

Научная статья

Original article

УДК 631.81: 633.49

doi: https://doi.org/10.55186/25880209_2026_10_4_41

edn: PUEZRL

**ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ
МАКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КОРНЕПЛОДОВ ЦИКОРИЯ
КОРНЕВОГО И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЕГО ВОЗДЕЛЫВАНИИ
INFLUENCE OF AGROCHEMICAL MEASURES ON CHANGES IN
MACROELEMENT COMPOSITION OF ROOT VEGETABLES OF ROOT
CHICORY AND BALANCE OF ELEMENTS DURING ITS
CULTIVATION**



Пургина Анастасия Вячеславовна, аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, Брянский государственный аграрный университет, (243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а), тел. +79036444784, kafeap@bgsha.com

Смольский Евгений Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет (243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а), тел. +79208317347, sev_84@mail.ru, ORCID0000-0002-7534-5893

Purgina Anastasia Vyacheslavovna, graduate student of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, FSBEI HE Bryansk SAU (243365, Russia, Bryansk region, Vygonichsky district, s. Kokino, st. Sovetskaya 2a), tel. +79036444784, kafeap@bgsha.com

Smolsky Evgeny Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, FSBEI HE Bryansk SAU (243365, Russia, Bryansk region, Vygonichsky district, s. Kokino, st. Sovetskaya 2a), tel. +79208317347, ORCID0000-0002-7534-5893, sev_84@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований корневого питания цикория корневого сорта «Петровский» при возделывании на серых лесных почвах Брянской области. В ходе исследования изучено влияние различных доз органических и минеральных удобрений на элементный состав корнеплодов и баланс питательных веществ. Установлено, что в среднем за годы исследований содержание основных элементов питания в корнеплодах составляло азота 0,78 %, фосфора 0,33 %, калия 1,53 %. Выявлено достоверное увеличение содержания исследуемых элементов питания, с ростом доз применяемых органических и минеральных удобрений. При этом наибольшее накопление калия отмечалось в слабозасушливых условиях увлажнения. Анализ выноса элементов питания показал, что он в первую очередь определялся уровнем урожайности, тогда как влияние элементного состава воздушно-сухой массы корнеплода оказалось незначительным. Оптимальные погодные условия способствовали максимальному выносу питательных веществ при применении удобрения. Расчёт баланса элементов питания продемонстрировал, что органические удобрения в исследуемых дозах обеспечивали положительный баланс всех основных элементов питания. Среди минеральных удобрений положительный баланс фосфора наблюдался во всех вариантах, азота только при применении доз $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$, а положительного баланса калия достичь не удалось. Полученные данные позволяют оптимизировать систему удобрения цикория корневого в условиях серых лесных почв Брянской области, обеспечивая повышение урожайности культуры и рациональное использование питательных веществ. Результаты исследований могут быть использованы при разработке агрохимических рекомендаций для сельскохозяйственного производства.

Abstract. The article presents the results of research on the root nutrition of chicory of the root variety "Petrovsky" when cultivated on gray forest soils of the Bryansk region. The study examined the effect of different doses of organic and mineral fertilizers on the elemental composition of root crops and the balance of nutrients. It was found that, on average, over the years of research, the content of basic nutrients in root vegetables was 0.78% nitrogen, 0.33% phosphorus, and 1.53% potassium. A significant increase in the content of the studied nutrients was revealed, with an increase in the doses of organic and mineral fertilizers used. At the same time, the greatest accumulation of potassium was observed in slightly dry humidification conditions. Analysis of the yield of nutrients showed that it was primarily determined by the level of yield, while the influence of the elemental composition of the air-dry mass of the root crop was insignificant. Optimal weather conditions contributed to the maximum removal of nutrients when applying fertilizer. Calculation of the balance of nutrients demonstrated that organic fertilizers in the studied doses provided a positive balance of all basic nutrients. Among mineral fertilizers, a positive balance of phosphorus was observed in all variants, nitrogen only when using doses of $N_{90}P_{90}K_{90}$ and $N_{120}P_{120}K_{120}$, and a positive balance of potassium could not be achieved. The obtained data make it possible to optimize the fertilization system of root chicory in the conditions of gray forest soils of the Bryansk region, ensuring an increase in crop yield and rational use of nutrients. The research results can be used in the development of agrochemical recommendations for agricultural production.

Ключевые слова: органические и минеральные удобрения, цикорий корневой, элементы питания, баланс, серая лесная почва, Брянская область

Keywords: organic and mineral fertilizers, root chicory, nutrients, balance, gray forest soil, Bryansk region

Введение. Ведущие исследователи в области агрохимии и почвоведения подчёркивают [1-3], что воспроизводство почвенного плодородия представляют собой одну из первостепенных задач, стоящих перед современным агрономом в процессе организации сельскохозяйственного производства. Эта

задача носит не просто приоритетный, а системообразующий характер, именно от состояния плодородия почвы во многом зависят устойчивость агроценозов к неблагоприятным условиям среды, стабильность урожаев и экономическая эффективность земледелия в целом.

В связи с этим изучение баланса элементов питания при различных уровнях обеспеченности почвы питательными веществами закономерно вызывает значительный научный и практический интерес [4]. Такие исследования позволяют выявить оптимальные дозы и соотношения удобрений, минимизировать риски негативного воздействия на окружающую среду, а также обеспечить долгосрочное поддержание и даже повышение почвенного плодородия, что особенно важно в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства и роста требований к устойчивости аграрных систем.

Прогноз развития плодородия почвы базируется на комплексном учёте её генетических особенностей, обусловленных типом и историей формирования почвы, и её производственных характеристик, отражающих специфику её хозяйственного использования. Существенное значение при построении такого прогноза имеет систематическое наблюдение за трансформацией элементов питания в системе «почва – растение», позволяющее отслеживать динамику перераспределения питательных веществ, их усвоение культурами и возможные потери из почвы [5]. Такой подход даёт возможность не только оценить текущее состояние почвенного плодородия, но и смоделировать его изменения в среднесрочной и долгосрочной перспективе с учётом планируемых агрохимических мероприятий.

При этом применение органических и минеральных удобрений напрямую влияет на величину как приходной, так и расходной части баланса, с одной стороны, удобрения компенсируют вынос элементов питания с товарной и побочной продукцией, с другой могут изменять биогеохимические циклы отдельных элементов, влиять на микробиологическую активность почвы и трансформацию органического вещества. Соответственно, расчёт и анализ баланса элементов питания позволяют не только объективно оценить уровень

интенсификации сельскохозяйственного производства, но и своевременно корректировать дозы и соотношения вносимых удобрений, обеспечивая тем самым устойчивое управление плодородием почв и стабильную продуктивность агроценозов.

Прогноз изменения уровня плодородия почв в современных условиях приобретает особую актуальность, обусловленную рядом объективных факторов. Растущие интенсификация сельскохозяйственного производства и антропогенное воздействие на почву, усиливающаяся зависимость продуктивности агроценозов от состояния почвенного плодородия требуют перехода к прогностическому управлению земельными ресурсами [6, 7].

В этом контексте разработка агрохимических мероприятий по регулированию плодородия почв приобретает высокую практическую и теоретическую значимость. С практической точки зрения такие мероприятия служат ключевым инструментом поддержания и повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий, позволяют компенсировать вынос элементов питания с урожаем, оптимизировать режимы питания культур, нивелировать негативные эффекты неблагоприятных факторов среды и в конечном счёте обеспечивать стабильную урожайность и экономическую эффективность производства.

Цель исследования – оценка действия агрохимических мероприятий на изменения макроэлементного состава корнеплодов цикория корневого и баланс элементов питания при его возделывании.

Материалы и методы исследования. Лабораторно-полевой опыт проведён в различных погодных условиях 2022, 2023 и 2024 годов, на серой лесной почве опытного поля ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, с показателями плодородия: 1,45-1,93 % – органическое вещество, 4,87-5,17 ед. – обменная кислотность, 299-354 и 184-209 мг/кг соответственно подвижные фосфор и калий.

В схеме опыта (табл. 1) включала применения органического (навоз) и минерального удобрения (аммиачная селитра и диаммофоска), которые вносили вручную полной дозой в один приём весной перед посевом.

Площадь опытной деланки составила 16,8 м², расположение систематическое, повторность опытов трёхкратная.

Посев семян цикория корневого сорта «Петровский» обработанных фунгицидом и биостимулятором проводили вручную в первой декаде мая, после всходов доводили норму высева до 47000-50000 растений на 1 га (схема посева 70 × 28 см). Агротехника при возделывании цикория корневого общепринятая для пропашных культур зоны исследования. Система защиты цикория корневого предусматривала применения ручных прополок и междурядных обработок от двудольных сорняков и применение гербицида по однодольным (злаковым) сорнякам. При возделывании цикория корневого не использовали фунгициды и инсектициды по вегетации растения.

Уборку урожая корнеплодов цикория проводили вручную поделаночно, после отбирали средние образцы, в котором определяли содержание азота, фосфора и калия в центре коллективного пользования научным оборудованием Брянского ГАУ по общепринятым методам.

Баланс азота, фосфора и калия рассчитывали на основе общепринятых методических указаний, для перевода массы оксида в элемент применяли коэффициент пересчёта.

Температура воздуха и количество выпавших осадков обуславливают условия увлажнения, выраженный через гидротермический коэффициент (ГТК). Среднемноголетний ГТК за период с мая по сентябрь составляет 1,35, что соответствует зоне увлажнения – влажная, наблюдали различия показателя по годам исследования, как в сравнении между собой, так и в сравнении со среднемноголетним. По данному показателю за вегетационный период года расположились в следующий убывающий ряд 2022 (избыточно влажный), 2023 (влажный) и 2024 (слабо засушливый) год по условиям увлажнения.

Результаты и их обсуждение. Возделывание цикория корневого сорта «Петровский» почвенно-климатических условиях 2022-2024 годов исследования обеспечило получение корнеплодов с содержанием азота 0,78 %, фосфора 0,33 % и калия 1, 53 % (в пересчёте на воздушно-сухую массу). Изменчивость

показателей содержания основных элементов питания по годам исследования под действием погодных условий была незначительная (табл. 1).

Возделывание цикория корневого, в среднем за период исследования, с применением органического удобрения в возрастающих дозах обеспечивает существенное повышения содержания азота до 1,08 %, фосфора 0,41 % и калия до 1,93 % (в пересчёте на воздушно-сухую массу) в сравнении с контрольным вариантом.

Таблица 1 – Содержание макроэлементов в корнеплодах цикория сорта «Петровский» в зависимости от применения органического и минерального удобрения на, % на воздушно-сухую массу (среднее за годы исследования)

Вариант	Азот	V, %	Фосфор	V, %	Калий	V, %
Контроль	0,78	7,09	0,33	9,35	1,53	8,55
Навоз 20 т/га	0,78	9,49	0,42	4,12	1,84	9,07
Навоз 40 т/га	1,08	7,74	0,41	15,81	1,93	6,91
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,99	11,65	0,36	13,25	1,77	6,78
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,09	6,93	0,36	12,73	1,85	6,98
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	1,04	11,26	0,40	13,88	1,80	7,29
HCP ₀₅	0,06	—	0,02	—	0,07	—

Изменчивость показателя содержания элементов питания в корнеплодах при применении органического удобрения, по годам исследования под действием погодных условий была незначительной или средней.

Возделывание цикория корневого, в среднем за период исследования, с применением минерального удобрения в возрастающих дозах обеспечивает существенное повышения содержания азота до 1,04 %, фосфора 0,40 % и калия до 1,80 % (в пересчёте на воздушно-сухую массу) в сравнении с контрольным вариантом.

Изменчивость показателя содержания элементов питания в корнеплодах при применении минерального удобрения, по годам исследования под действием погодных условий была незначительной или средней.

Баланс основных элементов питания при возделывании цикория корневого сорта «Петровский» свидетельствует о правильности выбора системы удобрения культуры. Отрицательные значения баланса указывают на риск ухудшения почвенного плодородия под действием выноса макроэлементов с урожаем из почвы. Положительные значения баланса указывают на возможность улучшения показателей почвенного плодородия под действием дополнительного поступления макроэлементов с удобрениями.

Баланс это разность поступления элемента (азота, фосфора, калия) и выноса элемента (азота, фосфора, калия) с продукцией растениеводства, при этом вне зависимости от года исследования поступление элементов питания было одинаковым, в тоже время вынос зависел от урожайности основной продукции сельскохозяйственной культуры и содержания в ней основных элементов питания.

Нами установлено, что в зависимости от погодных условий годов исследования урожайность корнеплодов цикория и эффективность удобрения при его возделывании была различной. В конкретные годы исследования содержание элементов питания в корнеплодах различалось под действием погодных условий и применения органического и минерального удобрения.

Приход азота, как элемента питания, в расчётах определяли исходя из применения доз органического и минерального удобрения, а также поступление с атмосферными осадками во время грозы (5 кг/га) и под действием свободно живущих азотофиксирующих бактерий (5 кг/га). Поступление фосфора и калия в расчётах брали исходя из применения доз органического и минерального удобрения (табл. 2).

Контрастность погодных условий годов исследования отразилась в эффективности действия удобрения при возделывании цикория корневого, что сказалось на урожайности и содержании основных элементов питания, так наиболее урожайный год – 2023, а 2024 год, когда определили наибольшее содержание элементов питания.

Возделывание цикория корневого сорта «Петровский» в условиях серых лесных почв опытного поля Брянского ГАУ в период исследования определяет наименьший вынос элементов питания в 2022 году азота 29, фосфора 13 и калия 54 кг/га, а наибольший в 2023 году азота 37, фосфора 15 и калия 78 кг/га, при средних показателях выноса за годы исследования азота 34, фосфора 14 и калия 67 кг/га.

Отличие в выносе элементов питания в зависимости от года исследования (отношение 2023 к 2022 году) составило по азоту 1,28 раз, по фосфору 1,15 раз, по калию 1,44 раз.

Таблица 2 – Погодные условия и агрохимические мероприятия в балансе элементов питания при возделывании цикория корневого сорта «Петровский»

Вариант	Поступление, кг/га			Вынос, кг/га			Баланс, кг/га		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
2022 год исследования									
Контроль	10	0	0	29	13	54	-19	-13	-54
Навоз 20	110	52	132	41	23	91	69	29	41
Навоз 40	220	104	264	66	24	125	154	80	139
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70	26	50	56	20	98	14	6	-48
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	100	39	75	76	25	123	24	15	-48
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	130	52	100	82	29	129	48	24	-29
2023 год исследования									
Контроль	10	0	0	37	15	78	-27	-15	-78
Навоз 20	110	52	132	49	28	128	61	24	4
Навоз 40	220	104	264	89	31	189	131	73	75
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70	26	50	89	32	176	-19	-6	-126
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	100	39	75	123	39	218	-23	1	-143
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	130	52	100	126	50	247	4	2	-147
2024 год исследования									
Контроль	10	0	0	36	15	69	-26	-15	-69
Навоз 20	110	52	132	48	27	111	62	25	21
Навоз 40	220	104	264	83	34	160	137	70	104
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70	26	50	70	26	118	0	1	-68
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	100	39	75	95	33	161	5	6	-86
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	130	52	100	105	42	179	25	10	-79
среднее за годы исследования									

Контроль	10	0	0	34	14	67	-24	-14	-67
Навоз 20	110	52	132	46	26	110	64	26	22
Навоз 40	220	104	264	79	30	157	141	74	107
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70	26	50	73	26	130	-3	0	-80
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	100	39	75	99	33	167	1	7	-92
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	130	52	100	106	41	185	24	12	-85

В период исследования увеличение применения доз органического удобрения при возделывании цикория корневого в условиях опыта обуславливает рост выноса элементов питания вне зависимости года исследования. Определили, что наименьший вынос элементов питания при применении 40 т/га навоза в 2022 году азота 66, фосфора 24 и калия 125 кг/га, а наибольший в 2023 году азота 89, фосфора 31 и калия 189 кг/га, при средних показателях выноса за годы исследования азота 79, фосфора 30 и калия 157 кг/га.

Отличие в выносе элементов питания в зависимости от года исследования (отношение 2023 к 2022 году) составило по азоту 1,35 раз, по фосфору 1,29 раз, по калию 1,51 раз.

Применение минерального удобрения в возрастающих дозах N₆₀P₆₀K₆₀, N₉₀P₉₀K₉₀ и N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ при возделывании цикория корневого в условиях опыта в период исследования обуславливает рост выноса элементов питания вне зависимости года исследования. Определили, что наименьший вынос элементов питания при применении N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ в 2022 году азота 82, фосфора 29 и калия 129 кг/га, а наибольший в 2023 году азота 126, фосфора 50 и калия 247 кг/га, при средних показателях выноса за годы исследования азота 106, фосфора 41 и калия 185 кг/га.

Отличие в выносе элементов питания в зависимости от года исследования (отношение 2023 к 2022 году) составило по азоту 1,54 раз, по фосфору 1,72 раз, по калию 1,91 раз.

Оптимальные погодные условия при возделывании цикория корневого создают условия обуславливают наибольший вынос элементов питания с урожаем при применении органического и минерального удобрения, кратность увеличения выноса по органическому удобрению азота, фосфора и калия соответствен-

но 1,35, 1,29 и 1,51 раз, а по минеральному удобрению соответственно 1,54, 1,72 и 1,91 раз.

Возделывание цикория корневого сорта «Петровский» в условиях серых лесных почв Брянской области в период исследования определяет наименьший отрицательный баланс элементов питания в 2022 году азота –19, фосфора –13 и калия –54 кг/га, а наибольший в 2023 году азота –27, фосфора –15 и калия –78 кг/га, при показателях баланса в среднем за годы исследования азота –24, фосфора –14 и калия –67 кг/га.

В период исследования увеличение применения доз органического удобрения при возделывании цикория корневого в условиях опыта обуславливает рост положительного баланса элементов питания вне зависимости года исследования. Наибольший положительный баланс элементов питания при применении 40 т/га навоза в 2022 году азота 154, фосфора 80 и калия 139 кг/га, а наименьший в 2023 году азота 131 и калия 75 кг/га, а фосфора 70 кг/га в 2024 году, при показателях баланса в среднем за годы исследования азота 141, фосфора 74 и калия 107 кг/га.

Увеличение применения доз минерального удобрения при возделывании цикория корневого в условиях опыта обуславливает рост положительного баланса азота и фосфора вне зависимости года исследования. Применение $N_{120}P_{120}K_{120}$ определяет наибольший положительный баланс азота 48 и фосфора 24 и наименьший отрицательный баланс калия –29 кг/га в 2022 году, а наименьший положительный баланс азота 4 и фосфора 2 и наибольший отрицательный баланс калия –147 кг/га в 2023 году, при показателях баланса в среднем за годы исследования азота 24, фосфора 12 и калия –85 кг/га.

В период исследования увеличение применения доз органического удобрения при возделывании цикория корневого в условиях опыта обуславливает положительный баланс элементов питания, вне зависимости от дозы навоза.

В период исследования увеличение применения доз минерального удобрения при возделывании цикория корневого в условиях опыта обуславливает

положительный баланс азота и фосфора в условиях избыточного увлажнения и слабо засушливых условиях.

Применение $N_{120}P_{120}K_{120}$ обуславливает положительный баланс азота и фосфора вне зависимости от года исследования (погодных условий). Применение минерального удобрения в исследуемых дозах не обеспечивает положительного баланса калия вне зависимости от года исследования (погодных условий).

Закключение. Проведённые исследования в условиях серых лесных почв Брянской области на различном уровне минерального питания позволяют сделать следующие выводы:

1. В среднем за годы исследования условия возделывания цикория корневого обеспечивали получение корнеплодов с содержанием азота 0,78, фосфора 0,33, калия 1,53 %. Установили достоверное увеличение содержания основных элементов питания в корнеплодах цикория с увеличением применения органического и минерального удобрения. Наибольшее содержание калия в корнеплодах по вариантам опыта характерно для слабо засушливых условий увлажнения.
2. Установили, что вынос элементов питания главным образом зависел от урожайности, элементный состав воздушно-сухой массы корнеплода влиял слабо. Обнаружили, что оптимальные погодные условия при возделывании цикория корневого создают условия наибольшего выноса элементов питания с урожаем при применении органического и минерального удобрения. В среднем за годы исследования применение органического удобрения в исследуемых дозах обуславливает положительный баланс элементов питания, применение минерального удобрения в исследуемых дозах обуславливает положительный баланс фосфора, а азота только при применении $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$. Применение минерального удобрения в исследуемых дозах не обеспечивает положительного баланса калия.

Литература

1. Минеев В.Г. Агрохимия: учебник. – М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.

2. Семькин В.А., Пигорев И. Я., Никитина О. В. Баланс элементов питания и гумуса в землях сельскохозяйственного назначения Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3. – С. 6-11.
3. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13.
4. Сычев В.Г., Шафран С.А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. – 2019. – № 2 (107). – С. 22-25.
5. Просяников Е.В. Агрохимические аспекты устойчивого земледелия // Агрохимический вестник. – 2019. – № 5. – С. 13-17.
6. Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Цырк А.А. Баланс питательных веществ в земледелии Омской области // Плодородие. – 2018. – №2(101). – С. 4-5.
7. Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 1. – С. 38-41.

References

1. Mineev, V.G. (2017). Agrohimiya: uchebnik [Agrochemistry: textbook]. M.: Publishing House VNIIA named after D.N. Pryanishnikov.
2. Semykin V.A., Pigorev I. YA., Nikitina O. V. (2019) Balans elementov pitaniya i gumusa v zemlyah sel'skohozyajstvennogo naznacheniya Kurskoj oblasti [Balance of food elements and humus in agricultural lands of the Kursk region]. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy, no 3, pp. 6–11.
3. Sychev, V.G., Shafran, S.A., Vinogradova, S.B. (2020). Plodorodie pochv Rossii i puti ego regulirovaniya [Soil fertility in Russia and ways of its regulation]. Agrochemistry, no 6, pp. 3–13.
4. Sychev, V.G., Shafran, S.A. (2019). Prognoz plodorodija pochv Nechernozemnoj zony v zavisimosti ot urovnja primenenija udobrenij [Forecast of soil fertility in the Non-Black Earth Zone depending on the level of fertilizer use]. Fertility, no 2, pp. 22–25.

5. Prosyannikov. E.V. (2019). Agrohimicheskie aspekty ustojchivogo zemledelija [Agrochemical aspects of sustainable agriculture]. Agrochemical Bulletin, no 5, pp. 13–17.
6. Krasnickij V.M., SHmidt A.G., Cyrk A.A. (2018) Balans pitatel'nyh veshchestv v zemledelii Omskoj oblasti [The balance of nutrients in agriculture in the Omsk region]. Fertility, no 2, pp. 4–5.
7. Plotnikov A.M., Kabdunova G.S. (2018) Balans elementov pitaniya i produktivnost' zernoparovogo sevooborota pri primenenii mineral'nyh udobrenij [Balance of nutrients and productivity of grain-steam crop rotation when using mineral fertilizers]. Problems of agrochemistry and ecology, no 1, pp. 38–41.

© Пургина А.В., Смольский Е.В., 2026. *International agricultural journal*, 2026,

№ 4, 158-171.