

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНаВОДСТВА

УДК 631.416.9

И. М. БОГДЕВИЧ, О. Л. ЛОМОНОС

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПАХОТНЫХ И ЛУГОВЫХ ПОЧВ ПОДВИЖНЫМИ ФОРМАМИ ЦИНКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПО РАЙОНАМ БЕЛАРУСИ

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: brissa5@mail.belpak.by*

(Поступила в редакцию 10.12.2014)

Введение. В условиях интенсивного земледелия возникает необходимость оптимизации минерального питания растений не только в отношении макроэлементов, но также и микроэлементов. Решение этой задачи может осуществляться в первую очередь на основе информации о содержании микроэлементов в почве. Известно, что фоновое содержание ряда микроэлементов в почвах Беларуси не соответствует потребности для нормального роста и развития растений, здоровья человека и животных [1, 2].

Цинк – один из важнейших элементов питания растений, сильно востребуемых современным земледелием по мере повышения уровня плодородия почв. Он является неотъемлемой частью многих ферментов, играет важную роль в регуляции ростовых процессов и определяет качество продукции многих культур. В то же время цинк относится к числу наиболее дефицитных микроэлементов во многих частях мира – Канаде, Китае, Индии, Пакистане, Иране, Турции, странах Северной Африки [3]. В Российской Федерации крайне низкое содержание подвижных форм цинка выявлено на более 90 % площади обследованных пахотных почв [4].

Острый дефицит цинка в рационе человека и домашних животных – явление редкое. Однако умеренный дефицит цинка в биологической цепочке «почва–растение–животное–человек» за последние 40 лет стал одной из мировых экологических проблем здравоохранения. Недостаток цинка в продуктах питания связывают с повышенным риском респираторных заболеваний, диареи и малярии в странах Африки, Азии и Южной Америки. Эксперты ВОЗ считают дефицит цинка одной из главных причин ежегодной смертности 800 тыс. детей в возрасте до пяти лет в проблемных регионах мира [5, 6]. Таким образом, обогащение почв цинком и повышение его содержания в растительной продукции до оптимальных величин является важной задачей глобального характера [7].

Эффективность цинка и других микроэлементов, вносимых с удобрениями, зависит от содержания их подвижных форм в почве, которое может существенно изменяться во времени под влиянием хозяйственной деятельности человека [8–11]. Интенсификация земледелия, применение высоких доз минеральных удобрений сопровождается повышением урожайности сельскохозяйственных культур и снижением обеспеченности пахотных почв подвижными формами микроэлементов, что обуславливает необходимость систематического применения микроудобрений. Эффективность дорогостоящих микроудобрений в значительной степени зависит от концентрации подвижных форм соответствующих микроэлементов в почвах.

Крупномасштабное обследование почв пашни и улучшенных луговых земель по содержанию подвижных форм цинка в Республике Беларусь ведется с 1985 г. За прошедший период содержание микроэлементов в почвах различных районов изменилось как в сторону повышения

их концентрации в почве, так и в сторону снижения. В результате даже средневзвешенное содержание цинка по отдельным районам различается вдвое [12]. Еще большие различия по группам обеспеченности почв микроэлементами наблюдаются по полям севооборотов. Поэтому важно определить направленность происходящих процессов на перспективу в зависимости от природных особенностей районов и от уровня интенсификации земледелия.

Цель настоящей работы – установить параметры и дать прогноз изменения обеспеченности почв подвижными формами цинка по группам административных районов Беларуси в зависимости от сложившегося уровня интенсификации земледелия и вероятных сценариев на перспективу. Актуальность прогноза динамики агрохимических свойств почв обусловлена необходимостью предотвращения деградации плодородия почв, повышения устойчивости производства и качества растениеводческой продукции.

Объекты и методы исследований. Проведен системный анализ динамики содержания подвижных форм цинка в почвах Беларуси на материале результатов крупномасштабного обследования в сопоставлении с показателями интенсификации земледелия (среднегодовые дозы минеральных и органических удобрений, продуктивность всех сельскохозяйственных культур в кормовых единицах с гектара) по статистическим отчетным данным.

Крупномасштабное обследование почв пашни и улучшенных луговых земель по содержанию подвижных форм цинка ведется областными проектно-изыскательскими станциями химизации сельского хозяйства под методическим руководством Института почвоведения и агрохимии. Определение содержания подвижных форм цинка – в вытяжке 1 М HCl по Пейве-Ринькису в модификации БелНИИПА (ОСТ 0147–88).

Объекты исследований – почвы сельскохозяйственных земель Беларуси (пашня, улучшенные сенокосы и пастбища), содержание в них подвижных форм цинка, вносимые органические и минеральные удобрения, урожайность сельскохозяйственных культур.

Метод исследований – системный анализ динамики количественных параметров содержания подвижных форм цинка в почвах сельскохозяйственных земель в зависимости от уровня интенсификации земледелия. Показатели кислотности pH_{KCl} , содержания фосфора и калия определяются в смешанном почвенном образце с каждого элементарного участка. Для определения содержания в почве гумуса и микроэлементов образцы формируются путем объединения исходных смешанных образцов четырех элементарных участков общей площадью не более 50 га [13].

Для подвижных форм цинка установлены градации содержания в почве, которые разделяются на четыре группы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Градация по содержанию подвижных форм цинка в почвах Беларуси, мг/кг сухой почвы

| Тип почвы | Группа по обеспеченности | | | |
|-------------|--------------------------|--------------|---------------|-----------------|
| | низкая (I) | средняя (II) | высокая (III) | избыточная (IV) |
| Минеральные | < 3,0 | 3,1–5,0 | 5,1–10,0 | > 10,0 |
| Торфяные | < 10,0 | 10,1–15,0 | 15,1–30,0 | > 30,0 |

Установленные оптимальные параметры соответствуют в основном верхнему уровню II группы обеспеченности почв, где необходимо компенсирующее вынос внесение цинка в виде некорневых подкормок, обработки семян и поступающих микроэлементов с органическими удобрениями и комплексными минеральными удобрениями. На почвах III группы обеспеченности внесение цинкостержащих микроудобрений не требуется, за исключением обработки семян микроэлементами или некорневых подкормок для повышения качества продукции. Параметры IV группы обеспеченности (более 10 мг/кг для дерново-подзолистых и более 30,0 мг/кг для торфяных почв) предполагают избыточное содержание подвижных форм цинка. Установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) содержания подвижного цинка в дерново-подзолистых почвах, дифференцированные по гранулометрическому составу и степени кислотности почв. Для почв с кислой реакцией ($pH_{KCl} < 5,5$) ПДУ для песчаных, супесчаных и суглинистых разновидностей составляют Zn 12,0–14,0–15,0 мг/кг почвы соответственно [14]. Это значит, что небольшое превышение указанных параметров концентрации подвижного цинка в почвах может сопровождаться

накоплением избытка цинка в продукции зерновых культур и многолетних трав, а значительное превышение – признаками фитотоксичности растений. На почвах IV группы содержания подвижных форм цинка исключается применение цинксодержащих удобрений.

Интенсификация земледелия в Беларуси на рубеже XXI века. Система удобрений в Беларуси должна предусматривать компенсацию минерализуемых органических веществ и выноса элементов питания с урожаем и обеспечивать постепенное повышение запасов в почвах гумуса, макро- и микроэлементов до оптимального уровня. В период 80-х годов прошлого века, вплоть до 1992 г., в Беларуси применялись повышенные дозы органических и минеральных удобрений, которые обеспечивали не только формирование высокой продуктивности севооборотов, но и положительный баланс гумуса и элементов питания растений. В годы перехода к рыночной экономике наблюдалось уменьшение количества вносимых минеральных и органических удобрений, определившее отрицательный баланс органических веществ и элементов минерального питания растений в почве. В 1997–2000 гг. продуктивность севооборотов снизилась до уровня 28,4 ц/га к. ед., т. е. на 34 %. Начиная с 2005 г. продуктивность пашни была восстановлена на уровне конца 80-х годов прошлого столетия (41,5–44,3 ц/га) в основном за счет существенного увеличения доз минеральных и небольшого повышения доз органических удобрений (рис. 1).

В результате интенсивного ведения растениеводства в последние годы заметно возросла обеспеченность почв фосфором и калием. По данным последнего тура агрохимического обследования, доля пахотных почв в республике с высоким содержанием подвижных фосфора ($P_2O_5 > 250$ мг/кг) и калия ($K_2O > 300$ мг/кг) составляет 23,7 и 13,1 % соответственно [12]. Уровень применения органических удобрений в определенной степени определяет баланс органических веществ и является важным источником пополнения запаса подвижных форм микроэлементов в пахотных почвах. Пополнение запасов органического вещества дерново-подзолистых почв или поддержание его бездефицитного баланса требует как осуществления мониторинга содержания гумуса, так и учета основных факторов, регулирующих баланс гумуса. Первостепенное влияние на динамику содержания и баланса гумуса в почве оказывает структура севооборота, количество применяемых органических и минеральных удобрений, гранулометрический состав и режим увлажнения почв [15–18].

Несбалансированная интенсификация земледелия сопровождается снижением почвозащитного действия севооборотов. Изменения в структуре посевных площадей заключаются в расширении доли площади пропашных культур от 9,3 % в 1996 г. до 26,2 % в 2012 г., особенно за счет кукурузы и сахарной свеклы (рис. 2).

Одновременно сократилась с 26,1 до 14,2 % доля посевов многолетних трав – главного гумусообразующего и почвозащитного фактора современного земледелия. Если в 1996 г. в среднем по Беларуси на 1 га пропашных культур приходилось 2,8 га многолетних трав, то в настоящее время это соотношение составляет 0,54.

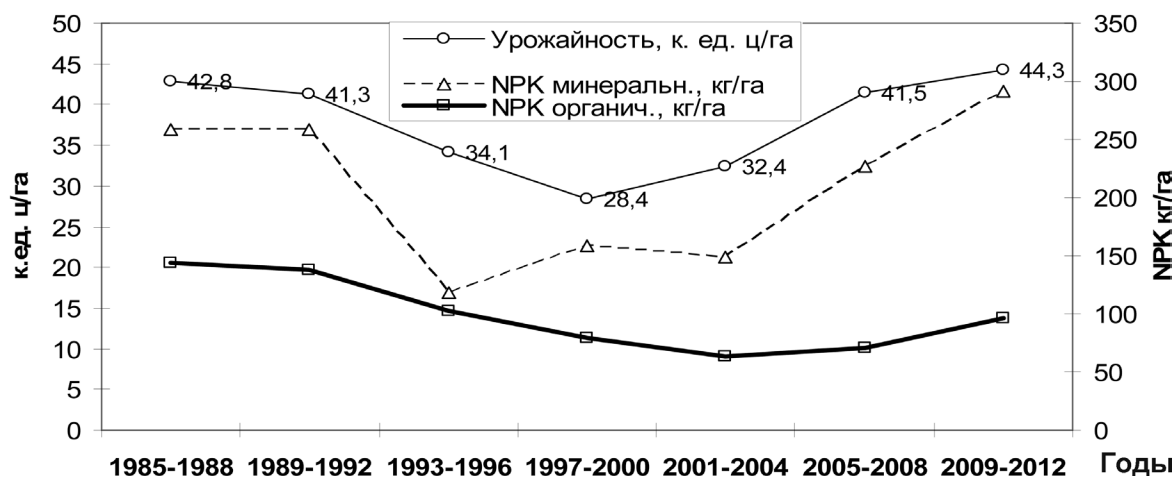


Рис. 1. Динамика применения минеральных и органических удобрений и продуктивность пашни в Беларуси за период 1985–2012 гг.

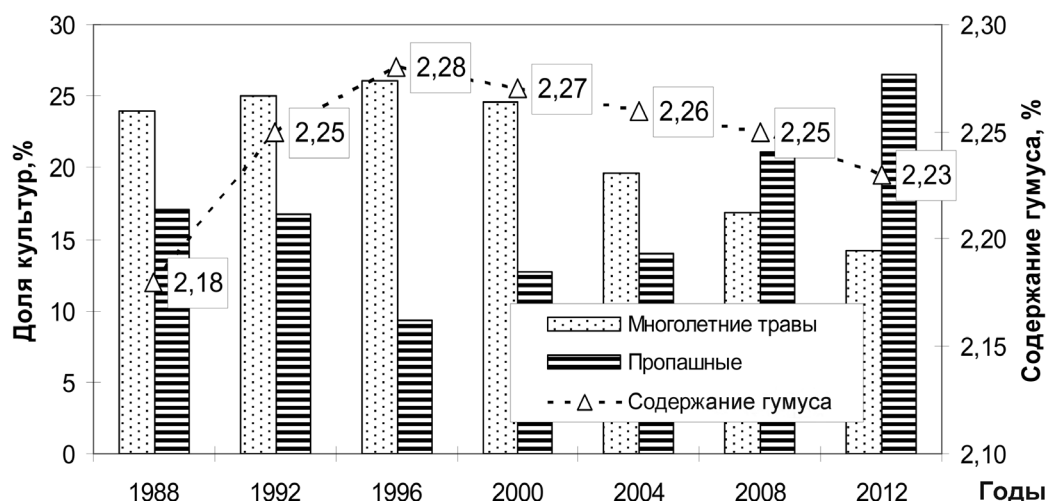


Рис. 2. Динамика структуры посевов и содержания гумуса в пахотных почвах Беларуси

Характер изменения структуры посевов, доз внесения органических удобрений и содержания гумуса в пахотных почвах значительно различается по областям (табл. 2), а еще больше по районам и хозяйствам, в зависимости от сочетания природных и хозяйственных факторов.

Т а б л и ц а 2. Изменение содержания гумуса в пахотных почвах в сопоставлении с внесением навоза и структурой посевов по областям Беларуси за период 1996–2012 гг.

| Область | Средневзвешенное содержание гумуса, % | | Внесено навоза, т/га | | Доля многолетних трав в структуре посевов, % | | Соотношение многолетние травы / пропашные | |
|-----------------|---------------------------------------|---------------|----------------------|------------|--|-------------|---|-------------|
| | 2012 г. | +/- к 1996 г. | 1996 г. | 2012 г. | 1996 г. | 2012 г. | 1996 г. | 2012 г. |
| Брестская | 2,46 | -0,12 | 14,7 | 14,5 | 18,2 | 11,5 | 1,2 | 0,41 |
| Витебская | 2,49 | 0,06 | 7,2 | 6,3 | 32,6 | 13,8 | 8,8 | 1,12 |
| Гомельская | 2,29 | -0,18 | 10,9 | 8,8 | 19,3 | 8,5 | 1,5 | 0,25 |
| Гродненская | 1,87 | -0,03 | 12,0 | 12,2 | 20,0 | 15,0 | 2,0 | 0,64 |
| Минская | 2,35 | -0,07 | 11,2 | 10,2 | 25,3 | 13,4 | 2,8 | 0,58 |
| Могилевская | 1,92 | -0,10 | 7,4 | 8,5 | 29,0 | 14,9 | 5,5 | 0,75 |
| Беларусь | 2,23 | -0,05 | 10,3 | 9,9 | 26,1 | 14,2 | 2,8 | 0,54 |

Наибольшее снижение содержания гумуса наблюдается на пашне Брестской и Гомельской областей, где доля многолетних трав снизилась до 11,5 и 8,5 % от общей площади посева соответственно. Очевидно, что ведущую роль в достижении бездефицитного баланса гумуса в почвах республики следует отвести комплексу почвозащитных мер, включающему оптимизацию структуры посевов почв и повышение количества вносимых органических удобрений.

Параметры содержания подвижных форм цинка в пахотных и луговых почвах. Содержание валовых форм микроэлементов в почвах определяется минералогическим и гранулометрическим составом почвообразующих пород. Известно, что содержание микроэлементов в почвообразующих породах на территории Беларуси значительно ниже, чем в Нечерноземной зоне Российской Федерации [1, 19]. Валовое содержание цинка в преобладающих флювиогляциальных и древнеаллювиальных песчаных породах Беларуси составляет от 4,0–7,0 до 15,9 мг/кг. В моренных валунных суглинках содержание валовых форм цинка примерно до 2–4 раз выше. И только в редко встречающихся озерно-ледниковых глинах и пылеватых суглинках содержание микроэлементов еще несколько выше. Растения могут поглощать из почвы водорастворимые, растворимые в слабых кислотах и обменносорбированные формы цинка, однако содержание их невелико – 11–18 % [1, 10]. Подвижность микроэлементов в пахотном горизонте определяется типом почв, содержанием органических веществ, степенью кислотности и другими факторами.

Несбалансированная интенсификация земледелия, применение высоких доз азотных удобрений на фоне подкисления почв может сопровождаться усилением дефицита доступных растением форм цинка [4, 20–21]. Анализ данных мониторинга за все время обследования почв показы-

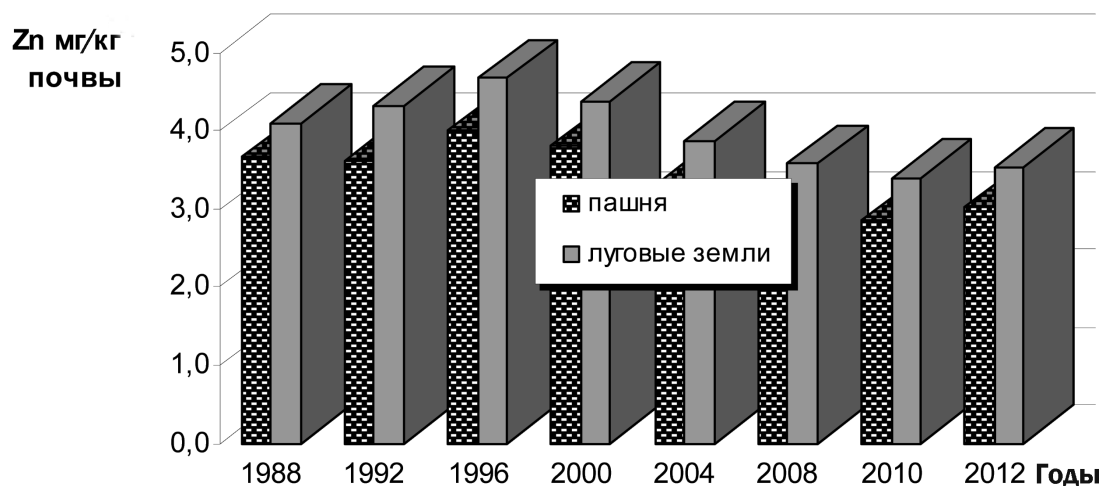


Рис. 3. Динамика средневзвешенного содержания подвижного цинка в пахотных и луговых почвах Беларуси за период 1988–2012 гг.

вает два разнонаправленных периода изменения содержания подвижного цинка в пахотных и луговых почвах (рис. 3).

В первый период (1988–1996 гг.) в целом по Беларуси наблюдался небольшой тренд накопления цинка в почвах. Средневзвешенное содержание цинка на пашне повысилось от 3,67 до 4,01 мг/кг, а в луговых почвах – от 4,11 до 4,68 мг/кг, или на 9 и 14 %. Отметим, что в Брестской, Гомельской и Минской областях уже в этот период проявились признаки снижения концентрации подвижных форм цинка в гумусовых горизонтах почв. В дальнейшем поступление цинка с осадками, удобрениями и мелиорантами было недостаточным, чтобы компенсировать выщелачивание из почвы и вынос элемента с отчуждаемой частью сельскохозяйственных культур.

Пахотные и луговые земли по обеспеченности подвижными формами цинка мало различаются по типам и разновидностям почв (табл. 3): различия по областям небольшие – до 1,3 раза, по районам – до 2 раз, а по полям севооборотов – почти на порядок.

Т а б л и ц а 3. Распределение пахотных почв и улучшенных сенокосов и пастбищ Беларуси по группам обеспеченности подвижными формами цинка, 2009–2012 гг.

| Вид почвы | Площадь, тыс. га | По группам содержания Zn, мг/кг, % | | | | Средневзвешенное, Zn мг/кг почвы |
|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|
| | | ≤ 3,0 < 10,0 | 3,1–5,0 10,1–15,0 | 5,1–10,0 15,1–30,0 | ≥ 10,0 > 30,0 | |
| <i>Пахотные почвы</i> | | | | | | |
| Дерново-подзолистые: | | | | | | |
| суглинистые | 1018 | 62,3 | 28,7 | 8,0 | 1,0 | 3,12 |
| супесчаные | 2506 | 67,0 | 25,5 | 6,8 | 0,7 | 2,94 |
| песчаные | 1058 | 62,7 | 28,9 | 7,7 | 0,8 | 3,05 |
| Торфяные | 220 | 60,3 | 24,4 | 13,6 | 1,7 | 10,48 |
| <i>Улучшенные сенокосы и пастбища</i> | | | | | | |
| Минеральные | 1643 | 52,7 | 31,3 | 13,8 | 2,2 | 3,58 |
| Торфяные | 470 | 54,3 | 26,0 | 16,8 | 2,9 | 11,34 |

В целом за период 1996–2012 гг. средневзвешенная концентрация подвижного цинка в пахотных и луговых почвах Беларуси снизилась на 25 %. Доля почв с низким содержанием подвижного цинка повысилась от 50,2 до 64,7 % от площади пашни (табл. 4).

Доля почв IV группы обеспеченности, где нельзя применять цинкостержащие удобрения, наоборот, снизилась с 5,2 до 0,8 %. Это говорит о значительных резервах повышения урожайности и качества продукции зерновых и бобовых культур, в особенности кукурузы, за счет применения цинкостержащих удобрений.

Т а б л и ц а 4. Изменение обеспеченности пахотных почв подвижными формами цинка по районам Беларуси за период 1996–2010 гг.

| Показатель | 1996 г. | 2012 г. | Разница, % |
|---|-----------|-----------|------------|
| Средневзвешенное содержание Zn, мг/кг почвы | 4,01±1,38 | 3,02±0,44 | -24,7 |
| Размах колебаний содержания Zn, мг/кг почвы | 2,54–9,35 | 2,24–4,26 | |
| Коэффициент вариации, % | 34,5 | 14,4 | |
| Доля площади с низким содержанием Zn, % | 50,2 | 64,7 | 14,5 |
| Доля площади с избыточным содержанием Zn, % | 5,2 | 0,8 | -4,4 |

Прогноз изменения содержания подвижных форм цинка в пахотных почвах по группам районов. Снижение содержания подвижных форм цинка в пахотных почвах происходит по принципу снижения концентраций и выравнивания на границе между I и II группой обеспеченности. Установлена функциональная линейная зависимость снижения содержания подвижного цинка от величины его исходного содержания в пахотных почвах (рис. 4):

$$y = -0,8356x + 2,37, \quad (1)$$

где y – изменение содержания подвижного цинка в пахотных почвах за период 1996–2012 гг., +/- мг/кг почвы; x – исходное содержание подвижного цинка в пахотных почвах в период 1992–1996 гг.

Приведенная выше функция показывает, что в подавляющем числе районов, где исходное содержание подвижного цинка превышало 2,84 мг/кг почвы, происходило снижение концентрации его подвижных форм тем сильнее, чем выше была исходная концентрация цинка в почве.

Районы ранжированы по степени убывания содержания подвижного цинка в период максимального содержания (1992–1996). Выделены четыре группы районов, где исходное содержание цинка было : 1) > 7,0 ; 2) 5,1–7,0; 3) 3,1–5,0 и 4) 3,0 мг/кг почвы и менее, а потери подвижных форм цинка за период 1996–2012 гг. различались, соответственно, 62 – 44 – 14 – 0 % от исходного содержания (табл. 5).

Основными факторами нарастающего дефицита подвижных форм цинка в пахотных почвах является уменьшение внесения навоза, интенсивная минерализация органических веществ, повышенные дозы азотных удобрений, отрицательный баланс гумуса и возросший вынос цинка с растениеводческой продукцией.

Отрицательный баланс гумуса является главным фактором снижения содержания подвижных форм цинка в пахотных почвах. По данным М. В. Рака [10], 13 % цинка связано с органиче-

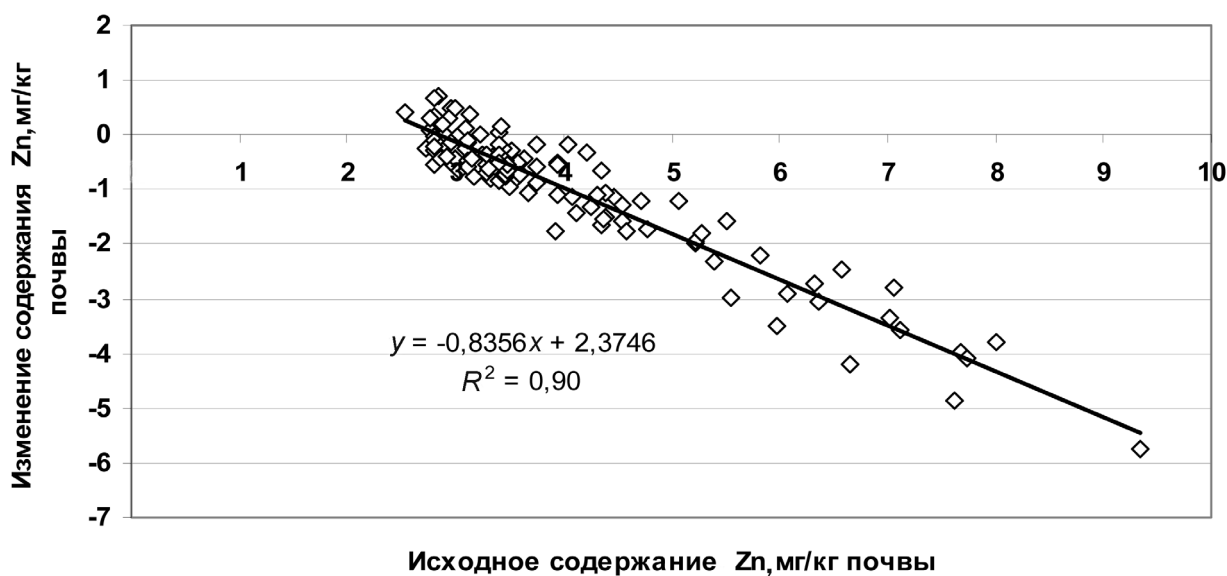


Рис. 4. Изменение средневзвешенных показателей содержания подвижных форм цинка в пахотных почвах по районам Беларуси за период 1996–2012 гг.

Т а б л и ц а 5. Динамика содержания подвижных форм цинка в зависимости от удобрений, баланса гумуса и продуктивности пашни по группам районов Беларуси

| Кол-во районов | Содержание Zn, мг/кг почвы | | Внесение навоза, т/га в год | | Внесено минеральных удобрений, кг/га, 2009–2012 гг. | | Содержание гумуса, % | | Продуктивность пашни, к. ед. ц/га | |
|----------------|----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------|---|-----|----------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| | 2009–2012 гг. | +/- к 1996 г. | 1997–2012 гг. | +/- к 1991–1996 гг. | NPК | N | 2009–2012 гг. | +/- к 1996 г. | 2009–2012 гг. | +/- к 1991–1996 гг. |
| 8 | 3,68 | -6,11 | 5,6 | -4,2 | 279 | 98 | 2,02 | -0,12 | 42,9 | 12,7 |
| 14 | 3,30 | -2,55 | 6,9 | -3,6 | 305 | 101 | 2,09 | -0,08 | 44,5 | 11,6 |
| 68 | 2,98 | -0,48 | 8,5 | -4,4 | 294 | 99 | 2,31 | -0,05 | 45,6 | 10,3 |
| 28 | 2,84 | -0,02 | 6,6 | -4,9 | 287 | 97 | 2,29 | 0,00 | 40,9 | 10,2 |

скими соединениями дерново-подзолистых супесчаных почв, что сопоставимо с общим содержанием его подвижных форм и является важным дополнительным источником питания растений. Влияние органических веществ на подвижность цинка в почве неоднозначно. С одной стороны, органические вещества являются важным резервом подвижного цинка, и по мере снижения в почве запаса гумуса снижается и содержание микроэлемента. С другой стороны, снижение содержания гумуса способствует менее прочной адсорбции ионов цинка, большей их подвижности и доступности для растений [22, 23].

В I группе 8 районов, где содержание гумуса снизилось на 0,12 %, а продуктивность пашни повысилась на 12,7 ц/га к. ед., содержание подвижного цинка снизилось на 62 %, или с 9,79 до 3,68 мг/кг почвы. Во II группе (14 районов), с отрицательным балансом гумуса 0,08 %, прирост продуктивности составил 11,6 ц/га, содержание цинка здесь уменьшилось на 2,55 мг/кг почвы, или на 44%. В III группе из 68 районов потеря гумуса оценивается в 0,05 %, а снижение содержания цинка составляет 0,48 мг/кг, или 14 % от исходного состояния. И только в IV группе (28 районов), где наблюдался бездефицитный баланс гумуса, а исходное содержание подвижного цинка было низким (2,84 мг/кг почвы), установилось его равновесное содержание. В группах районов с большими потерями подвижных форм цинка наблюдалась и повышенная доля сильно- и среднекислых почв с показателями реакции pH менее 5,0 (рис. 5).

Известно, что реакция почвы оказывает непосредственное воздействие на состояние цинка в растворе, а также влияет на другие почвенные факторы, определяющие поведение цинка в почве. В кислой среде (pH 4 и менее) цинк находится в виде двухвалентных катионов, а при повышении показателя pH до 6–8 преобладающей формой становится малорастворимый гидроксид $Zn(OH)_2$. Наименьшая растворимость соединений цинка в почвах наблюдается в интервале pH 5,5–7,5 [22]. При дальнейшем подщелачивании почв цинк может снова переходить в раствор в результате образования растворимых цинкатов. Поэтому систематическое известкование для достижения равновесной оптимальной реакции почв является важной предпосылкой поддержания необходимых запасов доступных растениям форм цинка.

Для прогноза динамики содержания подвижных форм цинка на период до 2020 г. при среднем прогнозируемом уровне внесения минеральных удобрений NPK 240 кг/га, в том числе N 80 кг/га по всем выделенным группам районов, рассматривается три сценария:

1) *реалистичный* – восстановление оптимальной структуры посевов – не менее 1,0 млн га многолетних трав при соотношении многолетних трав : пропашные = 1,4–1,5, согласно рекомендациям Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию, известкование кислых почв по потребности, бездефицитный и положительный баланс гумуса;

2) *оптимистический* – оптимальная структура посевов, бездефицитный и положительный баланс гумуса, сбалансированное применение необходимых

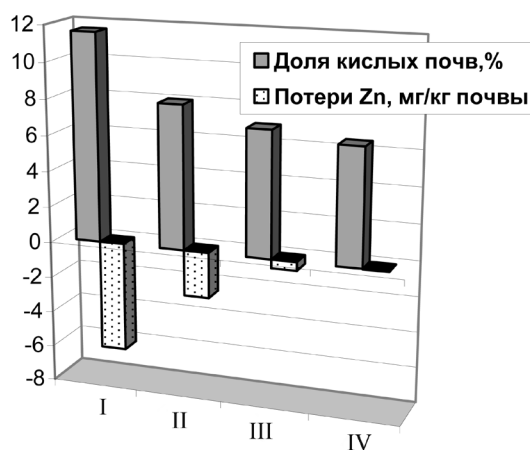


Рис. 5. Потери подвижных форм цинка за период 1996–2012 гг. в зависимости от доли площади кислых пахотных почв (pH < 5,0) по группам районов Беларуси

макро- и микроудобрений под продовольственные и кормовые культуры, расширенное воспроизводство плодородия почв;

3) *пессимистический* – несбалансированная интенсификация земледелия (структура посевов 2013 г.), отрицательный баланс гумуса, недостаточное известкование кислых почв, 50 % от потребности (факт 2013 г.) [25].

В случае реализации сценария 1 по всем районам будет обеспечен положительный или бездефицитный баланс гумуса и повысится выход навоза на 1–2 т/га пашни, что позволит поддерживать нынешнюю продуктивность пашни при внесении NPK 240 кг/га, включая азот N 80 кг/га. В I группе (8 районов – Бельничский, Бобруйский, Осиповичский, Кировский, Кличевский, Кричевский, Мстиславский, Славгородский) произойдет незначительное повышение содержания подвижного цинка в почве на 0,02 мг/кг почвы (табл. 6). Во II группе (14 районов – Брестский, Столинский, Октябрьский, Хойникский, Минский, Глусский, Краснопольский, Костюковичский, Круглянский, Хотимский, Чаусский, Чериковский, Шкловский) ожидается повышение содержания подвижного цинка в почве на 0,05 мг/кг почвы.

Т а б л и ц а 6. Прогноз содержания подвижного цинка в зависимости от удобрений, баланса гумуса и продуктивности пашни по группам районов Беларуси на период до 2020 г.

| Кол-во районов | Содержание Zn, мг/кг почвы | | Внесение навоза т/га в год | | Содержание гумуса, % | | Продуктивность пашни, к. ед. ц/га | |
|------------------------------------|----------------------------|---------|----------------------------|---------|----------------------|---------|-----------------------------------|---------|
| | 2009–2012 гг. | 2020 г. | 1997–2012 гг. | 2020 г. | 2009–2012 гг. | 2020 г. | 2009–2012 гг. | 2020 г. |
| <i>Реалистичный сценарий 1</i> | | | | | | | | |
| 8 | 3,68 | 3,70 | 5,6 | 6–7 | 2,02 | 2,07 | 42,9 | 42–43 |
| 14 | 3,30 | 3,35 | 6,9 | 7–8 | 2,09 | 2,12 | 44,5 | 43–44 |
| 68 | 2,98 | 3,05 | 8,5 | 8–9 | 2,31 | 2,32 | 45,6 | 44–45 |
| 28 | 2,84 | 2,92 | 6,6 | 7–8 | 2,29 | 2,32 | 40,9 | 40–41 |
| <i>Оптимистический сценарий 2</i> | | | | | | | | |
| 8 | 3,68 | 3,90 | 5,6 | 6–7 | 2,02 | 2,07 | 42,9 | 43–44 |
| 14 | 3,30 | 3,50 | 6,9 | 7–8 | 2,09 | 2,12 | 44,5 | 45–46 |
| 68 | 2,98 | 3,20 | 8,5 | 8–9 | 2,31 | 2,32 | 45,6 | 46–47 |
| 28 | 2,84 | 3,10 | 6,6 | 7–8 | 2,29 | 2,32 | 40,9 | 42–44 |
| <i>Пессимистический сценарий 3</i> | | | | | | | | |
| 8 | 3,68 | 2,90 | 5,6 | 5–6 | 2,02 | 1,90 | 42,9 | 39–41 |
| 14 | 3,30 | 2,85 | 6,9 | 6–7 | 2,09 | 2,00 | 44,5 | 42–43 |
| 68 | 2,98 | 2,80 | 8,5 | 7–8 | 2,31 | 2,25 | 45,6 | 43–44 |
| 28 | 2,84 | 2,75 | 6,6 | 6–7 | 2,29 | 2,25 | 40,9 | 39–40 |

В самой многочисленной III группе (68 районов) прогнозируется повышение содержания подвижного цинка в почве на 0,07 мг/кг почвы. В последней IV группе (28 районов – Браславский, Витебский, Лепельский, Лиозненский, Миорский, Оршанский, Полоцкий, Сенненский, Толочинский, Ушачский, Шумилинский, Ельский, Наровлянский, Рогачевский, Петриковский, Черчерский, Берестовицкий, Зельвенский, Новогрудский, Кореличский, Островецкий, Березинский, Копыльский, Крупский, Солигорский, Столбцовский, Узденский и Червенский районы) прогнозируется повышение содержания подвижного цинка в почве на 0,08 мг/кг почвы, или на 2,8 %. Главный итог заключается в том, что будет предотвращена дальнейшая потеря запаса подвижных форм цинка и других дефицитных микроэлементов в пахотных почвах республики.

При реализации сценария 2 ожидается положительный баланс гумуса и повышение среднегодовой продуктивности пашни на 2–3 ц к. ед. с гектара вследствие сбалансированного питания растений тех же доз макроудобрений с внесением комплексных удобрений с добавками цинка и других необходимых микроэлементов под наиболее отзывчивые культуры на почвах I группы обеспеченности (см. табл. 6).

Специально спланированные вегетационные и полевые опыты, проведенные профессором Г. П. Дубиковским и сотрудниками [8], показали возможность существенно повысить содержание подвижных форм цинка, меди и бора при системном внесении в почву соответствующих микроудобрений. Дальнейшие исследования под руководством М. В. Рака показали, что некорневые подкормки растворами комплексонов цинка в дозе Zn 150 г/га здесь также весьма эф-

фективны, поскольку позволяют повысить урожайность кукурузы и других зерновых культур на 7–15 %. Однако содержание цинка в продукции повышается недостаточно и не всегда достигает нижней границы оптимума 20–60 мг/кг сухой массы [9–11]. Поэтому на почвах I группы обеспеченности предпочтительно применение комплексных минеральных удобрений с добавками цинка, обеспечивающих внесение в почву Zn 1,0–1,5 кг/га.

На почвах II группы обеспеченности достаточно провести некорневые подкормки растений цинком (и другими микроэлементами), которые позволяют удовлетворить потребности различных культур в полноценном минеральном питании, повысить урожайность и качество продукции без существенного повышения содержания подвижного цинка в почве, который уже находится на уровне, близком к оптимуму.

Таким образом, при реализации сценария 2 ожидается повышение содержания подвижного цинка в почве на 7–9 % и заметное повышение содержания цинка в растениях, что будет способствовать также повышению качества продукции продовольственных и кормовых культур. Эффективность данного сценария согласуется и с опубликованными результатами исследований в Канаде [23].

По сценарию 3 практически во всех районах республики будет наблюдаться отрицательный баланс гумуса, подкисление реакции почв, а содержание подвижного цинка будет менее 3 мг/кг почвы на 80–90 % площади пашни (см. табл. 6). В последние годы в результате недостаточного финансирования снижено количество внесенной извести: в 2008–2010 гг. – на 12 %, 2011–2012 гг. – на 28 %, а в 2013 г. – 50 % от потребности. Анализ материалов агрохимического обследования за 2008–2012 гг. показал признаки подкисления пашни в 83 районах, луговых почв – в 68 районах.

Доля площади сильно- и среднекислых пахотных почв ($pH < 5,0$) увеличилась в целом по республике на 1,8 %, в Минской области – на 3,1 %, а в Могилевской области – на 4,3 % и составила 6,0–5,7–8,2 % соответственно. Если не будет восстановлен требуемый ежегодный объем внесения извести (2,2 млн т $CaCO_3$) и не будет обеспечен бездефицитный баланс гумуса, то выщелачивание цинка и других микроэлементов вглубь профиля почв существенно усилится. При реализации сценария 3 ожидается снижение продуктивности пашни на 1–3 ц к. ед. с гектара, а также снижение качества продукции продовольственных и кормовых культур.

Заключение. Сформирована электронная база данных обеспеченности почв подвижными формами цинка в разрезе районов Беларуси за период 1985–2012 гг. Проведен анализ результатов семи туров обследования почв по содержанию подвижных форм цинка в сопоставлении со структурой посевов, применением органических и минеральных удобрений по областям и районам Беларуси. Выделено два периода с противоположной динамикой обеспеченности почв подвижным цинком.

В первый период (1988–1996 гг.) преобладал положительный тренд накопления подвижного цинка в пахотных и луговых почвах – на 9 и 14 % соответственно. За последующий период (1996–2012 гг.) запасы доступного растениям цинка в почвах снизились на 25 %. Доля пахотных почв Беларуси с низким содержанием подвижного цинка увеличилась от 50,2 до 64,7 % от общей площади.

Нарастающий дефицит подвижных форм цинка в пахотных почвах является следствием несбалансированной интенсификации земледелия и подкисления почв. Сокращение доли многолетних трав с 26,1 до 14,2 % при одновременном повышении доли пропашных культур от 9,3 до 26,2 % на фоне невысоких доз органических удобрений и повышенных доз азота обусловили отрицательный баланс гумуса, а также возросший вынос цинка с растениеводческой продукцией. Выделены четыре группы районов, где потери подвижного цинка за период 1996–2012 гг. различались – 62–44–14–0 % от исходного содержания соответственно. В результате существенно возросла потребность сельскохозяйственных культур в цинксодержащих удобрениях.

Разработан прогноз содержания подвижных форм цинка в пахотных почвах на период до 2020 г. по выделенным группам районов для возможных трех сценариев.

Литература

1. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений / И. С. Лупиневич [и др.]. – Минск, 1970. – 196 с.
2. Оптимальные параметры плодородия почв / Т. Н. Кулаковская [и др.]. – М.: Колос, 1984. – 272 с.

3. *Cakmak, I.* Zinc deficiency in wheat in Turkey / I. Cakmak // *Micronutrient deficiencies in global crop production.* – 2008. – P. 181–200.
4. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М., 2009. – 520 с.
5. *Black, R. E.* Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world / R. E. Black // *Journal Nutr.* – 2003. – Vol. 133. – S. 1485–1489.
6. *Caulfield, L. E.* Zinc Deficiency / L. E. Caulfield, R. E. Black // *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors* / M. Ezzati, A. D. Lopez, A. Rodgers and C. J. L. Murray (Eds.). – Geneva: World Health Organization, 2004. – N 1. – P. 257–259.
7. Biofortification of durum wheat with zinc and iron / I. Cakmak [et al.]. – *Cereal Chem.* – 2010. – Vol. 87. – P. 10–20.
8. *Дубиковский, Г. П.* Изменение содержания бора, меди, цинка в дерново-подзолистой супесчаной почве в зависимости от доз вносимых микроудобрений / Г. П. Дубиковский, З. С. Ковалевич // *Почвенные исследования и применение удобрений.* – 1984. – Вып. 15. – С. 98–107.
9. *Рак, М. В.* Поступление микроэлементов в растения при некорневой подкормке овса, возделываемого на дерново-подзолистой супесчаной почве / М. В. Рак, Г. М. Сафроновская, М. Ф. Дембицкий // *Почвоведение и агрохимия.* – 2006. – №1(36). – С. 181–188.
10. *Рак, М. В.* Параметры потребления микроэлементов зерновыми культурами из дерново-подзолистой супесчаной почвы и микроудобрений / М. В. Рак, Г. М. Сафроновская // *Почвоведение и агрохимия.* – 2006. – №1(36). – С. 181–188.
11. *Кляусова, Ю. В.* Эффективность микроудобрений при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой супесчаной почве на разных уровнях минерального питания / Ю. В. Кляусова // *Почвоведение и агрохимия.* – 2009. – №2(43). – С. 216–226.
12. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2012. – 276 с.
13. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: метод. указания / под ред. И. М. Богдевича. – Минск, 2012. – 48 с.
14. Рекомендации по допустимому содержанию меди и цинка в почве при возделывании зерновых культур и многолетних трав / С. Е. Головатый, И. М. Богдевич, З. С. Ковалевич, Г. В. Слободницкая. – Минск. – 2006. – 43 с.
15. *Лапа, В. В.* Влияние органо-минеральной системы удобрения на продуктивность севооборотов и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа, В. Н. Босак, Г. В. Пироговская // *Агрохимия.* – 2009. – № 2. – С. 40–44.
16. *Лапа, В. В.* Параметры изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от севооборотов и систем удобрения / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // *Почвоведение и агрохимия.* – 2009. – №2 (43). – С. 7–22.
17. *Никончик, П. И.* Агроэкономические основы систем использования земли / П. И. Никончик. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 532 с.
18. Влияние систем удобрения на баланс элементов питания и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т. М. Серая [и др.] // *Почвоведения и агрохимия.* – 2012. – №1 (48). – С. 62–69.
19. *Панасин, В. И.* Содержание микроэлементов в почвах Калининградской области / В. И. Панасин. – Калининград, 1979. – 105 с.
20. *Bergmann, W.* Nutritional disorders of plants / W. Bergmann, G. Fisher. – New York, 1992. – 741 p.
21. *Marchner, H.* Mineral nutrition of higher plants / H. Marchner; 2-nd ed. – London, 2002. – 674 p.
22. *Пейве, Я. В.* Биохимия почв / Я. В. Пейве. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 421 с.
23. *Ермоленко, Н. Ф.* Микроэлементы и коллоиды почв / Н. Ф. Ермоленко. – Минск: Наука и техника, 1966. – 319 с.
24. *Gupta, U. C.* Effect of zinc fertilization on plant zinc concentration of forages and cereals / U. C. Gupta // *Can. J. Soil Sci.* – 1989. – Vol. 69. – P. 473–479.
25. *Богдевич, И. М.* Динамика степени кислотности пахотных и луговых почв в результате известкования / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос, О. М. Таврыкина // *Почвоведение и агрохимия.* – 2014. – № 1 (52). – С. 159–172.

I. M. BOGDEVITCH. O. L. LOMONOS

AVAILABILITY OF ZINC IN ARABLE SOILS AND GRASSLANDS IN RELATION TO THE LEVEL OF INTENSIFICATION OF ARABLE FARMING IN THE REGIONS OF BELARUS

Summary

On the basis of the data of a large agrochemical survey the increasing deficit of mobile Zn in arable soils and grasslands has been determined as a result of unbalanced intensification of arable farming, negative balance of organic matter and soil acidification. Four groups of regions with deferent losses of mobile Zn (62–44–14–0 % of the initial content) for the period 1996–2012 have been identified. It results in the increasing demand of agricultural crops for Zn fertilization. The prognosis of mobile Zn content in arable soils in respect of the identified groups of regions for the period to 2020 is presented.