

АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.41:631.452(470.32)

ДИНАМИКА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

© 2023 г. С. В. Лукин^{a, b, *} (ORCID: 0000-0003-0986-9995)

^aЦентр агрохимической службы “Белгородский”,
ул. Щорса, 8, Белгород, 308027 Россия

^bБелгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, Белгород, 308015 Россия

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

Поступила в редакцию 17.05.2023 г.

После доработки 30.05.2023 г.

Принята к публикации 01.06.2023 г.

Проанализированы результаты одиннадцати циклов обследования пахотных почв, проводимых с 1964 по 2022 гг. в юго-западной части Центрально-Черноземного района на территории Белгородской области. В степной зоне области преобладают черноземы обыкновенные, в лесостепной — черноземы типичные и выщелоченные. В течение одиннадцатого цикла обследования (2019–2022 гг.) средний уровень внесения минеральных удобрений составил 114.4 кг д.в./га, органических — 9.6 т/га, известкования кислых почв — 43.8 тыс. га в год. В результате средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась до 5.09, сахарной свеклы — до 45.6, кукурузы на зерно — до 7.15 т/га. При этом в почвах пашни зафиксировано максимальное за весь период наблюдений значение средневзвешенного содержания органического вещества (5.3%). Доля кислых почв снизилась до 28.6%, в том числе среднекислых — до 3.0%. Величина гидролитической кислотности уменьшилась до 2.7 смоль(экв)/кг. Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора (139 мг/кг) и калия (161 мг/кг) является самым высоким в регионе. К категории низкообеспеченных по содержанию подвижных форм серы относится 85.7% обследованных почв, цинка — 97.2, меди — 92.5, кобальта — 98.8, марганца — 40.1, молибдена — 21.3%. По содержанию подвижных форм бора 98.2% почв относится к категории высокообеспеченных.

Ключевые слова: известкование, кислотность почв, микроэлементы, органическое вещество почв, удобрения, урожайность, подвижные формы фосфора и калия, сера, чернозем

DOI: 10.31857/S0032180X23600890, **EDN:** DQWBBW

ВВЕДЕНИЕ

Во Всемирной хартии почв отмечается, что почвы играют основополагающую роль для жизни на Земле, однако антропогенная нагрузка на них подходит к критическому уровню. Поэтому рациональное использование почв является одним из неотъемлемых элементов устойчивого сельского хозяйства, важным инструментом регулирования климата и сохранения экосистем. В этом документе рекомендуется правительствам стран мира разработать национальные системы контроля за состоянием почвенных ресурсов [15].

В России одними из самых плодородных почв традиционно считаются черноземы Центрально-Черноземного района (ЦЧР). Однако в силу их длительного нерационального использования стали усиливаться такие виды деградации, как эрозия, дегумификация, подкисление и др. [25,

27, 28]. Кроме того, из-за низкого уровня используемых агротехнологий долгие годы продуктивность агроэкосистем в ЦЧР была крайне низкой. В последние годы ситуация стала меняться в лучшую сторону, внедряются современные агротехнологии, увеличилось использование удобрений, начали проводиться работы по химической мелиорации кислых почв. При этом существенно возросла урожайность сельскохозяйственных культур [11, 24, 33].

В ЦЧР наиболее развитой в аграрном плане является Белгородская область. С 2011 г. в ней реализуется программа биологизации земледелия, которая является неотъемлемой составной частью экологизации сельского хозяйства [8, 22]. Основная цель этой программы — создать почвенную среду, способную к самовосстановлению и самообогащению за счет биологических, природных



Рис. 1. Почвенная карта Белгородской области [9].

факторов, при этом продуктивность почвы должна быть увеличена как минимум в 1.5 раза [18].

В практическом плане реализация этой программы осуществляется посредством проектирования и последующего освоения проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв для всех землепользователей области [5–7].

Проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв и последующая оценка эффективности их освоения во многом осуществляются на основе данных государственного агроэкологического мониторинга, проводимого агрохимической службой России [11, 30, 31].

Цель работы – проанализировать динамику агроэкологического состояния пахотных почв Белгородской области в процессе длительного (1964–2022 гг.) сельскохозяйственного использования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 1964–2022 гг. в Белгородской области, расположенной на юго-западе ЦЧР России. Территория области включает лесостепную и степную природные зоны. Поч-

венный покров пашни лесостепной зоны представлен в основном черноземами типичными (Haplic Chernozems) (44.8% от всех пахотных почв области), выщелоченными (Luvic Chernozems) (25.7%) и темно-серыми лесными почвами (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems) (6.2%), а степной зоны – черноземами обыкновенными (Haplic Chernozems) (13.0%) (рис. 1). Доля эродированных пахотных почв составляет 47.9% [9, 23]. Посевная площадь под всеми сельскохозяйственными культурами в среднем за 2019–2022 гг. составила 1440.4 тыс. га [34].

Климат области – умеренно континентальный. Величина гидротермического коэффициента по Селянинову изменяется от 0.9 на юго-востоке степной зоны до 1.2 на западе лесостепной. Динамика среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков по циклам агрохимического обследования в среднем по метеостанциям (Белгород, Б. Фенино, Валуйки, Готня, Новый Оскол, Старый Оскол) представлена в табл. 1.

Фоновый мониторинг проводили на водораздельном участке “Ямская степь” государственного заповедника “Белогорье”, расположенного в лесостепной зоне в муниципальном образовании

Таблица 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков за год в Белгородской области

Показатель	Годы обследований (циклы)										
	1964–1970 (1)	1971–1975 (2)	1976–1983 (3)	1984–1989 (4)	1990–1994 (5)	1995–1999 (6)	2000–2004 (7)	2005–2009 (8)	2010–2014 (9)	2015–2018 (10)	2019–2022 (11)
$T, ^\circ\text{C}$	6.3	6.9	6.2	6.1	6.6	6.9	7.3	7.9	8.0	8.1	8.7
Осадки, мм	567	524	648	558	562	585	582	549	542	589	553

(МО) “Губкинский городской округ”, и территории целинного водораздельного участка, находящегося в степной зоне около с. Викторополь МО “Вейделевский район”.

В статье использованы материалы 11 циклов агроэкологического мониторинга почв, проводимого центром агрохимической службы “Белгородский”. В течение каждого цикла обследовали всю площадь пашни области. Продолжительность циклов составляла от 4 до 8 лет. За каждый цикл обследования отбирали и анализировали около 70 тыс. проб почвы. В почвенных пробах, отбираемых из пахотного слоя с элементарных участков площадью 15–20 га, определяли содержание органического вещества по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) по методу Чирикова (экстрагент – 0.5 М уксусная кислота) (ГОСТ 26204-91), подвижных форм серы турбидиметрическим методом (экстрагент – 1 М раствор хлористого калия) (ГОСТ 26490-85). Гидролитическую кислотность определяли в соответствии с ГОСТ 26212-91, pH солевой вытяжки – по ГОСТ 26483-85. Подвижный молибден исследовали по методу Григга, для экстракции использовали оксалатно-буферный раствор с pH 3.3 (ГОСТ Р 50689-94). Подвижные формы бора определяли по методу Бергера и Труога (экстрагент – вода) (ГОСТ Р 50688-94). Определение содержания подвижных форм цинка, марганца, меди и кобальта проводили по методу Крупского и Александровой (экстрагент – ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4.8) [14]. Валовое содержание элементов (экстрагент – 5 М HNO_3) и концентрацию их подвижных форм исследовали методом атомно-эмиссионной спектроскопии [13]. Удельную активность цезия-137 определяли методом γ -спектроскопии с использованием спектрометра-радиометра гамма – бета-излучений МКГБ-01 РАДЭК.

Статистическая обработка данных локального мониторинга включала расчет доверительного интервала для средних значений ($\bar{x} \pm t_{0.5} s \bar{x}$). В работе использованы опубликованные материалы Федеральной службы государственной статистики и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фоновый мониторинг. Важнейшим условием корректной оценки результатов агроэкологического мониторинга пахотных почв является наличие данных фонового состояния их целинных аналогов. Фоновый мониторинг проводится на землях особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

В Белгородской области фоновое содержание органического вещества в верхней части гумусово-аккумулятивных горизонтов целинных черноземов выщелоченных и обыкновенных составляет 9.7 и 9.5% соответственно (высокая группа обеспеченности), а в черноземе типичном – 10.1% (очень высокая группа обеспеченности). Содержание подвижных форм P_2O_5 в черноземах выщелоченных и типичных оценивается как низкое, а в черноземе обыкновенном – среднее. Содержание подвижных форм K_2O во всех подтипах черноземов соответствует повышенному уровню обеспеченности.

Фоновое содержание подвижных форм серы и цинка во всех подтипах черноземов оценивается как низкое, а бора – высокое. Для черноземов выщелоченных и обыкновенных характерна низкая обеспеченность подвижными соединениями марганца, меди и кобальта. В черноземах выщелоченных обеспеченность подвижными формами молибдена соответствует низкому уровню, а в черноземах обыкновенных – среднему. Черноземы типичные характеризуются средней обеспеченностью подвижным марганцем, медью, кобальтом и низкой – молибденом (табл. 2).

Применение удобрений и мелиорантов. Большое влияние на агроэкологическое состояние пахотных почв и продуктивность агроэкосистем оказывают уровень использования удобрений и объемы химической мелиорации.

За период с первого по четвертый циклы обследования средние дозы внесения минеральных удобрений увеличились с 41 до 165 кг действующего вещества/га, что явилось следствием реализации широкомасштабной программы химизации сельского хозяйства. В четвертом цикле был достигнут максимальный для прошлого века объем внесения минеральных удобрений, при этом на долю азота приходилось 43.2, фосфора – 28.5, калия – 28.3%. В пятом и шестом циклах отмеча-

Таблица 2. Фоновое содержание органического вещества и подвижных форм элементов в целинных почвах ООПТ

Показатель		Чернозем выщелоченный (слой 10—20 см)		Чернозем типичный (слой 10—20 см)		Чернозем обыкновенный (20—30 см)	
		ООПТ “Ямская степь”				ООПТ Викторополь	
		содержание	группа обеспеченности	содержание	группа обеспеченности	содержание	группа обеспеченности
Органическое вещество, %		9.7	Высокая	10.1	Очень высокая	9.5	Высокая
Подвижные формы, мг/кг	P ₂ O ₅	24	Низкая	28	Низкая	56	Средняя
	K ₂ O	105	Повышенная	101	Повышенная	101	Повышенная
	S	2.90	Низкая	2.30	Низкая	2.80	Низкая
	Zn	0.75	Низкая	0.79	Низкая	0.82	Низкая
	Mn	5.42	Низкая	10.9	Средняя	8.9	Низкая
	Cu	0.19	Низкая	0.24	Средняя	0.17	Низкая
	Co	0.14	Низкая	0.20	Средняя	0.14	Низкая
	Mo	0.09	Низкая	0.09	Низкая	0.12	Средняя
	B	1.10	Высокая	1.50	Высокая	2.80	Высокая

лось существенное снижение использования удобрений до 112 и 38 кг д.в./га соответственно. В последующие годы внесение минеральных удобрений увеличивалось и достигло максимального для текущего века уровня в одиннадцатом цикле (114.4 кг д.в./га), при этом доли азота, фосфора и калия составили 64.8, 17.3, 17.9% соответственно (рис. 2).

Уровень внесения органических удобрений увеличился с 1.6 т/га в первом до 5.4 т/га в четвертом циклах, а затем снизился до 1.2 т/га в восьмом. В последующие годы в Белгородской области очень успешно стало развиваться птицеводство и свиноводство, в результате чего увеличились объемы образования органических удобрений и в одиннадцатом цикле уровень их использования достиг исторического максимума 9.6 т/га.

В последние годы за счет использования высокопродуктивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, современных средств защиты растений, системы машин, позволяющих повысить качество внесения агрохимикатов и других технологических операций, существенно увеличилась эффективность удобрений. Например, в пятом цикле под сахарную свеклу в среднем вносилось 6.6 т/га органических, 308 кг д.в./га минеральных удобрений, и достигалась урожайность в 21.2 т/га, а в одиннадцатом цикле средняя доза внесения органических удобрений уменьшилась на 24.2% до 5.0 т/га, минеральных увеличилась на 19.2% до 367 кг д.в./га, но при этом урожайность выросла в 2.15 раза. За этот же период урожайность озимой пшеницы увеличилась в 1.58 раза, но средняя доза минеральных удобрений увеличилась всего на 11.8%, а органических снизилась в

2.54 раза. Урожайность кукурузы на зерно выросла в 3.18 раза, но при этом использование минеральных удобрений сократилось на 41.4%, а органических увеличилось в 7.65 раза (табл. 3).

Объемы известкования кислых почв в четвертом и пятом циклах составляли 33.1 и 31.3 тыс. га в год соответственно. В седьмом и восьмом циклах объемы химической мелиорации упали до минимума 1.2 и 1.7 тыс. га в год. В последующие годы благодаря реализации областной, а затем и федеральной программ по субсидированию данных работ объемы известкования существенно возросли. В десятом цикле ежегодно известковалось 75 тыс. га кислых почв (30.2% от уровня Российской Федерации).

В ЦЧР за 2015–2020 гг. наиболее высокие средние дозы минеральных удобрений вносились в Курской (156 кг д.в./га), а самые низкие – в Воронежской (88 кг д.в./га) областях. За эти годы, помимо Белгородской, наибольший уровень использования органических удобрений наблюдался в Воронежской (3.34 т/га), а наименьший – в Тамбовской (0.24 т/га) областях. Ежегодная площадь, на которой проводилось известкование кислых почв, составляла в Липецкой области 27.0, Тамбовской – 13.5, Курской и Воронежской областях – по 13.0. тыс. га [11, 34].

Содержание органического вещества в почвах традиционно считается важнейшим показателем его экологического состояния, вещественно-энергетической основой функционирования экосистем всех рангов [12]. В последние годы особенно важную роль органическому веществу почвы отводят в секвестировании выбросов углекислого газа [1, 4]. Неслучайно гумусовый слой почв

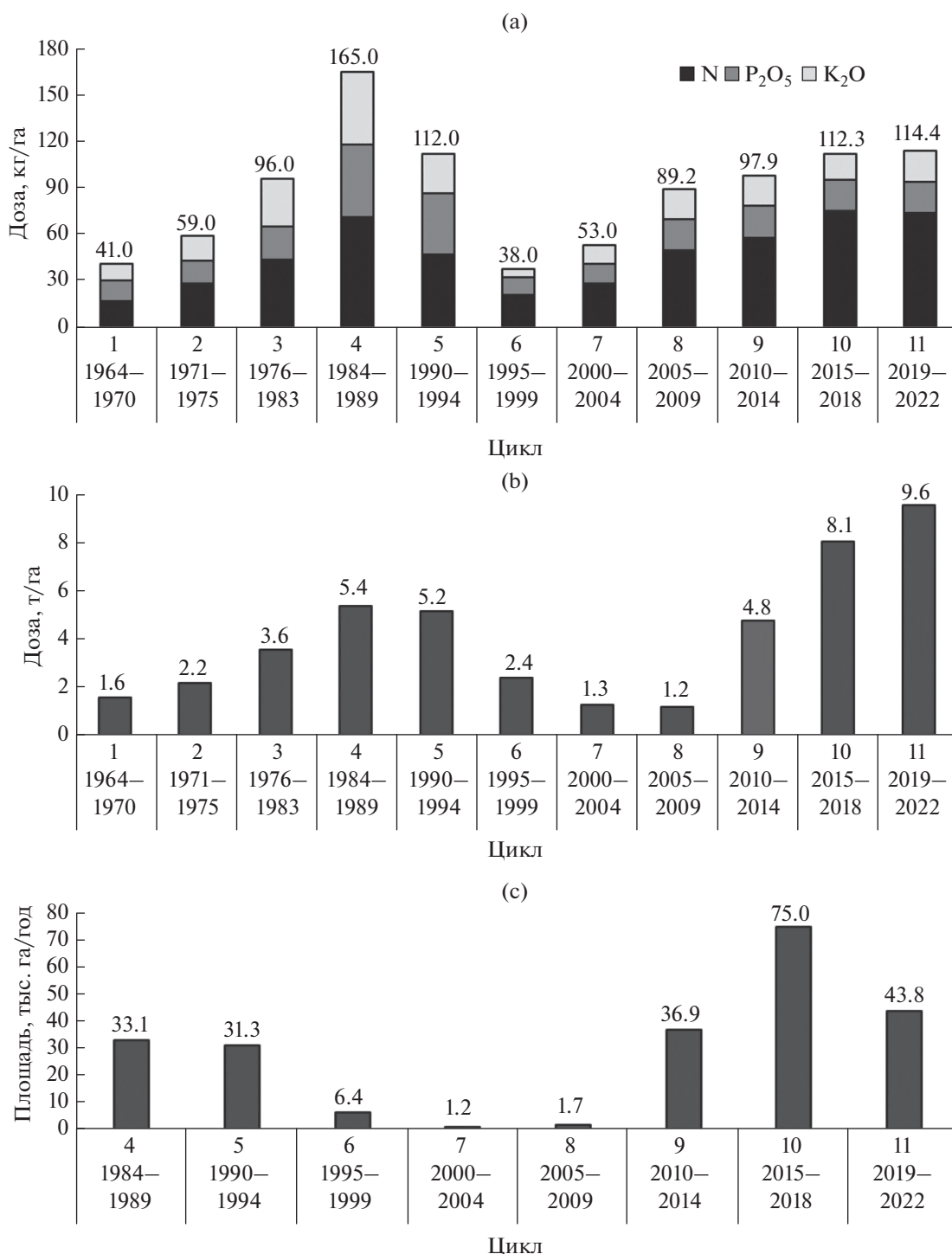


Рис. 2. Динамика внесения минеральных (а), органических (б) удобрений и площади известкования кислых почв (с).

планеты считается особой энергетической оболочкой – гумусосферой [21].

В экстенсивном земледелии, при низком уровне использования удобрений, содержание органического вещества во многом определяет пищевой режим почв и, в первую очередь, азотный, по-

скольку в нем аккумулировано более 90% этого элемента от общих запасов. Между содержанием в пахотном слое почв органического вещества (x , %) и легкогидролизуемого азота по Корнфилду (Y , мг/кг) установлена тесная прямая связь. На основе обработки результатов выборки, состоя-

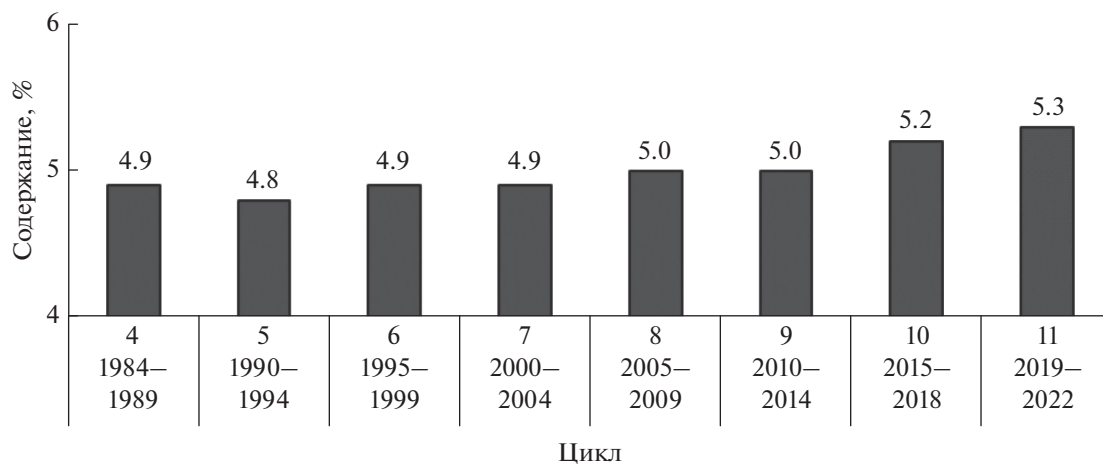


Рис. 3. Динамика средневзвешенного содержания органического вещества в пахотных почвах.

шей из 100 образцов с содержанием органического вещества от 4 до 6%, разработана математическая модель, позволяющая с высокой точностью рассчитывать содержание легкогидролизуемого азота.

$$Y = 23x + 51; R^2 = 0.90.$$

При использовании современных интенсивных агротехнологий с высоким уровнем внесения удобрений связь между содержанием органического вещества в почвах и урожайностью культур достаточно слабая. Например, в ЦЧР наибольшее средневзвешенное содержание органического вещества в пахотных почвах характерно для Тамбовской (6.5%), а самое низкое – для Курской (4.7%) областей. Однако благодаря высокому уровню использования минеральных удобрений в среднем за 2015–2020 гг. в Курской области уро-

жайность зерновых и зернобобовых культур составила 4.95, а в Тамбовской – 3.67 т/га [11, 34].

В Белгородской области с четвертого по девятый циклы обследования средневзвешенная величина содержания органического вещества в почвах пашни варьировала в пределах 4.8–5.0%, а в одиннадцатом цикле возросла до 5.3% (рис. 3). Увеличение данного параметра на 0.3% соответствует росту запасов органического вещества в пахотном слое (массой 3000 т/га) на 9 т/га, в которых депонируется 5.2 т/га углерода (или 19 т/га в пересчете на CO₂).

В последнем цикле доля почв с повышенным содержанием данного показателя возросла до исторического максимума (20.0%), а с низким – уменьшилась до минимума 10.9%. Преобладающими являются пахотные почвы со средним содержанием органического вещества (68.9%) (рис. 4).

Таблица 3. Динамика внесения удобрений и урожайности некоторых сельскохозяйственных культур [34]

Показатель	Годы обследования (цикл)						
	1990–1994 (5)	1995–1999 (6)	2000–2004 (7)	2005–2009 (8)	2010–2014 (9)	2015–2018 (10)	2019–2022 (11)
Озимая пшеница							
Урожайность, т/га	3.23	2.23	2.68	3.30	3.54	4.50	5.09
Внесено органических, т/га	15.5	8.2	4.5	2.3	4.0	4.5	6.1
удобрений минеральных, кг/га	119	49	64	79	100	115	133
Кукуруза на зерно							
Урожайность, т/га	2.25	2.32	2.66	3.93	4.97	6.65	7.15
Внесено органических, т/га	3.7	0.8	0.2	2.0	11.1	25.1	28.3
удобрений минеральных, кг/га	222	75	98	152	133	130	130
Сахарная свекла							
Урожайность, т/га	21.2	17.9	23.4	21.8	36.8	44.1	45.6
Внесено органических, т/га	6.6	3.6	2.7	3.1	4.5	5.9	5.0
удобрений минеральных, кг/га	308	199	252	346	303	323	367

Средневзвешенное содержание органического вещества в почвах муниципальных образований области варьирует в пределах от 4.07 (Грайворонский район) до 6.03% (Прохоровский район).

Отмеченная закономерность увеличения обеспеченности почв органическим веществом обусловлена совместным влиянием нескольких факторов.

Во-первых, уровень внесения органических удобрений в десятом и одиннадцатом циклах был выше 8 т/га. По обобщенным данным, в зерно-пропашных севооборотах ЦЧР доза навоза крупного рогатого скота, при которой формируется бездефицитный баланс органического вещества почвы, находится в пределах 6–8 т/га севооборотной площади [11].

Во-вторых, существенно увеличилось поступление растительных остатков за счет возросшей продуктивности агроэкосистем. Например, при увеличении урожайности зерна озимой пшеницы и кукурузы соответственно с 3.30 и 4.97 в девятом цикле до 5.09 и 7.15 т/га в одиннадцатом цикле выход побочной продукции увеличился с 5.2 и 7.7 до 6.7 и 10.3 т/га. Благодаря реализации региональной программы биологизации земледелия была широко внедрена практика возделывания сидеральных культур (в основном горчицы белой). В девятом цикле сидераты высевались в среднем на площади 124, десятом – 303, одиннадцатом – 317 тыс. га/год (22.0% от общей посевной площади). По содержанию органического вещества 1 т соломы приравнивается к 3.6 т навоза КРС, а 1 т сидерата крестоцветных культур – к 0.7 т [17]. Кроме того, в одиннадцатом цикле в структуре посевных площадей области 5.7% занимали многолетние бобовые травы, под которыми формируется положительный баланс органического вещества почвы за счет растительных остатков.

В-третьих, в области существенно сократилась площадь чистых паров, за счет чего уменьшились размеры минерализации органического вещества. Если в девятом цикле их площадь составляла 128.6, то в десятом – 64.7, а в одиннадцатом – только 47.1 тыс. га. Размер минерализации органического вещества почвы под чистыми парами оценивается в 0.02% от его запасов в пахотном слое, что в среднем для почв области составляет около 3 т/га. Фактором, существенно снижающим минерализацию органического вещества, является переход на минимальные способы обработки почвы, освоение технологии прямого сева и системы no-till (которая не вполне изучена в России). Например, в 2020 г. прямой посев проводился на 23.5% всей посевной площади. В основном эта технология сева используется в звене севооборота соя–озимая пшеница. Система no-till (полный отказ от обработок почвы в севообороте) использовалась на 11.8% посевной площади.

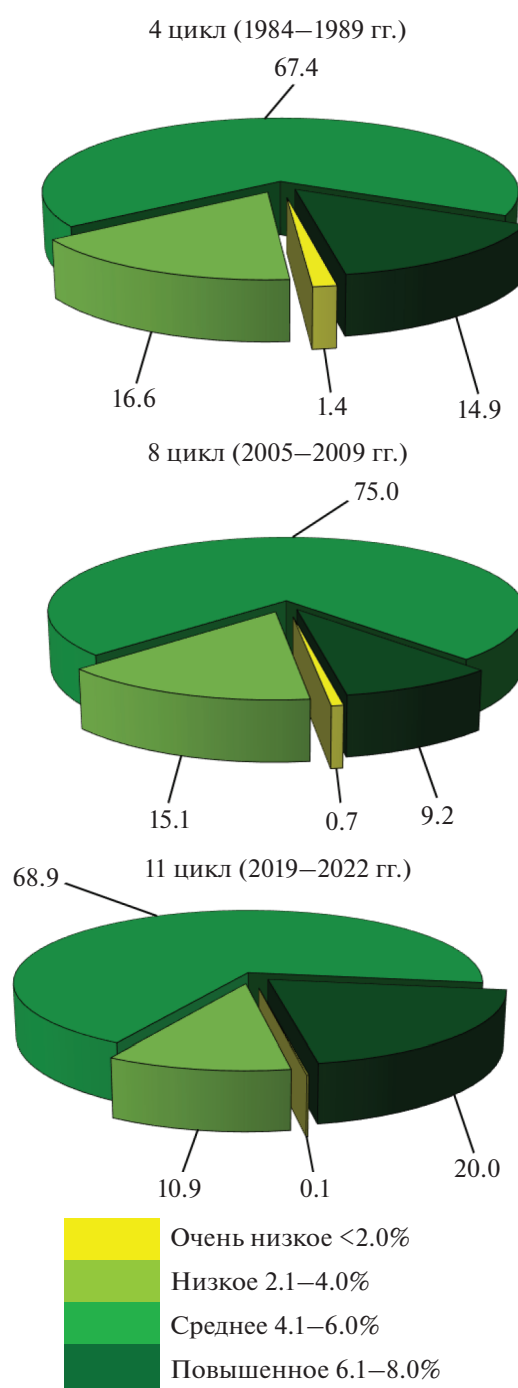


Рис. 4. Динамика распределения пахотных почв по содержанию органического вещества, % от обследованной площади.

Кислотность является очень важным агроэкологическим параметром состояния почв. Уровень кислотности почв во многом определяет доступность для растений фосфора, микроэлементов, радионуклидов, размеры симбиотической азотфиксации бобовыми культурами, микробиологическую активность почв.

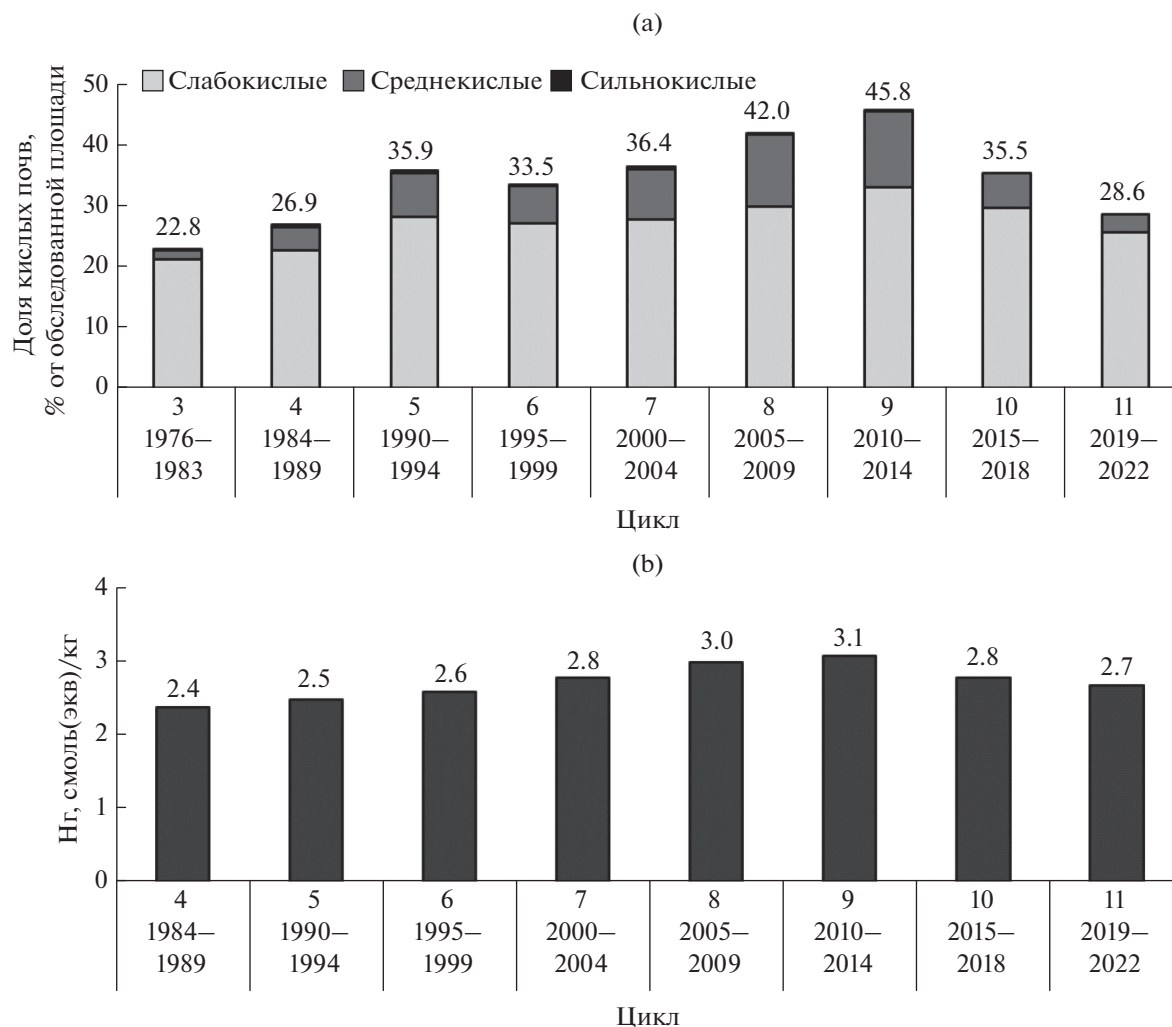


Рис. 5. Динамика доли кислых почв (a) и гидролитической кислотности (b).

Пахотные почвы лесостепной зоны Центрального Черноземья при длительном сельскохозяйственном использовании достаточно сильно подкисляются, если не проводится их периодическое известкование. Основная причина подкисления почвенного раствора заключается в постоянном вымывании кальция из пахотного слоя. Этот процесс усиливается при использовании физиологически кислых минеральных удобрений [11, 24, 31].

Подкисление почв в ЦЧР можно считать одним из самых масштабных видов их деградации, крайне негативно влияющим на продуктивность агроэкосистем, в первую очередь, на урожайность сахарной свеклы, производство которой в регионе составляет около половины от российского уровня. В Курской, Липецкой, Тамбовской областях, полностью расположенных в лесостепной зоне, доля кислых почв соответственно составляет 71.0, 77.9, 77.3%, в том числе средне- и сильнокислых – в сумме 32.8, 30.6, 30.0% [11].

В третьем цикле агрохимического обследования была зафиксирована минимальная доля кислых почв 22.8%, в том числе среднекислых – 1.5 и сильнокислых – 0.1%. Затем доля кислых почв стала закономерно увеличиваться по причине недостаточных объемов известкования и в девятом цикле достигла максимального уровня 45.8%, в том числе средне- и сильнокислых почв 12.6 и 0.2% соответственно. Однако благодаря успешной реализации областной программы химической мелиорации в десятом цикле доля кислых почв уменьшилась до 35.5% (в том числе 5.8% – среднекислых), а в одиннадцатом цикле – до 28.6% (3.0% – среднекислых) (рис. 5). В последнем цикле обследования самая высокая доля кислых почв была зафиксирована в Ивнянском районе МО (56.2%), расположенном на западе лесостепной зоны области, а в Ровенском районе МО, находящемся в степной зоне, кислых почв не выявлено (табл. 4).

Таблица 4. Дозы внесения удобрений, урожайность озимой пшеницы и средневзвешенные значения показателей агроэкологического состояния пахотных почв за 11 цикл обследования (2019–2022 гг.)

Муниципальное образование	Внесено минеральных удобрений, кг/га	Урожайность озимой пшеницы, т/га	Доля кислых почв, %	Нг, смоль(экв)/кг	Органическое вещество, %	Содержание подвижных форм, мг/кг почвы							
						P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mn	Zn	Cu	Co	Mo
Лесостепная зона													
Грайворонский городской округ	144	5.54	52.8	3.56	4.07	127	137	2.78	10.7	0.40	0.14	0.086	0.18
Губкинский городской округ	110	4.84	48.9	3.57	5.96	119	141	3.22	10.9	0.51	0.14	0.085	0.12
Новооскольский городской округ	119	5.40	24.7	2.64	5.45	185	199	4.22	12.1	0.48	0.10	0.079	0.11
Старооскольский городской округ	96	4.72	22.3	2.25	5.39	122	141	2.95	11.0	0.46	0.12	0.081	0.13
Шебекинский городской округ	120	5.58	36.3	3.00	5.08	157	183	5.08	12.4	0.45	0.15	0.074	0.12
Яковлевский городской округ	92	5.44	41.2	3.22	5.31	168	182	4.12	11.1	0.52	0.11	0.080	0.12
Белгородский район	102	5.57	26.6	2.94	4.91	174	163	3.70	9.6	0.64	0.14	0.093	0.12
Борисовский район	149	5.30	42.5	3.10	4.52	118	168	4.10	12.1	0.56	0.11	0.074	0.11
Ивнянский район	129	5.81	56.2	3.74	5.67	157	162	3.54	14.0	0.61	0.12	0.075	0.15
Корочанский район	113	5.51	36.8	3.17	5.48	140	181	4.06	12.1	0.55	0.13	0.083	0.12
Красненский район	59	4.46	21.5	2.24	5.51	99	124	1.93	10.4	0.28	0.19	0.083	0.13
Краснояружский район	н. д.	5.92	36.2	3.02	4.62	130	117	3.08	7.9	0.80	0.11	0.083	0.14
Прохоровский район	164	5.61	46.9	3.68	6.02	136	171	5.16	12.9	0.56	0.13	0.074	0.13
Ракитянский район	88	5.77	45.8	3.30	5.49	168	165	5.33	10.8	1.12	0.14	0.084	0.14
Чернянский район	103	5.05	22.0	2.42	4.78	154	160	3.37	9.4	0.36	0.13	0.084	0.13
Образования, частично входящие в степную и лесостепную зоны													
Алексеевский городской округ	89	4.34	9.2	1.69	5.22	118	153	5.61	11.4	0.43	0.14	0.070	0.13
Валуйский городской округ	113	4.48	10.8	1.81	5.00	123	148	2.73	9.4	0.37	0.10	0.072	0.14
Волоконовский район	148	5.14	19.3	2.49	5.44	162	167	2.68	11.1	0.45	0.10	0.079	0.12
Красногвардейский район	130	4.74	22.1	2.38	5.32	149	186	2.41	9.4	1.35	0.15	0.091	0.12
Степная зона													
Вейделевский район	130	4.73	3.4	1.64	5.61	108	155	3.91	9.0	0.39	0.12	0.082	0.13
Ровеньский район	70	3.80	0.0	1.03	5.30	99	136	6.14	14.7	0.45	0.18	0.066	0.12

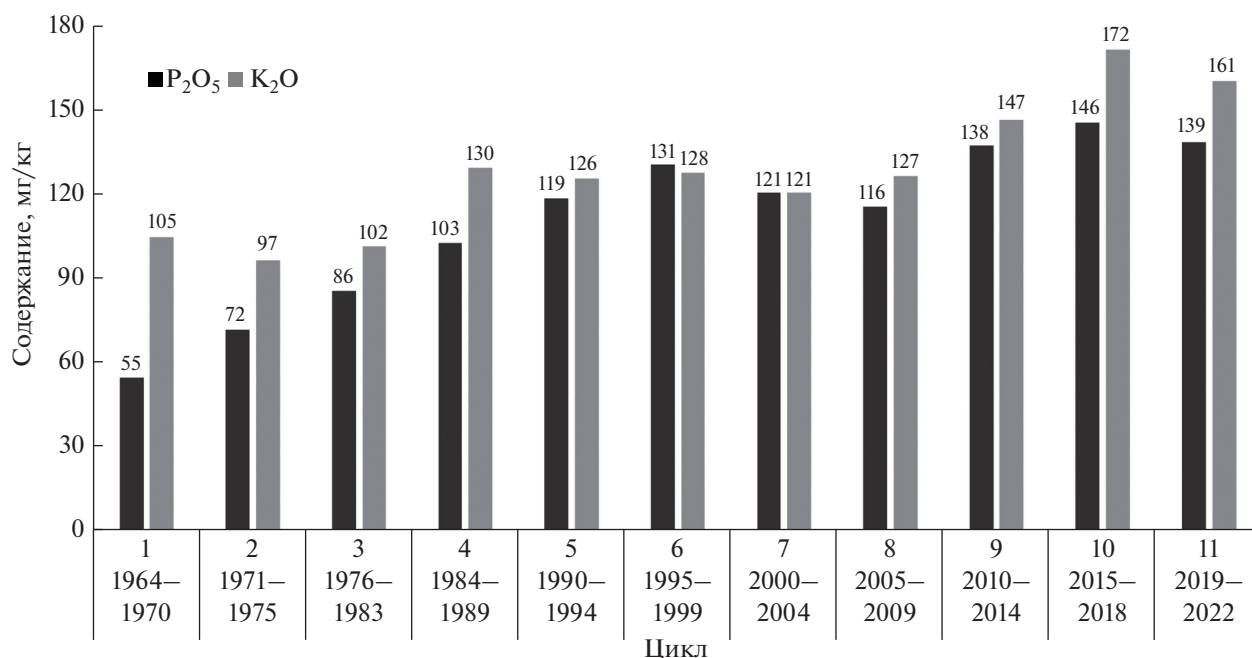


Рис. 6. Динамика средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах.

Средневзвешенная величина гидролитической кислотности (Нг) в почвах области минимальной была в четвертом цикле (2.4 смоль(экв)/кг), а максимальной — в девятом цикле (3.1 смоль(экв)/кг). В одиннадцатом цикле величина данного параметра снизилась до 2.7 смоль(экв)/кг. По муниципальным образованиям области средневзвешенная величина (Нг) изменяется от 1.03 в степной зоне (Ровеньский район) до 3.57 смоль(экв)/кг — в лесостепной (Ивнянский район).

Содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах является одним из основных показателей их окультуренности. Эти данные используются при расчете доз фосфорных и калийных удобрений.

Минимальное средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах области, близкое к фоновым значениям, было зафиксировано в первом цикле обследования (55 мг/кг). По мере увеличения доз вносимых удобрений величина данного параметра возросла в шестом цикле обследования до 131 мг/кг. Сокращение использования удобрений привело к снижению этого показателя плодородия до 116 мг/кг в восьмом цикле, а затем по мере увеличения применения удобрений средневзвешенное содержание подвижного фосфора возросло до 138 мг/кг в девятом цикле и до 146 мг/кг — в десятом (рис. 6).

В одиннадцатом цикле величина этого параметра снизилась до 139 мг/кг по причине высоких объемов известкования кислых почв. Снижение кислотности приводит к уменьшению подвижности фосфа-

тов в почве. В пределах области наиболее высокое средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора отмечалось в пахотных почвах МО Новосокольский район (185 мг/кг), а самое низкое — в МО Красненский район (99 мг/кг) (табл. 4). В последнем цикле обследования доля почв с очень высоким содержанием подвижного фосфора составила 16.5% (рис. 7). При таком уровне обеспеченности почв подвижным фосфором рекомендуется ограничивать использование фосфорных удобрений. Преобладающими являются почвы со средней обеспеченностью данным элементом (32.5%).

Пахотные почвы Белгородской области характеризуются самым высоким средневзвешенным содержанием подвижных форм фосфора в ЦЧР. В почвах пашни Курской, Воронежской, Липецкой и Тамбовской областей величина данного параметра составляет 129, 104, 98 и 88 мг/кг соответственно [11].

Величина средневзвешенного содержания подвижных форм калия в пахотных почвах в первом цикле обследования составляла 105 мг/кг, что соответствует уровню в фоновой почве. В четвертом цикле обследования величина этого показателя достигла 130 мг/кг, а к седьмому циклу снизилась до 121 мг/кг. Возросшие объемы использования удобрений, особенно органических, привели к увеличению содержания подвижного калия в почвах до 172 мг/кг в десятом цикле.

В одиннадцатом цикле величина данного параметра немного снизилась и составила 161 мг/кг. Наиболее высокое средневзвешенное содержа-

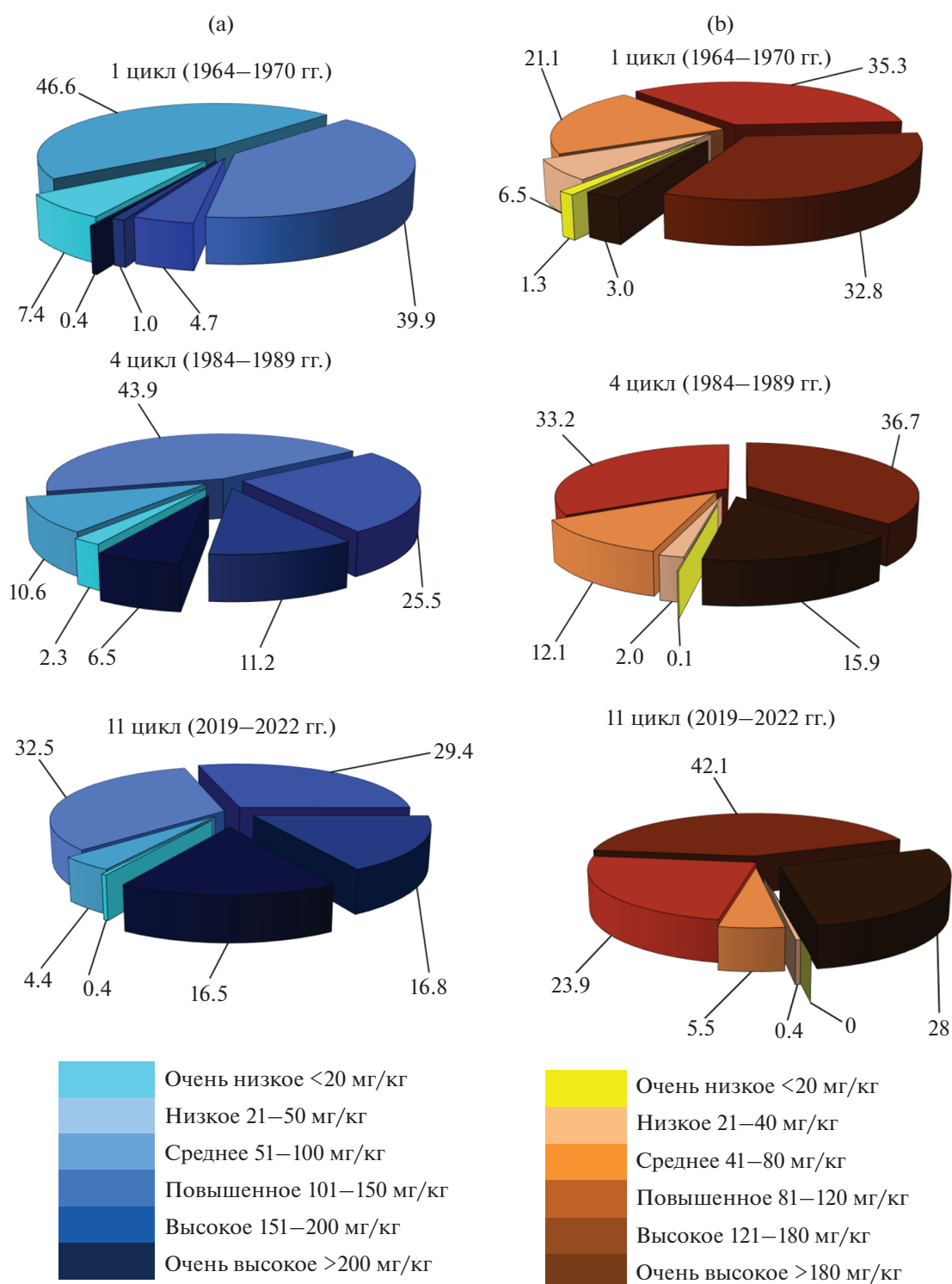


Рис. 7. Динамика распределения пахотных почв по содержанию подвижных форм фосфора (а) и калия (б), % от обследованной площади.

ние подвижного калия было установлено в почвах пашни МО Новооскольский район (199 мг/кг), самое низкое – в МО Красненский район (124 мг/кг) (табл. 5). Доля почв с очень высокой обеспеченностью подвижным калием, на которых рекомен-

дуют ограничить использование калийных удобрений, составила 28,1%. Большинство пахотных почв области (42,1%) относится к категории с высокой обеспеченностью подвижными формами этого элемента (рис. 7).

Таблица 5. Динамика распределения пахотных почв – по содержанию подвижных форм серы и микроэлементов

Показатель		Годы обследования (цикл)						
		1990–1994 (5)	1995–1999 (6)	2000–2004 (7)	2005–2009 (8)	2010–2014 (9)	2015–2018 (10)	2019–2022 (11)
S								
Средневзвешенное содержание, мг/кг		6.80	5.47	3.47	2.60	2.80	3.30	3.88
Группы обеспеченности, % от площади	высокая >12 мг/кг	6.1	2.3	1.1	0.3	0.9	1.2	2.9
	средняя 6–12 мг/кг	45.7	27.7	10.9	2.5	4.1	8.4	11.4
	низкая <6 мг/кг	48.2	70.0	65.7	97.2	95.0	90.4	85.7
Mn								
Средневзвешенное содержание, мг/кг		17.5	12.1	9.8	9.2	10.3	11.7	11.4
Группы обеспеченности, % от площади	высокая >20 мг/кг	30.4	10.8	3.2	0.6	4.0	4.9	2.4
	средняя 10–20 мг/кг	44.5	44.2	31.1	35.0	42.4	56.6	57.5
	низкая <10 мг/кг	25.1	45.0	65.7	64.4	53.6	38.5	40.1
Zn								
Средневзвешенное содержание, мг/кг		1.40	0.66	0.51	0.50	0.52	0.49	0.54
Группы обеспеченности, % от площади	высокая >5 мг/кг	1.9	0	0	0	0.1	0.1	0.5
	средняя 2–5 мг/кг	13.6	1.1	0.9	0.2	0.7	1.1	2.3
	низкая <2 мг/кг	84.5	98.9	99.1	99.8	99.2	98.8	97.2
Co								
Средневзвешенное содержание, мг/кг		Нет данных			0.08	0.10	0.08	0.08
Группы обеспеченности, % от площади	высокая >0.3 мг/кг	»			0.5	0.1	0.1	0
	средняя 0.15–0.3 мг/кг	»			2.5	5.6	0.6	1.2
	низкая <0.15 мг/кг	»			97.0	94.3	99.3	98.8

Средневзвешенное содержание подвижных форм калия в почвах пашни Белгородской области существенно выше, чем в других областях ЦЧР. Величина данного параметра в почвах Липецкой, Воронежской, Курской и Тамбовской областей составляет 138, 135, 112, 106 мг/кг соответственно [11].

Содержание подвижных форм серы и микроэлементов является важным параметром почвенного плодородия, существенно влияющим на продуктивность агроэкосистем и качество растениеводческой продукции [2, 10, 16]. Причем факторами, лимитирующими продуктивность агроэкосистем, могут стать как их низкие содержания в почве, так и чрезмерно высокие, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК).

Средневзвешенное содержание подвижной серы с пятого по восьмой циклы уменьшилось с 6.80 до 2.60 мг/кг, а затем стало увеличиваться и в одиннадцатом цикле достигло 3.88 мг/кг. Основной причиной резкого снижения содержания подвижной серы в почвах является отказ от использования простого и двойного суперфосфатов, в которых содержание этого элемента составляло 13 и 6% соответственно. По данным последнего цикла обследования, 85.7% пашни относится к категории низкообеспеченных по этому показателю (табл. 5).

Средневзвешенное содержание подвижных форм цинка в почвах было максимальным (1.4 мг/кг) в пятом цикле, но уже в седьмом цикле величина данного параметра снизилась до 0.51 мг/кг и в последующем изменялась незначительно. В одиннадцатом цикле доля почв, низкообеспеченных этим элементом, составила 97.2%.

Максимальное средневзвешенное содержание подвижных форм марганца (17.5 мг/кг) отмечалось в пятом, а минимальное (9.2 мг/кг) – в восьмом циклах. Затем величина данного параметра увеличивалась до 11.7 мг/кг в десятом цикле. В одиннадцатом цикле средневзвешенное содержание подвижного марганца составило 11.4 мг/кг, а доля низкообеспеченных почв – 40.1%.

Средневзвешенное содержание подвижных форм кобальта в почвах было относительно стабильным на протяжении всех циклов обследования. В одиннадцатом цикле величина данного параметра составила 0.08 мг/кг, а доля почв с низким содержанием элемента – 97.2%.

За период с девятого по одиннадцатый циклы наблюдается тренд к увеличению средневзвешенного содержания подвижных форм меди с 0.11 до 0.13 мг/кг и снижению доли низкообеспеченных почв с 96.9 до 92.5%.

В одиннадцатом цикле впервые проведено определение содержания в почвах области подвижных форм молибдена. Было установлено, что средневзвешенное содержание составляет 0.13 мг/кг, доля низкообеспеченных почв — 21.3, среднеобеспеченных — 76.9, высокообеспеченных — 1.8%.

Содержание подвижных форм бора в целинных и пахотных черноземах ЦЧР, как правило, оценивается как высокое, поэтому в программу сплошного обследования данный показатель не включается. Выборочное обследование на площади 225 тыс. га в одиннадцатом цикле показало, что средневзвешенное содержание подвижного бора составляет 2.07 мг/кг и 98.2% почв относятся к категории высокообеспеченных (>0.7 мг/кг).

Основными факторами, влияющими на содержание подвижных форм серы и микроэлементов в почвах, являются дозы вносимых органических удобрений и объемы известкования. С увеличением использования органических удобрений существенно возросло поступление серы и микроэлементов в агроэкосистемы, однако в результате высоких объемов известкования снижается подвижность в почвах цинка, марганца, меди и кобальта. Фактов превышения ПДК подвижных форм цинка, меди, кобальта, марганца в почвах области никогда не выявлялось.

В Воронежской, Курской, Липецкой, Тамбовской областях доля почв, низкообеспеченных подвижными формами серы, находится в пределах 74.1–95.1, цинка — 99.3–99.9, меди — 96.4–99.5%. В Воронежской, Курской и Тамбовской областях доля почв с низким содержанием подвижных форм кобальта составляет 98.3–99.7%, марганца — 51.9–88.3% [3, 11].

Содержание мышьяка, кадмия, свинца, ртути и удельная активность ^{137}Cs в почвах определяется в рамках локального агроэкологического мониторинга, проводимого на реперных объектах. В черноземе обыкновенном среднее валовое содержание мышьяка, кадмия, свинца, ртути соответственно составляет 5.48 ± 0.34 , 0.35 ± 0.02 , 11.2 ± 0.4 , 0.023 ± 0.002 мг/кг, а в черноземе типичном — 4.18 ± 0.38 , 0.32 ± 0.01 , 10.3 ± 0.6 , 0.022 ± 0.002 мг/кг. Эти элементы относятся к первому классу опасности, и их содержание нормируется в почвах многих стран мира [26, 32]. Фактов превышения ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) свинца, кадмия, мышьяка и ПДК ртути в почвах установлено не было [19, 20, 29]. Средняя удельная активность искусственного радионуклида ^{137}Cs в пахотном слое черноземов обыкновенных составляла 24.9 ± 2.2 , типичных — 17.3 ± 1.6 Бк/кг.

Анализ растениеводческой продукции показал, что превышения уровней ПДК этих элементов для продовольственного сырья и максималь-

но допустимых уровней, установленных для кормовой продукции, в исследованиях не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения исследований установлено, что в течение одиннадцатого цикла обследования (2019–2022 гг.) средний уровень внесения минеральных удобрений составил 114.4 кг д.в./га, органических — 9.6 т/га, известкования кислых почв — 43.8 тыс. га в год. В результате средняя урожайность озимой пшеницы увеличилась до 5.09, сахарной свеклы — до 45.6, кукурузы на зерно — до 7.15 т/га. При этом в почвах пашни зафиксировано максимальное за весь период наблюдений значение средневзвешенного содержания органического вещества (5.3%). Доля кислых почв снизилась до 28.6%, в том числе среднекислых — до 3.0%. Величина гидролитической кислотности уменьшилась до 2.7 смоль(экв)/кг. Средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 (139 мг/кг) и K_2O (161 мг/кг) является самым высоким в ЦЧР. К категории низкообеспеченных по содержанию подвижных форм серы относится 85.7% обследованных почв, цинка — 97.2, меди — 92.5, кобальта — 98.8, марганца — 40.1, молибдена — 21.3%. По содержанию подвижных форм бора 98.2% почв относится к категории высокообеспеченных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Туонен А.В. и др. Динамика свойств почв и экосистемные запасы углерода при разных типах землепользования (средняя тайга Карелии) // Почвоведение. 2022. № 9. С. 1112–1125. EDN: ZXDNFU.
2. Жуйков Д.В. Мониторинг содержания микроэлементов (Mn, Zn, Co) в агроценозах юго-западной части Центрально-Черноземного района России // Земледелие. 2020. № 5. С. 9–13. EDN: BKWJAT.
3. Жуйков Д.В. Сера и микроэлементы в агроценозах (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 11. С. 32–42. EDN: OQPRVA.
4. Завьялова Н.Е. Углеродпротекторная емкость дерново-подзолистой почвы естественных и агроэкосистем Предуралья // Почвоведение. 2022. № 8. С. 1046–1055. EDN: AOKTSG.
5. Кирюшин В.И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. СПб.: ООО “Квадро”, 2018. 568 с.

6. Кирюшин В.И. Экологические функции ландшафта // Почвоведение. 2018. № 1. С. 17–25.
7. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139.
8. Костин И.Г. Использование геоинформационных систем для анализа экологического состояния агроландшафтов // Московский экономический журн. 2023. Т. 8. № 2. EDN: FEYMQJ.
9. Соловichenko В.Д., Лукин С.В., Лисецкий Ф.Н., Голесов П.В. Красная книга почв Белгородской области. Белгород: изд-во БелГУ, 2007. 139 с.
10. Левшаков Л.В., Пироженко В.В. Сера в почвах Курской области // Агрохимический вестник. 2022. № 3. С. 49–53. EDN: EFSVKT.
11. Лукин С.В. Мониторинг агроэкологического состояния пахотных почв Центрально-Черноземного района России // Агрохимия. 2023. № 4. С. 67–77. EDN: DIMNZW.
12. Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья: (Актуальность и состояние проблемы, рабочие гипотезы исследований, сопряженность агрономических и экологических функций, динамика в агроценозах, принципы моделирования и технологии воспроизводства). М.: Изд-во РАСХН, 2004. 630 с.
13. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: Типография Московской с.-х. академии им. К.А. Тимирязева, 1992. 61 с.
14. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
15. Пересмотренная Всемирная хартия почв. ФАО, 2015. 10 с.
16. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Мониторинг микроэлементов в почвах (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22. № 4. С. 14–26. EDN: JULBPJ.
17. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия: инструктивно-методическое издание. М.: Росинформагротех, 2010. 464 с.
18. Савченко Е.С. Выступление Губернатора Белгородской области, члена-корреспондента РАН Е.С. Савченко // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 525–526. EDN: NRAVXF.
19. Селюкова С.В. Агроэкологическая оценка содержания тяжелых металлов в кукурузе и подсолнечнике // Агрохимический вестник. 2017. № 5. С. 52–55. EDN: ZMVSPD.
20. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в агроценозах // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 8. С. 85–93. EDN: BBNRTE.
21. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 223 с.
22. Соколов М.С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия — важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // Агрохимия. 2019. № 11. С. 3–16. EDN: OTEKOJ.
23. Соловichenko В.Д. Плодородие и рациональное использование почв Белгородской области. Белгород: Отчий дом, 2005. 292 с.
24. Суринов А.В. Динамика агрохимических показателей плодородия черноземов лесостепной зоны ЦЧР // Агрохимический вестник. 2022. № 2. С. 8–14. EDN: GYRVGC.
25. Buryak Z., Marinina O. Using GIS technology for identification of agricultural land with an increased risk of erosion // E3S Web of Conferences. 2020. V. 176. P. 04007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017604007>
26. Chen Sh., Wang M., Li Sh., Zhao Zh., E W. Overview on current criteria for heavy metals and its hint for the revision of soil environmental quality standards in China // J. Integrative Agriculture. 2018. V. 17. № 4. P. 765–774. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61892-613](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61892-613)
27. Lisetskii F. Estimates of Soil Renewal Rates: Applications for Anti-Erosion Arrangement of the Agricultural Landscape // Geosciences (Switzerland). 2019. V. 9 (6). 266. EDN: VEHRXN. <https://doi.org/10.3390/geosciences9060266>
28. Lisetskii F., Stolba V.F., Marinina O. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea // Geoderma. 2015. V. 239–240. P. 304–316. EDN: SDVLPD. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.006>
29. Lukin S.V. Agroecological assessment of heavy metals and arsenic content in ordinary chernozem in the Central Chernozem region of Russia // Doklady Earth Sci. 2023. V. 508. P. 106–110. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22602024>
30. Malysheva E.S. Application of geoinformation systems for a complex analysis of data from agrochemical and oil-erosion monitoring of soils // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Fundamental scientific research and their applied aspects in biotechnology and agriculture” (FS-RAABA 2021). Tyumen, Russian Federation, 03016 (July 19–21, 2021). EDN: FCSJYG.
31. Malysheva E.S., Malyshev A.V., Kostin I.G. Complex Analysis of Data from Agrochemical and Soil-Erosion Monitoring Using Geoinformation Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 июня 2021 года. Ussurijsk, 2021. P. 032070. EDN: LOVMBT. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032070>
32. Semenov I.N., Koroleva T.V. International Environmental Legislation on the Content of Chemical Elements in Soils: Guidelines and Schemes // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. № 10. P. 1289–1297. EDN: BHVMYE. <https://doi.org/10.1134/S1064229319100107>
33. Surinov A.V. Fertility dynamics of the forest-steppe zone’s arable soils in the central chernozem region (on the example of the Prokhorovsky district of the Belgorod region) // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. V. 1043. P. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012014>
34. <http://www.fedstat.ru/indicators/stat.do> (дата обращения 24.04.2023).

Dynamics of the Agroecological State of the Soils of the Central Chernozem Region during Long-Term Agricultural Use (on the Example of the Belgorod Region)

S. V. Lukin^{1, 2, *}

¹*Belgorod Center for Agrochemical Service, Belgorod, 308027 Russia*

²*Belgorod State National Research University, Belgorod, 308027 Russia*

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

The paper analyzes the results of eleven survey cycles of arable soils conducted from 1964 to 2022 in the southwestern part of the Central Chernozem region in the Belgorod region. In the steppe zone of the region, ordinary chernozems predominate, in the forest-steppe zone – typical and leached chernozems. During the eleventh survey cycle (2019–2022), the average level of application of mineral fertilizers was 114.4 kg a.i./ha, organic – 9.6 t/ha, liming of acidic soils – 43.8 thousand hectares per year. As a result, the average yield of winter wheat increased to 5.09, sugar beet – up to 45.6, corn for grain – up to 7.15 t/ha. At the same time, the maximum value of the weighted average content of organic matter (5.3%) was recorded in the soils of arable land for the entire observation period. The proportion of acidic soils decreased to 28.6%, including moderately acidic soils, to 3.0%. The value of hydrolytic acidity decreased to 2.7 cmol_c/kg. The weighted average content of mobile forms of phosphorus (139 mg/kg) and potassium (161 mg/kg) is the highest in the Central Black Earth region. 85.7% of the surveyed soils belong to the category of low content of mobile forms of sulfur, zinc – 97.2, copper – 92.5, cobalt – 98.8, manganese – 40.1, molybdenum – 21.3%. In terms of the content of mobile forms of boron, 98.2% of the soils are classified as highly rich.

Keywords: liming, soil acidity, microelements, soil organic matter, fertilizers, productivity, mobile forms of phosphorus and potassium, sulfur, chernozem