

УДК 631.452(470.32)

МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА РОССИИ

© 2021 г. С. В. Лукин^{1,2,*}

¹ Центр агрохимической службы “Белгородский”
308027 Белгород, ул. Щорса, 8, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
308015 Белгород, ул. Победы, 85, Россия

*E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.06.2020 г.

После доработки 31.07.2020 г.

Принята к публикации 10.12.2020 г.

Обобщены и проанализированы результаты 10-ти циклов агрохимического обследования, проводимых с 1964 по 2018 г. на территории Белгородской обл. Почвенный покров в лесостепной части области в основном представлен черноземами типичными и выщелоченными, в степной – черноземами обыкновенными. Было установлено, что в течение 10-го цикла агрохимического обследования (2015–2018 гг.) пахотных почв средний уровень внесения минеральных удобрений составил 112.3 кг/га, органических – 8.1 т/га, известкования – 75 тыс. га кислых почв в год. В результате средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась до 4.50, сахарной свеклы – до 44.1, кукурузы на зерно – до 6.65 т/га, а продуктивность 1 га посевной площади достигла 4.85 тыс. к.е. При этом в почвах установлены максимальные за всю историю наблюдений величины средневзвешенного содержания органического вещества (5.2%), подвижных форм P_2O_5 (146 мг/кг) и K_2O (172 мг/кг). Сократилась до 35.5% доля кислых почв, в том числе среднекислых – до 5.8%. Средневзвешенное содержание подвижных форм серы увеличилось до 3.3, марганца – до 11.7 мг/кг, меди – осталось стабильным – 0.11, цинка и кобальта – снизилось соответственно до 0.50 и 0.078 мг/кг.

Ключевые слова: кислотность почв, микроэлементы, органическое вещество почвы, удобрения, подвижные формы P_2O_5 и K_2O , сера, черноземы.

DOI: 10.31857/S000218812103011X

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и воспроизводство плодородия пахотных почв является важнейшей частью стратегии сбалансированного развития агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности России. Одними из самых плодородных почв на нашей планете считаются российские черноземы [1–3]. Среди развитых аграрных регионов Российской Федерации важное место занимает Центрально-Черноземный район (ЦЧР), включающий помимо расположенной на юго-западе Белгородской обл., еще Воронежскую, Курскую, Липецкую и Тамбовскую обл.

За период 2015–2019 гг. посевная площадь в ЦЧР в среднем составляла 8.69 млн га (10.9% пашни РФ). Области, входящие в ЦЧР, довольно сильно отличаются уровнем развития сельскохозяйственного производства. Например, самая высокая урожайность зерновых и зернобобовых

культур была установлена в Белгородской обл. (4.60 т/га), самая низкая – в Тамбовской (3.41 т/га), в РФ средняя урожайность составляла 2.62 т/га. Минеральные удобрения в наибольших дозах (144.1 кг/га) использовали в Курской обл., в наименьших (94.9 кг/га) – в Тамбовской, при этом в среднем в России уровень их внесения составляет всего 52.7 кг/га. Больше всего органических удобрений вносили в Белгородской обл. (8.5 т/га), меньше всего – в Тамбовской (0.25 т/га), что даже меньше, чем в среднем в России (1.47 т/га) [4].

Однако за 300-летний период интенсивного использования природного плодородия черноземов ЦЧР без учета научно обоснованных приемов его воспроизводства существенно усилилась антропогенная деградация [3]. Главными видами деградации пахотных почв являются прогрессирующее развитие водной эрозии, снижение со-

держания органического вещества и подвижных форм некоторых макро- и микроэлементов. В лесостепной зоне ЦЧР отмечено существенное увеличение доли кислых почв, что особенно негативно отражается на урожайности сахарной свеклы – культуры, доля которой в валовом производстве России составляет $\approx 50\%$ [5–9].

Проектирование и внедрение комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию минерального питания сельскохозяйственных растений, сохранение и расширенное воспроизводство плодородия почв, является важнейшей частью адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Их разработка должна базироваться на актуальных материалах агрохимического мониторинга, который начали проводить в РФ с 1964 г. Цель работы – обобщить и проанализировать закономерности изменения основных параметров плодородия пахотных почв юго-западной части ЦЧР в процессе длительного (1964–2018 гг.) сельскохозяйственного использования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Белгородской обл., которая расположена в пределах юго-западного склона Среднерусской возвышенности, являющейся частью Восточно-Европейской равнины. В западной части области расположена Украинская лесостепная почвенная провинция, а в центральной и частично восточной частях – Среднерусская лесостепная провинция. В этих провинциях преобладают черноземы типичные и выщелоченные. Юго-восточная часть области входит в состав Среднерусской провинции степных черноземов, и в ней преобладают черноземы обыкновенные.

В муниципальных образованиях (МО) области доля эродированных пахотных почв изменяется в пределах от 22.8 (Грайворонский городской округ) до 66.0% (Валуйский городской округ) и в среднем составляет 47.9% [8]. Среднемноголетний показатель гидротермического коэффициента (ГТК) меняется в пределах от 0.9 на юго-востоке до 1.2 на западе области. В среднем за 2015–2018 гг. посевная площадь составила 1428.5 тыс. га.

В работе использованы материалы сплошного агрохимического обследования пахотных почв, проведенного в 1964–2018 гг. Площадь элементарного участка составляла 20 га, образцы почвы отбирали с глубины 0–25 см. Изучение свойств целинных аналогов пахотных почв проводили в рамках фонового мониторинга в заповеднике “Белогорье” на участке “Ямская степь”, расположенном на территории Губкинского городского

округа и природном парке “Ровеньский”, расположенном в МО Ровеньский р-н.

В почвенных образцах определяли содержание органического вещества по методу Тюрина (ГОСТ 26213–91), подвижных соединений фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204–91), подвижных форм серы, извлекаемых раствором хлористого калия (ГОСТ 26490–85), подвижных форм микроэлементов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным (ААБ) раствором рН 4.8. Гидролитическую кислотность (H_c) определяли в соответствии с ГОСТ 26212-91, pH_{KCl} – в соответствии с ГОСТ 26483-85.

В работе использованы опубликованные данные Росстата о валовых сборах, урожайности и площади посевов сельскохозяйственных культур, площади произвесткованной пашни, а также дозах внесения органических и минеральных удобрений [4]. Продуктивность почв определяли путем пересчета валовых сборов главных сельскохозяйственных культур в сбор кормовых единиц (к.е.) с последующим суммированием полученных величин и делением на общую посевную площадь под культурами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание органического вещества во многом определяет обеспеченность растений элементами питания, особенно при низком уровне использования удобрений, оказывает существенное влияние на физико-химические и водно-физические свойства почвы [10]. В пахотных почвах Курской, Липецкой, Воронежской, Тамбовской обл. средневзвешенное содержание органического вещества составляет соответственно 4.63, 5.52, 5.57, 6.60% [6, 11, 12].

По данным фонового мониторинга (“Ямская степь”), установлено, что целинный чернозем типичный содержит 10.1, выщелоченный – 9.7% органического вещества в слое 10–20 см. На протяжении 1985–2014 гг. средневзвешенное содержание органического вещества в почвах пашни варьировало в интервале от 4.8 до 5.0%, а в 2015–2018 гг. величина данного показателя увеличилась до 5.2%. При этом доля почв с повышенным содержанием органического вещества возросла до исторического максимума (15.9%), а с низким содержанием – уменьшилась до 13.1%. Преобладают в области пахотные почвы со средним (4.1–6.0%) содержанием органического вещества, их доля составляет 70.6% (табл. 1).

Таблица 1. Динамика обеспеченности пахотных почв органическим веществом

Показатель		Годы обследования (циклы)						
		1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)
Средневзвешенное содержание, %*		4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.2
Распределение почв по группам обеспеченности, % от обследованной площади	5 – высокая (8.1–10%)	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4 – повышенная (6.1–8%)	14.8	8.6	10.9	7.05	9.2	8.1	15.9
	3 – средняя (4.1–6%)	67.4	70.6	69.3	74.7	75.0	77.0	70.6
	2 – низкая (2.1–4%)	16.6	19.5	18.4	17.2	15.1	14.5	13.1
	1 – очень низкая (<2%)	1.4	1.2	1.4	1.05	0.7	0.4	0.4

*В 1-, 2- и 3-м циклах обследования данный показатель не определяли.

Установленный тренд к увеличению обеспеченности почв органическим веществом обусловлен несколькими причинами. Во-первых, благодаря интенсивному развитию свиноводства и птицеводства в 2015–2018 гг. уровень внесения органических удобрений достиг исторического максимума (8.1 т/га посевной площади), что почти в 1.7 раза больше, чем в 2010–2014 гг. (рис. 1). По обобщенным данным научных учреждений Центрального Черноземья, для достижения бездефицитного баланса органического вещества в интенсивных зернопропашных севооборотах в зависимости от наличия чистого пара, соотношения пропашных, зерновых и зернобобовых культур, требуется вносить от 6 до 8 т навоза КРС/га севооборотной площади [1, 2].

Во-вторых, реализуя областную программу биологизации земледелия, сельхозпроизводители стали уделять большое внимание пожнивным посевам сидератов [13]. В 2015–2018 гг. сидеральные культуры (в основном крестоцветные) в среднем за год высевали на площади 277.5 тыс. га, что составляет 19.4% от общей посевной площади, это в 2.8 раза больше, чем в 2010–2014 гг.

В-третьих, за этот же период доля посевной площади под многолетними бобовыми травами увеличилась с 5.9 до 6.7%. В почвозащитных севооборотах с долей многолетних трав 40% и более, расположенных в основном на эродированных почвах, положительный баланс органического вещества почвы может формироваться без использования органических удобрений за счет гу-

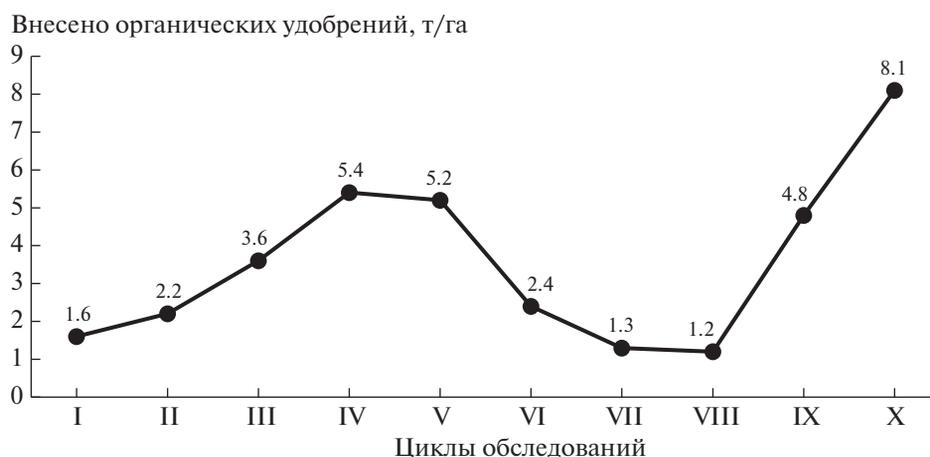


Рис. 1. Динамика внесения органических удобрений, т/га.

мификации растительных остатков и сокращения эрозионных потерь [2].

В-четвертых, важным источником органического вещества почвы являются пожнивно-корневые остатки и побочная продукция сельскохозяйственных культур. Их масса напрямую коррелирует с урожайностью основной продукции, которая в последние годы существенно увеличилась [10].

По данным 10-го цикла агрохимического обследования, самое низкое средневзвешенное содержание органического вещества отмечено в пахотных почвах Грайворонского городского округа (3.98%) и Борисовского р-на (4.30%), которые находятся на территории Украинской лесостепной почвенной провинции (табл. 2). В этой провинции преобладают черноземы мощные и среднемошные, малогумусные [8]. Наиболее высокое средневзвешенное содержание органического вещества отмечено в пахотном слое почв Губкинского городского округа (5.96%) и Прохоровского р-на (5.84%), которые находятся на территории Среднерусской лесостепной провинции. Черноземы этой провинции, в отличие от черноземов Украинской лесостепной провинции, относятся преимущественно к среднемошным и среднегумусным. Эти различия обусловлены особенностями почвообразовательного процесса.

Важной причиной дегумификации черноземов является водная эрозия почв, которая наиболее сильно развивается на склонах южной экспозиции крутизной >3 градусов. Черноземы типичные слабосмытые Украинской лесостепной провинции, в зависимости от экспозиции склонов, имеют среднее содержание органического вещества на 0.37–0.73%, среднесмытые – на 1.18–1.46% меньше, чем несмытые почвы водоразделов. В черноземах обыкновенных слабосмытых Среднерусской провинции степных черноземов среднее содержание органического вещества на 0.47–0.85%, среднесмытых – на 1.15–1.70% меньше, чем в несмытых почвах.

Кислотность является важнейшим показателем почвенного плодородия, который сильно влияет на подвижность макро- и микроэлементов в почвах, эффективность удобрений, количество и качество урожая сельскохозяйственных культур. Величина данного параметра зависит от особенностей климата и почвообразовательного процесса, степени развития эрозионных процессов, влияния антропогенных факторов [1–3].

В пределах Центрального Черноземья наиболее низкая доля кислых почв выявлена в Воронежской обл. (28.2%), которая преимущественно

располагается в степной зоне. В Курской, Липецкой и Тамбовской обл., расположенных в лесостепной зоне, доля кислых почв составляет соответственно 68.0, 73.8 и 76.0% [6].

Целинный чернозем типичный в слое 10–20 см имеет pH_{KCl} , равную 6.0, чернозем выщелоченный – 5.3. В степной зоне на территории природного парка “Ровеньский” чернозем обыкновенный в слое 15–25 см имеет величину pH_{KCl} 7.1.

Для пахотных почв лесостепной зоны ЦЧР в процессе длительной сельскохозяйственной эксплуатации характерен устойчивый тренд к подкислению. Основная естественная причина этого – постоянное вымывание осадками кальция из пахотного слоя, а главная антропогенная причина – использование физиологически кислых минеральных удобрений. Вблизи крупных промышленных центров на подкисление почв может влиять выпадение кислотных осадков (pH 3.0–4.0).

Для степных подтипов черноземов характерен обратный процесс – подщелачивание, причиной которого является перемещение карбонатов с восходящим током влаги в пахотный слой. Это негативно влияет на доступность растениям фосфатов и некоторых микроэлементов. Поэтому слабое подкисляющее действие минеральных удобрений, вносимых в степной зоне, можно считать позитивным.

Кислотность почв сильно зависит от развития эрозионных процессов. В Украинской лесостепной почвенной провинции в зависимости от экспозиции склона величина pH_{KCl} чернозема типичного слабосмытого была на 0.12–0.46, а среднесмытого – на 0.58–0.90 ед. больше, чем в несмытых почвах водоразделов. Как правило, на южных склонах величина pH_{KCl} больше, чем на северных.

По результатам агрохимического обследования 1976–1983 гг., доля кислых почв в области была минимальной и составляла всего 22.9%, в том числе среднекислых – 1.5%. В 1984–1994 гг. (4-й и 5-й циклы), несмотря на достаточно высокие объемы известкования (>30 тыс. га/год), доля кислых почв увеличилась до 35.9%, в том числе среднекислых – до 7.1%. За период мониторинга с 1995 г. по 2014 г. (6-, 7- и 8-й циклы) доля кислых почв увеличилась с 33.5 до 45.8%, среднекислых – с 6.1 до 12.6% (табл. 3). Причина этого – в резком сокращении объемов известкования в 1995–2009 гг. Например, в 7-м цикле известковали всего 1.2, в 8-м – 1.7 тыс. га/год (рис. 2).

С 2010 г. в области начали реализовывать целевую программу известкования кислых почв,

Таблица 2. Среднезвешенные показатели плодородия пахотных почв (2015–2018 гг.)

Муниципальное образование	Органическое вещество, %	Доля кислых (рН _{KCl} < 5.5) почв, %		рН _{KCl}	H _r , ммоль/100 г почвы	Содержание подвижных форм, мг/кг почвы						
		всего	в том числе среднекислых (рН _{KCl} 5.0–5.5)			P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co
МО, расположенные в Среднерусской провинции степных черноземов												
Вейделевский р-н	5.70	3.9	0.1	6.35	1.54	132	163	3.1	9.7	0.34	0.09	0.089
Ровенский р-н	4.82	0.0	0.0	6.85	0.79	107	135	2.0	7.4	0.34	0.10	0.080
МО, частично расположенные в Среднерусской провинции степных черноземов и Среднерусской лесостепной почвенной провинции												
Алексеевский городской округ (г.о.)	4.99	9.8	0.1	6.42	1.58	132	156	3.4	15.0	0.43	0.11	0.072
Валуйский г.о.	4.94	9.0	0.3	6.26	1.74	142	155	3.5	13.4	0.35	0.09	0.084
Волоконовский р-н	5.10	30.3	2.2	5.88	2.75	147	172	2.6	11.1	0.46	0.10	0.067
Красногвардейский р-н	5.33	21.3	1.2	6.06	2.42	146	178	3.4	10.8	0.45	0.11	0.068
МО, расположенные в Среднерусской лесостепной почвенной провинции												
Губкинский г.о.	5.96	49.5	8.7	5.63	3.55	124	151	2.9	11.1	0.46	0.13	0.112
Корочанский р-н	5.43	38.2	2.2	5.72	3.13	168	239	3.5	12.3	0.50	0.10	0.079
Красненский р-н	5.21	15.6	0.0	6.13	2.12	113	150	3.7	12.7	0.36	0.10	0.068
Новооскольский г.о.	5.18	38.5	3.0	5.84	2.88	181	193	3.0	12.1	0.48	0.10	0.081
Старооскольский г.о.	5.25	33.0	4.4	5.84	2.93	138	154	2.9	9.6	0.56	0.11	0.080
Чернянский р-н	4.73	35.7	6.0	5.79	2.99	158	171	3.9	9.4	0.51	0.11	0.085
МО, частично расположенные в Среднерусской и Украинской лесостепных почвенных провинциях												
Белгородский р-н	4.89	42.4	2.1	5.66	3.26	183	204	3.8	14.2	0.51	0.11	0.075
Прохоровский р-н	5.84	50.2	10.0	5.61	3.69	132	183	3.9	13.5	0.61	0.10	0.070
МО, расположенные в Украинской лесостепной почвенной провинции												
Борисовский р-н	4.30	73.0	18.9	5.39	4.02	133	173	3.0	15.1	0.72	0.09	0.082
Грайворонский г.о.	3.98	62.2	28.2	5.40	3.58	130	146	1.7	9.5	0.42	0.12	0.062
Ивнянский р-н	5.55	72.3	24.4	5.39	4.43	173	175	2.8	15.4	0.53	0.12	0.081
Краснояружский р-н	4.47	49.2	5.6	5.61	3.29	134	127	1.9	6.7	0.81	0.15	0.052
Ракитянский р-н	5.39	64.7	13.3	5.48	3.83	174	160	3.6	13.1	0.74	0.10	0.072
Яковлевский г.о.	5.05	46.1	8.7	5.59	4.16	167	183	4.7	13.1	0.70	0.10	0.075

Таблица 3. Динамика кислотности пахотных почв

Показатель	Годы обследования (циклы)								
	1976–1983 (3-й)	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)	
Средневзвешенная величина H_T , ммоль/100 г почвы*	н.д.	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	2.8	
Средневзвешенная величина pH_{KCl} **	5.8	6.0	5.9	6.0	5.9	5.9	5.8	5.9	
Распределение почв на группы по величине pH_{KCl} , % от обследованной площади	6 – нейтральные ($pH > 6.0$)	44.0	41.8	40.3	42.7	40.5	37.0	31.6	36.4
	5 – близкие к нейтральным ($pH 5.6–6.0$)	33.2	26.4	28.3	23.8	23.1	21.0	22.6	28.1
	4 – слабокислые ($pH 5.1–5.5$)	21.2	22.8	28.3	27.2	27.9	30.0	33.0	29.7
	3 – среднекислые ($pH 4.6–5.0$)	1.5	3.8	7.1	6.1	8.2	11.7	12.6	5.8
	2 – сильнокислые ($pH 4.1–4.5$)	0.1	0.3	0.5	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0
	Всего кислых почв	22.8	26.9	35.9	33.5	36.4	42.0	45.8	35.5

*В 1-, 2-, 3-м циклах обследования данный показатель не определяли.

**В 1-, 2-м циклах обследования данный показатель не определяли.

предусматривающую компенсацию части затрат на проведение данного мероприятия, благодаря чему в 9-м цикле ежегодные объемы известкования увеличились до 36.9 тыс. га. За период 2015–2018 гг. (10-й цикл) в среднем известкование про-

водили на площади 75 тыс. га в год, что составило 30.2% от российского уровня. Основным известковым мелиорантом является дефекат. Средняя доза внесения в 9-м цикле составила 23, в 10-м – 9.4 т/га. За 2015–2018 гг. в Воронежской, Тамбов-

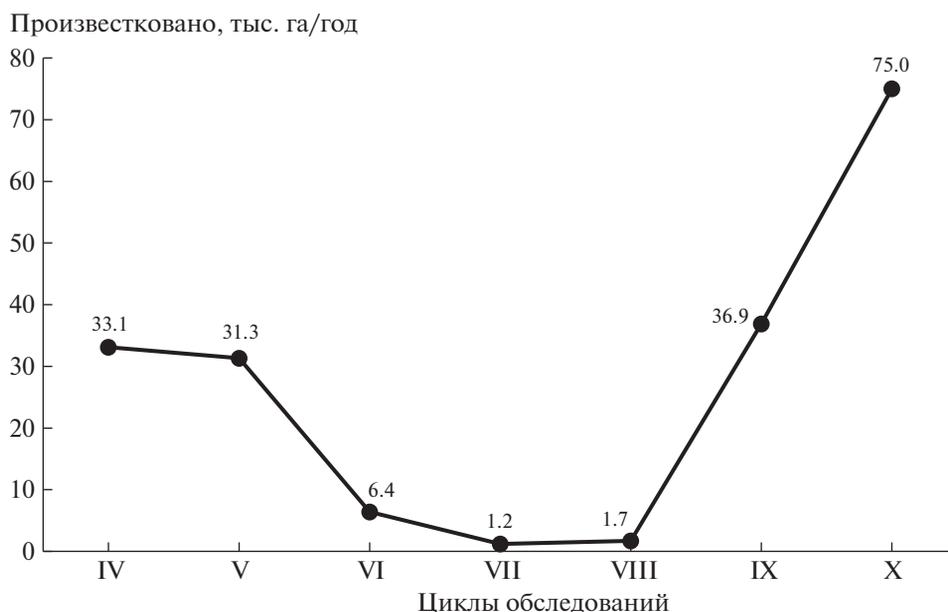


Рис. 2. Динамика известкования кислых почв, тыс. га/год.

Таблица 4. Динамика обеспеченности пахотных почв подвижными формами P_2O_5

Показатель	Годы обследования (циклы)									
	1964–1970 (1-й)	1971–1975 (2-й)	1976–1983 (3-й)	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)
Средневзвешенное содержание, мг/кг	55	72	86	103	119	131	121	116	138	146
Распределение почв по группам обеспеченности, % от обследованной площади	6 – очень высокая (>200 мг/кг)	0.4	1.0	3.5	6.5	13.1	13.3	10.3	8.5	17.6
	5 – высокая (151–200 мг/кг)	1.0	1.9	5.1	11.2	14.4	16.4	13.5	11.8	19.0
	4 – повышенная (101–150 мг/кг)	4.7	7.6	16.4	25.5	28.1	30.8	31.1	30.4	35.1
	3 – средняя (51–100 мг/кг)	39.9	65.1	57.2	43.9	34.7	33.6	38.0	41.5	29.0
	2 – низкая (21–50 мг/кг)	46.6	22.7	14.8	10.6	7.8	5.0	6.5	7.2	2.7
	1 – очень низкая (<20 мг/кг)	7.4	1.7	3.0	2.3	1.9	0.9	0.6	0.6	0.3

ской, Курской и Липецкой обл. ежегодно известковали соответственно 7.35, 9.23, 9.38, и 20.4 тыс. га кислых почв [4].

Ожидаемым результатом реализации программы известкования стало снижение в 2015–2018 гг. доли кислых почв до 35.5%, (среднекислых – до 5.8%). Оценивая эффективность известкования, следует учитывать, что под плановое агрохимическое обследование 2015–2018 гг. попала только часть почв, произвесткованных в эти годы, и все почвы, произвесткованные в 2010–2014 гг. Часть почв, произвесткованных в течение 10-го цикла, попадет под обследование только в 11-м цикле (2019–2022 гг.).

По результатам 10-го цикла агрохимического обследования, наиболее высокая доля кислых почв отмечена в МО, полностью входящих в Украинскую лесостепную почвенную провинцию: Грайворонском городском округе – 62.2, Ракитянском – 64.7, Ивнянском – 72.3, Борисовском – 73.0% р-нах (табл. 2). В МО, входящих в степную зону, кислые почвы практически отсутствуют, и отмечено систематическое подщелачивание черноземов. За период между 3-м и 10-м циклами обследования средневзвешенная величина pH_{KCl} пахотных почв в Ровенском р-не увеличилась с 6.5 до 6.85, в Вейделевском – с 6.2 до 6.35. Гидролитическая кислотность за период с 4-го по 10-й циклы в Ровенском р-не уменьшилась с 1.6 до 0.79, в Вейделевском – с 1.7 до 1.54 ммоль/100 г почвы.

Содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O в почвах является одним из важнейших показателей их плодородия, поскольку эти данные используют для оптимизации фосфорного и калийного питания растений [14, 15]. В пахотных почвах Тамбовской, Липецкой, Воронежской и Курской обл. средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 составляет соответственно 91, 97, 99, 131 мг/кг, подвижных соединений K_2O – 102, 121, 123, 106 мг/кг [6].

Целинные черноземы типичный и выщелоченный содержат в слое 10–20 см соответственно 28 и 24 мг/кг подвижных форм P_2O_5 , 101 и 105 мг/кг – K_2O , что по общепринятой в агрохимической службе оценочной шкале соответствует низкому уровню обеспеченности фосфором и повышенному – калием.

По данным 1-го цикла агрохимического обследования, средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 в пахотных почвах области составляло 55 мг/кг, затем величина данного параметра постоянно увеличивалась и в 6-м цикле достигла 131 мг/кг. Далее содержание подвижных соединений P_2O_5 стало снижаться, достигнув 116 мг/кг в 8-м цикле, после чего опять стали отмечать рост данного показателя до 138 мг/кг в 9-м и до 146 мг/кг – в 10-м циклах (табл. 4).

Средневзвешенное содержание подвижных форм K_2O в 1-м цикле составляло 105 мг/кг, к 4-му циклу увеличилось до 130 мг/кг, а затем до 8-го цикла было относительно стабильным, нахо-

Таблица 5. Динамика обеспеченности пахотных почв подвижными формами K_2O

Показатель	Годы обследования (циклы)										
	1964–1970 (1-й)	1971–1975 (2-й)	1976–1983 (3-й)	1984–1989 (4-й)	1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)	
Средневзвешенное содержание, мг/кг	105	97	120	130	126	128	121	127	147	172	
Распределение почв по группам обеспеченности, % от обследованной площади	6 – очень высокая (>180 мг/кг)	3.0	2.4	9.0	15.9	12.9	12.1	9.0	11.0	20.3	33.8
	5 – высокая (121–180 мг/кг)	32.8	18.4	32.5	36.7	30.5	34.0	31.9	36.1	40.3	41.3
	4 – повышенная (81–120 мг/кг)	35.3	44.1	43.0	33.2	37.5	38.4	42.5	39.0	31.1	20.1
	3 – средняя (41–80 мг/кг)	21.1	32.9	15.0	12.1	16.7	13.5	14.5	12.5	7.6	4.6
	2 – низкая (21–40 мг/кг)	6.5	2.1	0.4	2.0	2.1	1.9	2.0	1.4	0.6	0.2
	1 – очень низкая (<20 мг/кг)	1.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0

дьясь в интервале 121–130 мг/кг. В 9-м и 10-м циклах обследования средневзвешенное содержание подвижных соединений K_2O соответственно увеличилось до 147 и 172 мг/кг (табл. 5).

Основными антропогенными факторами, определяющими динамику содержания в почвах подвижных форм P_2O_5 и K_2O , являются уровень использования органических и минеральных удобрений и формирующийся при этом хозяйственный баланс элементов. Кроме того, на содержание подвижных форм P_2O_5 сильно влияет величина кислотности почв. При подщелачивании почв в результате известкования содержание подвижных фосфатов снижается [14].

В последние годы количество азота, поступающее с минеральными удобрениями, существенно выросло, P_2O_5 – стабилизировалось на низком уровне, а K_2O – немного снизилось. В 10-м цикле обследования P_2O_5 вносили в дозе 20.6 кг/га (18.3% от общего количества д.в.), K_2O – 16.6 кг/га (14.8%) (рис. 3). Основным источником поступления элементов стали органические удобрения, с которыми вносили $\approx 56\%$ P_2O_5 и 80% K_2O . В 9-м цикле обследования поступление P_2O_5 и K_2O с удобрениями компенсировало вынос этих элементов с товарной частью урожая соответственно на 144 и 208%, в 10-м – на 152 и 256% [16].

По результатам 10-го цикла обследования, до 17.6% увеличилась доля почв с очень высоким содержанием подвижных форм P_2O_5 , но пока преобладают почвы со средним (29.0%) и повышен-

ным (35.1%) содержанием подвижных форм этого элемента. Доля почв с очень высоким содержанием подвижных соединений K_2O возросла до 33.8%, а преобладают почвы с его высоким (41.3%) содержанием. В муниципальных образованиях области наблюдают достаточно сильную дифференциацию данных показателей, что в первую очередь связано с уровнем использования органических удобрений. В почвах Белгородского р-на отмечено наиболее высокое средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 (183 мг/кг), в почвах Ровеньского р-на – самое низкое (107 мг/кг). Самое высокое средневзвешенное содержание подвижных форм K_2O (239 мг/кг) было зафиксировано в почвах пашни Корочанского, а самое низкое (127 мг/кг) – в почвах Краснояружского р-нов.

Содержание подвижных форм серы и микроэлементов в пахотных почвах также является важным показателем плодородия, поскольку они напрямую влияют на урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции. В пахотных почвах многих регионов России отмечен дефицит подвижных форм серы и микроэлементов [17, 18]. Например, доли почв, низкообеспеченных подвижными формами марганца, цинка и меди, в Воронежской обл. соответственно составляют 86.9, 99.7 и 96.5%, в Липецкой – 35.1, 99.7 и 97.0%, в Тамбовской – 95.4, 97.9 и 100%. Недостаток подвижной серы отмечен в 89.2% обследованных почв в Тамбовской обл. и 58.0% – в Липецкой [7, 19, 20].

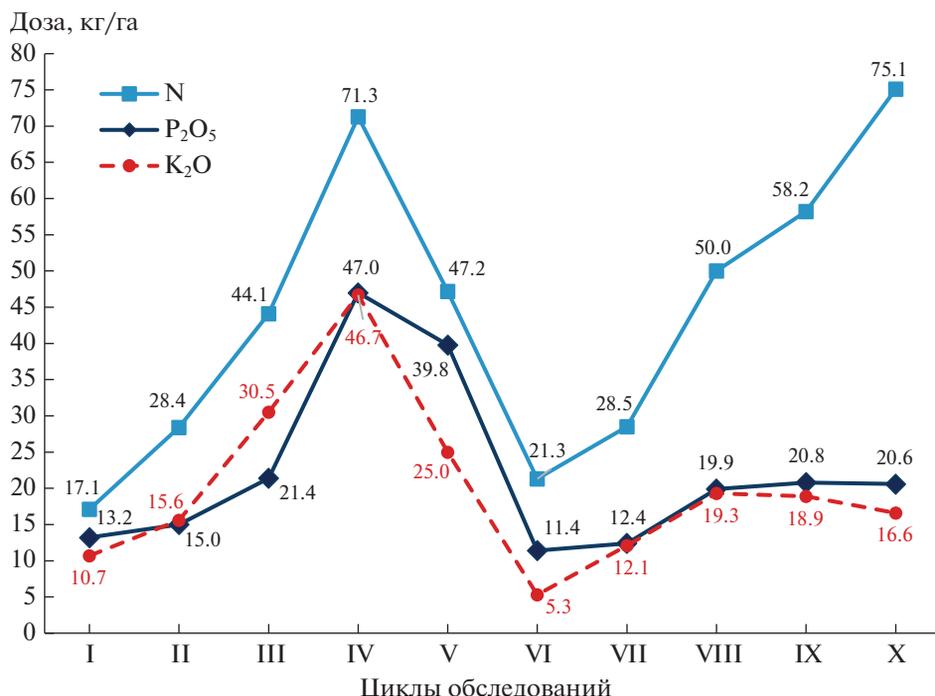


Рис. 3. Динамика поступления элементов питания с минеральными удобрениями, кг д.в./га.

В слое 10–20 см целинных черноземов типичных и выщелоченных фоновые уровни содержания подвижных форм серы соответственно составляют 4.5 и 2.9 мг/кг, цинка – 0.79 и 0.75, кобальта – 0.2 и 0.15, марганца – 10.9 и 12.8, меди – 0.24 и 0.19 мг/кг. В обоих подтипах чернозема содержание подвижных форм серы и цинка оценено как низкое, марганца – как среднее. Чернозем типичный характеризуется средней обеспеченностью подвижными формами меди и кобальта, чернозем выщелоченный – низкой обеспеченностью.

Средневзвешенное содержание подвижной серы в пахотных почвах области на максимальном уровне (6.8 мг/кг) было зафиксировано в 5-м цикле обследования, после чего резко сократилось поступление элемента в агроценозы от всех антропогенных источников, и величина данного показателя стала неуклонно снижаться, достигнув минимума (2.6 мг/кг) в 8-м цикле. По мере увеличения доз вносимых органических удобрений содержание серы в почвах возросло в 9-м цикле до 2.8, в 10-м – до 3.3 мг/кг [17]. В последнем цикле обследования установлено, что по величине данного параметра 90.4% почв относятся к категории низкообеспеченных (<6.0 мг/кг), 8.4% – среднеобеспеченных (6–12 мг/кг), 1.2% – высокообеспеченных (>12 мг/кг).

По итогам 10-го цикла мониторинга установлено, что средневзвешенное содержание в почвах

области подвижных форм марганца, цинка, меди и кобальта составляет соответственно 11.7, 0.5, 0.11, 0.078 мг/кг. К группе с низкой обеспеченностью подвижными формами кобальта (<0.15 мг/кг) относится 99.4, цинка (<2 мг/кг) – 98.7, меди (<0.2 мг/кг) – 98.2, марганца (<10 мг/кг) – 38.6% обследованных почв пашни. Для таких почв эффективно внесение микроудобрений. В районах области между средневзвешенным показателем гидролитической кислотности почв и содержанием подвижных форм цинка ($r = 0.72$) установлена сильная корреляционная связь, меди ($r = 0.33$) и марганца ($r = 0.34$) – связь средней силы, а корреляция с содержанием подвижных форм кобальта отсутствовала. Превышений предельно-допустимых концентраций (ПДК) подвижных форм микроэлементов в почвах на территории области за время наблюдений не фиксировали.

В 9-м цикле обследования средневзвешенное содержание подвижных форм цинка и кобальта было немного больше – 0.52 и 0.10 мг/кг соответственно, меди (0.11 мг/кг) – стабильно, марганца (10.3 мг/кг) – меньше, чем в 10-м цикле.

Урожайность сельскохозяйственных культур является обобщающим показателем плодородия почв. Ключевым фактором повышения продуктивности агроценозов, наряду с внедрением интенсивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, использованием высокоэффектив-

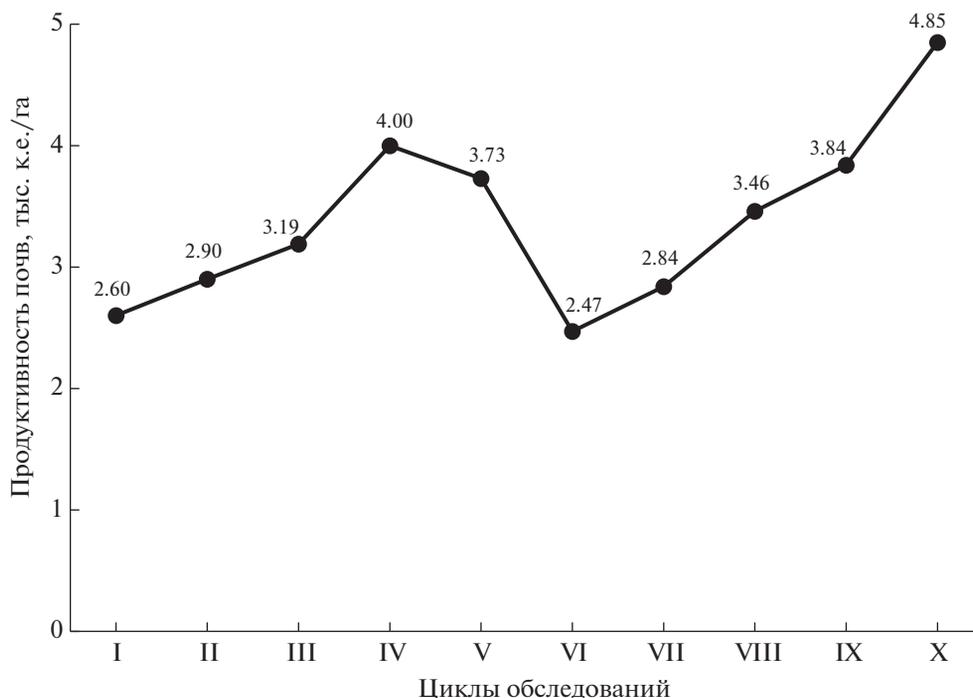
Таблица 6. Динамика применения удобрений и урожайности основных сельскохозяйственных культур

Показатель	Сельскохозяйственная культура	Годы обследования (циклы)					
		1990–1994 (5-й)	1995–1999 (6-й)	2000–2004 (7-й)	2005–2009 (8-й)	2010–2014 (9-й)	2015–2018 (10-й)
Урожайность, т/га	Сахарная свекла	21.2	17.9	23.4	21.8	36.8	44.1
	Кукуруза на зерно	2.25	2.32	2.66	3.93	4.97	6.65
	Озимая пшеница	3.23	2.23	2.68	3.30	3.54	4.50
Внесено органических удобрений, т/га	Сахарная свекла	6.6	3.6	2.7	3.1	4.5	5.9
	Кукуруза на зерно	3.7	0.8	0.2	2.0	11.1	25.1
	Озимая пшеница	15.5	8.2	4.5	2.3	4.0	4.5
Внесено минеральных удобрений, кг/га	Сахарная свекла	308	199	252	346	303	323
	Кукуруза на зерно	222	75	98	152	133	130
	Озимая пшеница	119	49	64	79	100	115

ных средств защиты растений и системы машин, является научно обоснованное использование удобрений [21]. Достигнутые в современных агротехнологиях относительно высокие уровни химической мелиорации, внесения органических и минеральных удобрений привели не только к улучшению многих агрохимических параметров почв, но и к существенному росту урожайности сельскохозяйственных культур. Например, средняя урожайность озимой пшеницы в 10-м цикле составила 4.50 т/га, что в 1.39 раза больше, чем в 5-м цикле, хотя дозы минеральных удобрений

были сопоставимыми, а доза органических удобрений в 5-м цикле была в 3.44 раза больше. Урожайность сахарной свеклы при сопоставимых дозах удобрений в 10-м цикле была в 2.1 раза больше, чем в 5-м. Урожайность кукурузы на зерно в 10-м цикле была почти в 3 раза больше, чем в 5-м, при этом дозы минеральных удобрений, внесенных под эту культуру, сократились в 1.7 раза, а дозы органических удобрений увеличились в 6.8 раза (табл. 6).

В прошлом веке наиболее высокая продуктивность 4.0 тыс. к.е./га посевной площади была до-

**Рис. 4.** Динамика продуктивности почв, тыс. к.е./га посевной площади.

стигнута в 4-м цикле. Такой результат являлся следствием реализации программы интенсивной химизации. Затем, по мере уменьшения использования удобрений, в 5-м и особенно 6-м циклах показатель снизился соответственно до 3.73 и 2.47 тыс. к.е./га. После этого фиксировали постоянный рост продуктивности, и в 10-м цикле величина параметра достигла максимума 4.85 тыс. к.е./га (рис. 4).

Установлена тесная корреляционная связь между продуктивностью почв и уровнем применения минеральных ($r = 0.80$) и органических ($r = 0.88$) удобрений. Из минеральных удобрений наиболее сильно влияет на данный показатель уровень внесения азотных ($r = 0.96$), в меньшей степени – фосфорных ($r = 0.56$) и калийных ($r = 0.48$) удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в течение 10-го цикла агрохимического обследования (2015–2018 гг.) пахотных почв Белгородской обл. средний уровень внесения минеральных удобрений составил 112.3 кг/га, органических – 8.1 т/га, известкования – 75 тыс. га кислых почв в год. В результате средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась до 4.50, сахарной свеклы – до 44.1, кукурузы на зерно – до 6.65 т/га, а продуктивность 1 га посевной площади достигла 4.85 тыс. к.е.

При этом в почвах установлены максимальные за всю историю наблюдений величины средневзвешенного содержания органического вещества (5.2%), подвижных форм P_2O_5 (146 мг/кг) и K_2O (172 мг/кг). Доля кислых почв снизилась до 35.5%, в том числе среднекислых – до 5.8%. Средневзвешенное содержание подвижных форм серы увеличилось до 3.3, марганца – до 11.7, меди – оставалось стабильным (0.11), цинка и кобальта – снизилось соответственно до 0.50 и 0.078 мг/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плодородие черноземов России / Под ред. Милащенко Н.З. М.: Агроконсалт, 1998. 688 с.
2. Акулов П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов. М.: Колос, 1992. 223 с.
3. Щербаков А.П., Васенев И.И. Агроэкологическое состояние почв ЦЧО. Курск, 1996. 326 с.
4. <http://www.fedstat.ru/indicators/stat.do> (дата обращения 24.04.2020).
5. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
6. Чекмарев П.А. Агрохимическое состояние пахотных почв ЦЧО России // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. № 9. С. 17–20.

7. Юмашев Н.П., Трунов И.А. Почвы Тамбовской области. Мичуринск – наукоград РФ. Мичуринск: изд-во МичуринскГАУ, 2006. 216 с.
8. Соловиченко В.Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород: Отчий дом, 2005. 292 с.
9. Сискевич Ю.И., Никоноренков В.А., Долгих О.В. Почвы Липецкой области. Липецк: ООО “Позитив Л”, 2018. 209 с.
10. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 223 с.
11. Хижняков А.Н., Цыганков Д.Н. Динамика изменения состояния плодородия пахотных почв Курской области за 50 лет // Достиж. науки и техн. АПК. 2014. Т. 28. № 10. С. 11–13.
12. Бадин А.Е., Логошина Т.П. Мониторинг плодородия почв Тамбовской области // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. № 10. С. 18–21. <https://doi.org/0.24411/0235-2451-2019-11004>
13. Соколов М.С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // Агрохимия. 2019. № 11. С. 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0002188119110127>
14. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М. Агробиохимический цикл фосфора. М.: РАСХН, 2012. 512 с.
15. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Ильин Б.С., Боева Н.Н. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах // Агрохимия. 2020. № 2. С. 14–19. <https://doi.org/10.31857/S000218812002009X>
16. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области // Достиж. науки и техн. АПК. 2020. Т. 34. № 2. С. 5–9. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10201>
17. Лукин С.В., Жуйков Д.В. Мониторинг содержания серы в почвах, растениях и органических удобрениях // Земледелие. 2019. № 2. С. 10–12. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10202>
18. Жуйков Д.В. Мониторинг содержания марганца в агроценозах // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. Т. 33. № 3. С. 19–22. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10304>
19. Корчагин В.И. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв Воронежской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж: Воронеж ГАУ им. императора Петра I, 2017. 28 с.
20. Чекмарев П.А., Сискевич Ю.И., Боровченко Н.С. Мониторинг агрохимических показателей почв Липецкой области // Достиж. науки и техн. АПК. 2016. Т. 30. № 8. С. 9–16.
21. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>

Monitoring of Fertility of Agricultural Soils in Southwestern Central Black Earth Region Of Russia

S. V. Lukin^{a,b,#}

^a Agrochemical Service Center “Belgorodsky”
ul. Shchorsa 8, Belgorod 308027, Russia

^b Belgorod State National Research University
ul. Pobedy 85, Belgorod 308015, Russia

[#] E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

It was summarized and analyzed the results of ten cycles of agrochemical examination conducted from 1964 to 2018 in the territory of the Belgorod region. The soil cover in the forest–steppe part of the region is mainly represented by typical and leached chernozems, in the steppe – ordinary chernozems. It was found that during the tenth cycle of agrochemical inspection (2015–2018) of arable soils, the average level of fertilizer application was 112.3 kg/ha, organic – 8.1 t/ha, liming – 75 thousand ha of acidic soils per year. As a result, the average yield of winter wheat increased to 4.50, sugar beet – up to 44.1, corn for grain – up to 6.65 t/ha, and the productivity of a hectare of sown area reached the level of 4.85 thousand feed units. In soils, the maximum values of the average weighted content of organic matter (5.2%), mobile forms of P₂O₅ (146 mg/kg) and K₂O (172 mg/kg) were established in soils over the entire history of observations. The share of acidic soils decreased to 35.5%, including medium acid soils – to 5.8%. The weighted average content of mobile forms of sulfur increased to 3.3, manganese to 11.7 mg/kg, copper remained stable at 0.11, and zinc and cobalt decreased to 0.50 and 0.078 mg/kg, respectively.

Key words: soil acidity, trace elements, soil organic matter, fertilizers, mobile forms of P₂O and K₂O, sulfur, chernozem.