE CONTENT OF TRACE ELEMENTS DURING DEVELOPMENT OF LOW-YIELDING FALLOW LANDS OF THE UPPER VOLGA REGION

V.A. SHEVCHENKO^{1,2}, N.P. POPOVA¹, A.M. SOLOV'EV¹

(¹ All-Russia Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova;

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The studies were carried out at LLC Ruch'evskoe-1, Rzhevsky district, Tver region in 2012...2018 during development of low-yielding, previously reclaimed lands that were retired from circulation. The total area of arable land is 5297 hectares, the soils are sod-podzolic, light loamy in terms of particle size distribution. The effect of the systematic application of high doses of organic

fertilizers from pig-breeding complexes in the form of solid fraction of manure (60...80 t/ha) and liquid waste (100...120 m³/ha) on the dynamics of the content of copper, zinc, boron and manganese in the arable layer has been studied. It was found that during the six-year observation period on soils with a leaching type of water regime, the average weighted copper content had only positive tendency to increase as the increment to the initial value was 0.1 mg per a kilogram of soil (0.1 mg/kg), which was within the experimental error and amounted to 1.7 mg/kg at the optimal value for the region 2.45 mg/kg. A similar situation is typical in the study of the dynamics of zinc, the average weighted content of which reached 0.9 mg/kg, which is significantly lower than the optimal level of 3.55 mg/kg. Consequently, with the deacidification of fallow lands from the introduction of alkaline organic fertilizers, a significant increase in the available forms of copper and zinc was not noted, which requires additional introduction of microelements to eliminate their deficiency.

At the same time, the systematic application of high doses of organic fertilizers significantly improved the provision of low-yielding lands with boron and manganese, the content of which in the arable layer approached the optimal value and at the end of observations amounted to 0.50 and 44.8 mg/kg, respectively, with an optimal level of 0.52 and 50.5 mg/kg.

Key words: fallow land, organic fertilizers, trace elements, copper, zinc, boron, manganese.

References

1. Kireycheva L.V., Kireycheva L.V., Shevchenko V.A. Sostoyanie pakhotnykh zemel' Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii i osnovnye napravleniya povysheniya plodorodiya pochv [State of arable land in the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation and main directions for improving soil fertility]. *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaystvenniy zhurnal*. 2020; 2: 12–16. DOI: 10.24411/2587–6740–2020–12021 (In Rus.)
2. Mineev V.G., Sychev V.G., Gamzikov G.P. et al. *Agrokimiya: Uchebnik* [Agrochemistry: Textbook]. M: Izdatel'stvo Vserossyjskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrohimii im. D.N. Pryanishnikova. 2017: 854. ISBN978–5–9238–0236–8 (In Rus.)
3. Kidin V.V. Osobennosti pitaniya i udobreniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: uchebnoe posobie dlya studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyam agronomicheskogo obrazovaniya [Features of crop nutrition and fertilisation: textbook for students in agronomy education]. M-vo sel'skogo khoz-va Rossiyskoy Federatsii, Rossiyskiy gos. agrarnyy un-t – MSKHA im. K.A. Timiryazeva. M.: Izd-vo RGAU-MSKHA im. K.A. Timiryazeva. 2009: 412. ISBN978–5–9675–0300–9. (In Rus.)
4. Matyuk N.S., Tsvirko F.A., Shevchenko V.A. Optimal'nye parametry pakhotnogo sloya pochvy i sposoby ikh podderzhaniya v sovremennom zemledelii [Optimal parameters of topsoil and how to maintain them in modern agriculture]. *Plodorodie*. 2005; 1(22): 33–35. (In Rus.)
5. Novikov S.A., Shevchenko V.A., Solov'ev A.M. et al. Effektivnye priemy okul'turivaniya zaleznykh zemel' v Nechernozemnyj zone Rossii (Nauchno-prakticheskie rekomendatsii na primere OAO "Agrofirma "Dmitrova Gora"): Rekomendacii prednaznacheny dlya spetsialistov sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy vsekhn form sobstvennosti, zanimayushchikhsya proizvodstvom produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva, a takzhe prepodavateley, nauchnykh sotrudnikov, aspirantov i studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy APK Rossii [Effective methods of fallow land cultivation in the Non-Chernozem zone of Russia (Scientific and Practical Recommendations on the example of OJSC "Agrofirma "Dmitrova Gora"): Recommendations are intended for specialists of agricultural enterprises of all forms of ownership engaged in crop and livestock production, as well as teachers, researchers, postgraduates and students of higher educational institutions of agro-industrial sector of Russia]. M.: FGBNU "Rosinformagrotekh". 2014: 44 s. ISBN978–5–7367–1020–1. (In Rus.)

6. *Matyuk N.S., Shevchenko V.A.* Balans azota, fosfora i kaliya v zernopropashnom sevooborote [Nitrogen, phosphorus and potassium balance in a cereal crop rotation]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk.* 2003; 6: 19–22. (In Rus.)

7. *Shevchenko V.A., Solov'ev A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.* Ekologicheskie problemy pri vovlechenii v oborot ranee meliorirovannykh zemel' Nechernozemnoy zony i puti ikh resheniya: Monografiya [Environmental problems in involving previously reclaimed land in the Non-Chernozem zone and ways to solve them: Monograph]. M.: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrotekhniki i melioratsii im. A.N. Kostyakova. 2021: 135. ISBN978–5–6042437–7–0. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2021.88.70.001 (In Rus.)

8. *Ivanov A.L., Petrikov A.V., Kiryushin V.I. et al.* Rekomendatsii po razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa i sel'skikh territoriy Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda: Versiya 2.0 [Recommendations on the development of the agro-industrial complex and rural areas in the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation until 2030: Version 2.0]. M.: Pochvenniy institut imeni V.V. Dokuchaeva. 2021: 400. ISBN978–5–6045694–2–9. DOI: 10.52479/978–5–6045694–2–9 (In Rus.)

9. *Kireycheva L.V., Shevchenko V.A., Yurchenko I.F.* Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennykh ugodiy v agroproduktivnosti [Assessing the efficiency of agricultural land use in agricultural production]. *Agrarnaya nauka.* 2021; 9: 135–139. DOI: 10.32634/0869–8155–2021–352–9–135–13 (In Rus.)

10. *Popova N.P., Shevchenko V.A., Solov'ev A.M.* Soderzhanie medi i margantsa v pochvakh Severo-Zapadnogo regiona Nechernozemnoy zony pri primenenii otkhodov svinovodcheskikh kompleksov [Copper and manganese content in soils of the North-West region of the Non-Chernozem zone when applying waste from pig farms]. *Plodorodie.* 2021; 6(123): 72–75. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.20 (In Rus.)

11. *Shevchenko V.A., Solov'ev A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.* Dinamika soderzhaniya kal'tsiya i magniya pri vovlechenii v oborot zaleznykh zemel' Nechernozem'ya (ili Nechernozemnoy zony) [Dynamics of calcium and magnesium content during the conversion of fallow land in the Non-Black Soil Zone (or Non-Black Earth Zone)]. *Promyshlennost' i sel'skoe khozyaystvo.* 2021; 4(33): 6–10. (In Rus.)

12. *Shevchenko V.A., Solov'ev A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.* Kurs lektsiy po tekhnologii rastenievodstva na bogarnykh i meliorirovannykh zemlyakh: Uchebnoe posobie dlya studentov agrarnykh vuzov po napravleniyu podgotovki "Agroinzheneriya" [Course of lectures on technology of crop production on rainfed and reclaimed land: Textbook for students of agrarian universities in the field of "Agroengineering"]. M.: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrotekhniki i melioratsii imeni A.N. Kostyakova. 2020: 344. ISBN978–5–6042438–6–2 (In Rus.)

13. *Eshchenko V.E., Trifonova M.F., Kopytko P.G. et al.* Osnovy opytного dela v rastenievodstve: uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki "Agronomiya" [Fundamentals of Experimental Crop Production: Textbook for students of higher education in the field of "Agronomy"]. M.: Izdatel'stvo KolosS. 2009: 268. ISBN978–5–9532–0711–9. (In Rus.)

14. *Wijesekara H. et al.* Trace element dynamics of biosolids-derived microbeads. *Chemosphere.* 2018; 199: 331–339.

15. *Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B.* Geosystem approach to using surface and groundwater in agricultural water supply. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd. 2021: 012071. DOI: 10.1088/1755–1315/867/1/012071

16. *Shevchenko V.A., Solov'ev A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.* Influence of fertilizer system on the dynamics of nitrogen content and balance on newly developed lands. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd. 2021: 42090. DOI: 10.1088/1755–1315/677/4/042090

17. *Hossain M.Z. et al.* Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*. 2020; 2; 4: 379–420.
18. *Cao W. et al.* The chemical and dynamic distribution characteristics of iron, cobalt and nickel in three different anaerobic digestates: effect of pH and trace elements dosage. *Bioresource technology*. 2018; 269: 363–374.
19. *Dhaliwal S.S. et al.* Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2019; 1: 100007.
20. *Gasparatos D., Massas I., Godelitsas A.* Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps. *Catena*. 2019; 182: 104106.
21. *El-Naggar A. et al.* Release dynamics of As, Co, and Mo in a biochar treated soil under pre-definite redox conditions. *Science of the Total Environment*. 2019; 657: 686–695.
22. *El-Naggar A. et al.* Biochar affects the dissolved and colloidal concentrations of Cd, Cu, Ni, and Zn and their phytoavailability and potential mobility in a mining soil under dynamic redox-conditions. *Science of the total environment*. 2018; 624: 1059–1071.
23. *Gupta N. et al.* Trace elements in soil-vegetables interface: translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration-a review. *Science of the Total Environment*. 2019; 651: 2927–2942.

Шевченко Виктор Александрович, д-р с.-х. наук, член-корр. РАН, директор ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, Россия; тел.: (499) 153–72–70; факс (499) 154–02–72; e-mail: mail@vniigim.ru).

профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия).

Попова Наталья Павловна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, Россия; тел.: (499) 153–72–70; факс (499) 154–02–72; e-mail: mail@vniigim.ru).

Соловьёв Алексей Малахович, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (127434, г. Млсква, ул. Б. Академическая, 44, Россия; тел.: (499) 153–72–70; факс (499) 154–02–72; e-mail: mail@vniigim.ru).

Viktor A. Shevchenko, DSc (Ag), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (44 Akademicheskaya B. Str., Moscow (127434, Russian Federation; phone: (499) 153–72–70; E-mail: mail@vniigim.ru), Professor, the Department of Plant Growing and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow (127550, Russian Federation).

Natalia P. Popova, PhD (Ag), Senior Research Associate, VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (44 Akademicheskaya B. Str., Moscow (127434, Russian Federation; phone: (499) 153–72–70; E-mail: mail@vniigim.ru).

Aleksey M. Solov'ev, DSc (Ag), Key Research Associate, VNIIGiM named after A.N. Kostyakov (44 Akademicheskaya B. Str., Moscow (127434, Russian Federation; phone: (499) 153–72–70; E-mail: mail@vniigim.ru).