

EDN ADJVJX

DOI 10.5281/zenodo.8272626

УДК 631.8:631.582:631.416.2

Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А., Цыганова Н. А.

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОСФАТНОГО РЕЖИМА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ В АГРОЦЕНОЗЕ

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

Реферат. В современной земледелии разработка научно обоснованной системы удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей региона имеет актуальное значение. Цель исследования заключалась в изучении качественного и группового состава фосфатов лугово-черноземной почвы, установлении влияния систематического внесения фосфорных удобрений на содержание подвижного фосфора в почве и продуктивность зернопарового севооборота в южной лесостепной зоне Западной Сибири. Исследования проводили в 1993–2021 гг. на опытном полигоне лаборатории агрохимии Омского аграрного научного центра в длительном стационарном опыте на основе зернопарового севооборота (пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Опыт двухфакторный: фактор А – минеральные удобрения, фактор Б – солома. Дозы фосфорных удобрений рассчитаны балансовым методом Ю. П. Жукова. В наших исследованиях по определению обеспеченности растений подвижным фосфором из трех методов (Чирикова, Францесона и Карпинского-Замятиной) наиболее информативно сопряжены методы Чирикова и Карпинского-Замятиной ($r = 0,931 \pm 0,011$). Установлено, что при повышенном содержании подвижного фосфора в почве по Чирикову степень подвижности фосфатов низкая ($0,14 \pm 0,01$). Систематическое применение удобрений увеличило содержание подвижного фосфора в почве в среднем в два раза, при этом и степень подвижности фосфатов возросла в пять раз ($0,74 \pm 0,06$). Выявлено, что при длительном внесении удобрений во фракционном составе фосфатов почвы доля активных фосфатов (1–4 группа) составила 64 % от общего содержания минеральных фосфатов. Ретроградации фосфат-ионов не наблюдали. Связь содержания подвижного фосфора в почве с количеством внесенного фосфорного удобрения P_2O_5 к третьей ротации севооборота была тесная – $r = 0,994 \pm 0,046$. Увеличение содержания подвижного фосфора в почве повышало продуктивность севооборота ($r = 0,884 \pm 0,111$). Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений в севообороте в дозе P_{42-54} и соломы обеспечило положительный баланс фосфора (195 кг/га) с интенсивностью 276 %.

Ключевые слова: почва, удобрения, фосфатный режим, фракционный состав, севооборот, продуктивность.

Для цитирования: Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А., Цыганова Н. А. Агрохимическая оценка фосфатного режима агроценоза с лугово-черноземной почвой // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2 (34). С. 6–15. EDN: ADJVJX. DOI 10.5281/zenodo.8272626.

For citation: Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A., Tsyganova N. A. Agrochemical assessment of the phosphate regime of meadow-chernozem soil in agrocenosis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 6–15. EDN: ADJVJX. DOI 10.5281/zenodo.8272626.

Введение

Теоретическим основам изучения фосфатного режима почв и практическим вопросам применения фосфорсодержащих удобрений в земледелии большое

внимание было уделено во второй половине двадцатого столетия. В многочисленных работах ученых [1–3] представлены фундаментальные исследования фосфорного питания растений в совокупности с химическими процессами, протекающими в почвах, особенностями минерального питания растений, а также отдельные вопросы эффективности фосфорных удобрений (дозы, сроки, приемы внесения и т.д.), что обусловило значимый прорыв в развитии агрохимической науки.

Исследования по изучению фосфатного режима черноземных почв в Западной Сибири представлены во многих работах [4–7]. Провинциальной особенностью западносибирских черноземных почв, согласно исследований Н.И. Богданова [1], является высокая (до 72 % от валового содержания фосфора в почве) обеспеченность их органическими и органоминеральными фосфатами и недостаточная растворимыми доступными формами. Фосфор в органических соединениях доступен растениям только после их перехода в минеральную форму.

В настоящее время накоплен большой объем информации по регулированию фосфатного режима почвы с помощью различных средств интенсификации. Применение различных химических соединений (органических и минеральных удобрений, промышленных отходов и т.д.) способствует выщелачиванию фосфора из прочно связанных соединений [3, 5, 8]. Следует отметить, что и использование фосфорных удобрений может значительно изменить фосфатный фонд, тем самым влияя на степень обеспеченности растений фосфором, количество и качество урожая сельскохозяйственных культур и экологическую безопасность.

Установлено, что при использовании солей фосфорной кислоты в качестве удобрения, не более 20 % фосфора используется растениями в онтогенезе, остальная же его часть в результате физико-химических процессов взаимодействует с почвенными компонентами и закрепляется почвенной биотой. Исследования [4, 9–11] показали, что систематическое внесение фосфорных удобрений не только обогащает почву фосфором в целом, но и значительно увеличивает подвижную фракцию. Наблюдается также мобилизация почвенного фосфора [4].

Цель исследований – определение качественного и группового состава фосфатов лугово-черноземной почвы, установление зависимостей содержания подвижного фосфора в почве и продуктивности агроценоза от внесенного фосфора с удобрениями в южной лесостепи Омского Прииртышья.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 1993–2021 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии Омского аграрного научного центра в длительном стационарном опыте (заложен 1987 г.) в южной лесостепи Западной Сибири на основе зернопарового севооборота (пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Севооборот развернут во времени и пространстве. Опыт заложен методом расщепленных делянок, размещение вариантов – систематическое. Площадь делянок первого уровня – 32×20 м², второго уровня – 16×20 м². Повторность опыта четырехкратная.

Объект – влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим лугово-черноземной почвы. Предмет исследования – лугово-черноземная среднемогущая среднегумусовая тяжелосуглинистая почва. В составе обменных катионов почвы доля Ca²⁺ – 89 %, Mg²⁺ – 11 %, Na⁺ – менее 1 %, общая сумма – 32,1 ммоль/100 г почвы, pH – 6,7.

Климат Омской области характеризуется резкой континентальностью, малым количеством осадков, сухим воздухом, длинной и холодной зимой и теплым, но коротким летом. Температура опускается в среднем до 0 °С в начале октября и поднимается весной с 12 по 15 апреля. Переход температуры через 5 °С считается

началом вегетационного периода для холодостойких культур и начинается в последней декаде апреля. Продолжительность вегетационного периода составляет 155–165 дней. Сумма активных температур выше 10 °С – 1600–2150°С.

Южная лесостепная зона имеет хорошую теплообеспеченность и дефицит влаги в течение большей части года. Годовое количество осадков составляет 320–370 мм. Летом (при температуре выше 5 °С) выпадает 160–210 мм осадков. Весной и летом осадки выпадают нерегулярно и очень неравномерно. Засуха длится 8–16 дней и в некоторые годы может достигать 35–40 дней.

Исследование проводили в двухфакторном опыте: фактор А – минеральные удобрения, фактор Б – солома. Дозы фосфорных удобрений рассчитаны балансовым методом Ю. П. Жукова [12]:

1. Дефицитный баланс фосфора;
2. Баланс фосфора с 30 % дефицитом;
3. Бездефицитный баланс фосфора;
4. Положительный баланс фосфора (таблица 1).

Таблица 1 – Система применения удобрений в севообороте

Номер системы	Доза удобрений, кг д. в. на 1 га пашни	
	1–3 ротации	4–5 ротации
1	-	-
2	N ₁₂ P ₁₈	P ₁₈
3	N ₁₇ P ₃₄	N ₁₂ P ₂₄
4	N ₃₀ P ₅₄ K ₁₈	N ₁₈ P ₄₂

В качестве удобрений использовали промышленные марки азот- и фосфорсодержащих удобрений. Вносили их перед посевом на глубину 6–8 см. Соответствующее урожаю количество соломы всех культур, измельченной при уборке, оставляли на опытных делянках. Посев районированных сортов сельскохозяйственных культур и учет урожайности проводили в соответствии с рекомендуемыми зональными агротехнологиями в оптимальные сроки прямым комбайнированием «Сампо-130». Урожайность приведена к 100 % чистоте и 14 % влажности.

Для выполнения поставленной цели в почвенных образцах определяли: подвижный фосфор – по Чирикову, легкоподвижный фосфор – по Францесону, степень подвижности фосфатов – по Карпинскому-Замятиной, групповой состав фосфатов почвы – по Гинзбург-Лебедевой [13]. Результаты исследований обработаны дисперсионным и корреляционным методами статистического анализа [13].

Результаты и их обсуждение

Фосфатный статус почвы и ее способность поставлять фосфор растениям устанавливается по количеству и качественному составу фосфатов в минеральной форме. Наиболее важное значение имеют подвижные растворимые соединения фосфора. Они включают различные формы фосфатов, которые находятся в динамическом равновесии между твердой фазой почвы и почвенным раствором.

В настоящее время для определения обеспеченности растений доступным фосфором используются различные методы, основанные на экстракции фосфат ионов растворами слабых кислот, щелочей и некоторых солей. В наших исследованиях по определению обеспеченности растений подвижным фосфором был использован метод Чирикова: фосфаты извлекали 0,5 н раствором уксусной кислоты. По мнению авторов [6], при использовании этого метода экстрагируются не только доступные формы фосфора для растений, но и резервные – фосфаты кальция. В методе Францесона использовался 0,006 н раствор соляной кислоты для извлечения

растворимых фосфатов в почве. Для определения степени подвижности фосфатов в почве использовали методику Карпинского-Замятиной. Этим методом определяют так называемый «фосфатный уровень» – способность твердых фаз почвы отдавать в раствор ионы фосфора. Доказательством того, что каждая вытяжка извлекает определённую часть подвижных фракций фосфатов, отражающая в целом уровень содержания P_2O_5 в почве, служит наличие достаточно тесной корреляционной связи между показаниями этих методов. Коэффициенты корреляции между каждой парой методов составили: Чириков – Францесон ($r = 0,700 \pm 0,121$); Чириков – Карпинский-Замятина ($r = 0,931 \pm 0,011$); Францесон – Карпинский-Замятина ($r = 0,713 \pm 0,0102$). Из трех методов наиболее информативно сопряжены по содержанию подвижного фосфора в почве методы Чирикова и Карпинского-Замятиной. В таблице 2 показана объективность используемых методов определения P_2O_5 в почве при оценке обеспеченности растений доступным фосфором. Связь между урожайностью яровой мягкой пшеницы по пару и содержанием подвижного фосфора в почве была наиболее сильной для метода Чирикова ($r = 0,82 \pm 0,23$).

Таблица 2 – Корреляционная связь содержания фосфора (слой почвы 0–20 см) и урожайности яровой мягкой пшеницы по пару (среднее за 2017–2021 гг.)

Вариант	P_2O_5 мг/100 г в почвы по методу			Урожайность, т/га
	Чирикова	Францесона	Карпинского и Замятиной	
Без удобрений	$119 \pm 7,5$	$11,2 \pm 0,8$	$0,14 \pm 0,01$	$2,66 \pm 0,51$
* P_{1230}	$233 \pm 25,0$	$23,3 \pm 2,0$	$0,74 \pm 0,06$	$3,42 \pm 0,47$
$r \pm s_r$	$0,82 \pm 0,23$	$0,51 \pm 0,35$	$0,67 \pm 0,053$	

Примечание. Суммарная доза фосфорсодержащих удобрений за пять ротаций севооборота.*

При анализе результатов определения содержания подвижного фосфора методами Чирикова и Карпинского-Замятиной выявлено, что в варианте без применения удобрений содержание P_2O_5 в почве повышенное ($x = 119 \pm 7,5$), а согласно градации Карпинского-Замятиной – степень подвижности фосфатов низкая ($x = 0,14 \pm 0,01$). Этот факт необходимо учитывать при разработке системы применения удобрений в севообороте. Систематическое применение фосфорсодержащих удобрений обеспечило увеличение содержания подвижного фосфора в почве в среднем в два раза (по Чирикову), при этом и степень подвижности фосфатов возросла в пять раз ($x = 0,74 \pm 0,06$).

Считается, что специфичность фосфора как компонента питания растений заключается в разнообразии солевого состава в почве. Это определяется методом поэтапной экстракции с разделением на отдельные группы с различной растворимостью и, следовательно, различной доступностью для растений [2]. Разделение на фракции основано на том, что фосфор в почве представлен в виде простых водорастворимых соединений кальция (Ca-P_I), практически нерастворимых в воде солей кальция (Ca-P_{II}), замещенных фосфатов алюминия (Al-P), железа (Fe-P) и кальция (Ca-P_{III}). Фосфор лучше всего усваивается растениями во фракциях Ca-P_I и Ca-P_{II}.

Исследования, выполненные с помощью изотопных методов [14], доказали, что доступный пул фосфатов в почве обеспечивали фосфаты группы 1–4. К тому же доступность их, и прежде всего 2-4 групп, зависела от метеорологических условий региона.

Анализ почвенных образцов показал, что общее содержание минеральных фосфатов в исследуемых пробах лугово-черноземной почвы составляло до 20 % от валового его количества (таблица 3) [4]. Удобрения способствовали значительному

увеличению абсолютного и относительного количества соединений P_2O_5 в почве.

Таблица 3 – Влияние удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов в почве после пятой ротации зернопарового севооборота

Количество внесенного P_2O_5 , кг/га		Содержание P_2O_5 по фракциям, мг/100 г почвы						
с минеральными удобрениями	с соломой	Ca-P _I	Ca-P _{II}	Al-P	Fe-P	Ca-P _{III}	∑1-4	∑1-5
0	0	8,2	7,9	2,4	7,0	8,4	25,5	33,9
0	98	7,9	8,3	2,0	7,2	8,6	25,4	34,0
450	-	8,5	8,0	2,3	7,1	8,2	25,9	34,1
450	110	8,3	8,4	2,3	6,9	8,5	25,9	34,4
750	-	8,4	9,1	2,3	8,1	9,0	27,9	36,9
750	118	8,4	8,6	2,3	7,6	8,5	26,9	35,4
1230	-	9,6	10,5	2,7	8,4	8,4	31,2	39,6
1230	130	10,1	9,1	2,6	8,2	8,8	30,0	38,8
НСР ₀₅		1,3	1,1	0,6	1,4	1,5	-	-

Во фракционном составе минеральных фосфатов отмечено преобладание фосфатов первых двух групп из суммы доступных ($\Sigma 1-4$). Они составляли в среднем 64 % от общего содержания минеральных фосфатов. Содержание недоступных для растений Al-P и Fe-P составило 9 % и 28 % и было меньше, чем в первых двух группах [15], а в пятой группе (в основном фосфат кальция типа апатита первичного и вторично образованного) – 24 %.

Изменение количества минеральных фосфатов в большей степени определялось дозой внесения фосфорных удобрений. Следует отметить, что только в тех вариантах, где схемой опыта предусмотрено внесение фосфорсодержащих удобрений сверх выноса, наблюдалось увеличение количества одно- и двузамещённых соединений кальция на 21–22 %. По истечении пяти ротаций севооборота содержание высокоосновного фосфата (Ca-P_{III}) не изменилось. Это объясняется тем, что внесенные в почву фосфорные удобрения оставались в растворимой форме и закрепления P_2O_5 практически не происходило, что согласуется с результатами полевого эксперимента М. Т. Васбиевой [16]. Внесение фосфорных удобрений не повлияло на изменение содержания фосфата кальция (группа 5). Согласно исследованиям С. С. Аверкиной, И. В. Науменко [9], 60–80 % фосфора, внесённого с удобрением, распределилось в группах доступных фосфатов.

При анализе влияния соломы на условия фосфорного питания растений не выявлено существенных изменений в количестве фосфатов по фракциям. Это связано с низким содержанием валового фосфора в соломе зерновых и зернобобовых культур в севообороте (0,10–0,20 %), что в целом за 25-летний период дает норму внесения фосфора с соломой 98–130 кг/га севооборота или ежегодно 3,9–5,2 кг/га.

Статистический анализ влияния факторов на содержание в почве P_2O_5 показал, что доля фактора фосфорных удобрений составляет 86–88 %, а соломы – 1–11 %.

Нами установлено, что при длительном применении фосфорных удобрений наблюдалась дифференциация содержания подвижного фосфора по вариантам опыта (таблица 4). Запасы подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см увеличились на 48–207 кг/га за счет новообразованных фосфатов.

По окончании пятой ротации севооборота в почве в следующих вариантах опыта: без внесения удобрений, внесение соломы, внесение удобрений в дозах $N_{12-18}P_{18-54}$ сформировался определенный фосфорный фон, который в конечном итоге определил уровень продуктивности севооборота.

Корреляционный анализ данных по содержанию подвижного фосфора в почве (у, мг/кг) и количества внесенного P₂O₅ (х, кг д. в./га) показал, что изменение содержания подвижного фосфора в почве было прямо пропорционально количеству внесенных удобрений (таблица 5).

Таблица 4 – Изменение содержания подвижного фосфора после пятой ротации, слой 0–20 см

Количество внесенного P ₂ O ₅ , кг д.в./га		Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	Отклонение от исходного (1993 г.)	
с минеральными удобрениями	с соломой		мг/кг	%
0	-	117	0	0
0	98	117	-2	-2
450	-	137	22	19
450	110	138	25	22
750	-	166	38	30
750	118	170	43	37
1230	-	208	88	73
1230	130	213	94	79
НСР ₀₅ удобрений		21,8	13,4	
НСР ₀₅ соломы		F _ф < F _г		-
НСР ₀₅ частных средних		F _ф < F _г		

Таблица 5 – Зависимость содержания подвижного фосфора (у, мг/кг) в почве от внесенного P₂O₅ с удобрениями (х, кг д. в./га) в зернопаровом севообороте

Ротация севооборота	Коэффициент корреляции	Уравнение
I	r = 0,429 ± 0,151	y = 0,060x + 08,9
II	r = 0,947 ± 0,131	y = 0,082x + 115,5
III	r = 0,994 ± 0,046	y = 0,077x + 115,2
IV	r = 0,917 ± 0,071	y = 0,0804x + 169,98
V	r = 0,915 ± 0,112	y = 0,0957x + 142,5

Обобщение результатов и статистический анализ экспериментальных данных с большим количеством пар сравнения и разными уровнями внесения фосфора (P₀₋₁₂₃₀) позволили выявить общую закономерность связи между продуктивностью культур и запасами подвижного фосфора в пахотном слое почвы: $y = 0,0056x + 1,1036$, где у – продуктивность, т/га зерновых единиц; х – мг P₂O₅/кг почвы (рисунок 1).

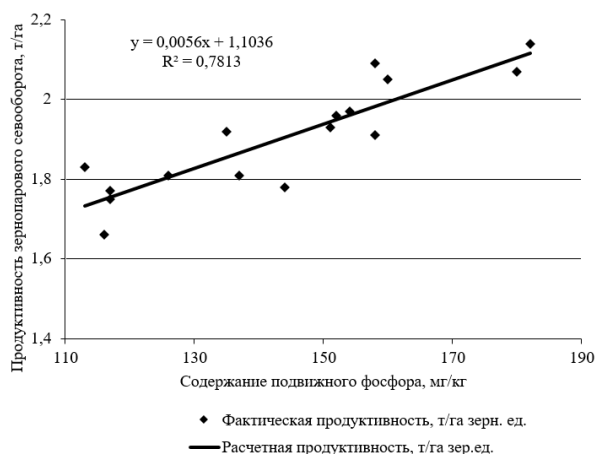


Рисунок 1 – Корреляционная связь продуктивности зернопарового севооборота от содержания подвижного фосфора в слое почвы 0–20 см

Балансовая оценка минерального питания растений в агроценозе в зависимости от систем удобрения, агротехники, набора культур, систем севооборота, почвенно-климатических условий представлена в работах многих ученых [4, 7, 17]. В нашем исследовании представлен расчет баланса фосфора в зернопаровом севообороте, который позволил оценить влияние удобрений на эффективное плодородие по фосфору. Баланс фосфора был отрицательным в контрольном варианте (P_0) – 109 кг/га и в варианте внесения только соломы ($P_{0+солома}$) – 69 кг/га (рисунок 2).

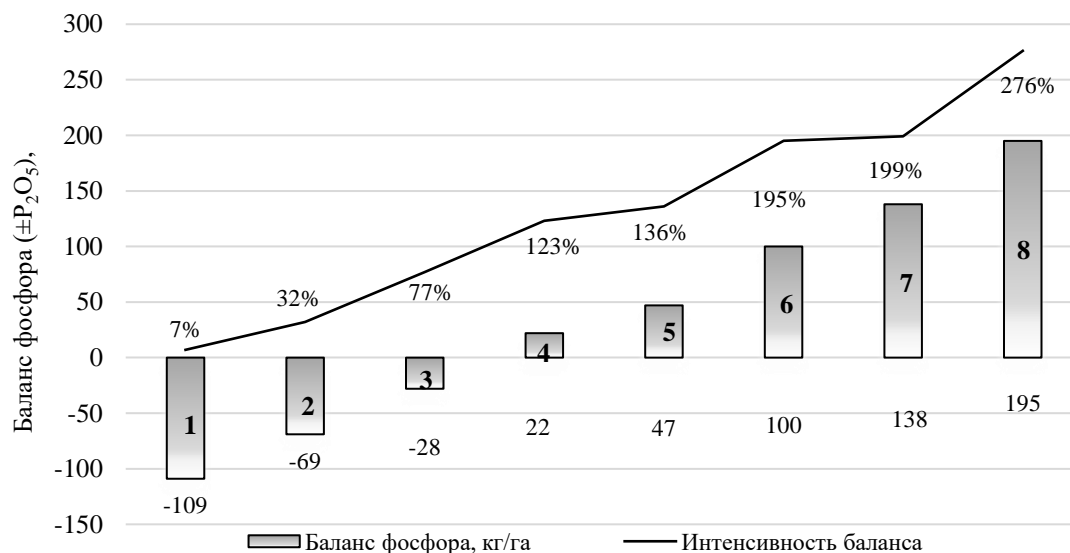


Рисунок 2 – Баланс фосфора и его интенсивность

Примечание. Варианты: 1 – P_0 ; 2 – $P_{0+солома}$; 3 – P_{450} ; 4 – $P_{450+солома}$; 5 – P_{750} ; 6 – $P_{750+солома}$; 7 – P_{1230} ; 8 – $P_{1230+солома}$.

Благодаря увеличению дозы фосфорных удобрений с 18 до 54 кг/га севооборота баланс фосфора в почве также изменился. Дефицит фосфора в варианте P_{18} составил 28 кг P_2O_5 на гектар, внесение фосфорных удобрений в этой норме недостаточно для компенсации поглощения фосфора культурой. Баланс фосфора достиг 47 и 138 кг/га P_2O_5 для вариантов P_{750} и P_{1230} соответственно, а увеличение содержания подвижного фосфора в почве благодаря наличию в почве остаточных фосфатов достигло 38–94 мг/кг.

Только после пятой ротации варианте $P_{18+солома}$ наблюдалось нивелирование дефицита фосфора в почве, тогда как при внесении фосфорных удобрений в дозах 34–54 кг/га севооборотной площади с соломой отмечался прирост содержания подвижного фосфора в почве в сравнении с вариантами без внесения соломы. Это объясняется кумулятивным эффектом, норма внесения фосфора с соломой за учетный период составила 98–130 кг/га. Следует отметить, что эффективное действие соломы было более активным в варианте фосфорного удобрения, внесенного в дозе P_{750} , прирост баланса за счет соломы составил 113 %. В варианте P_{1230} с запашкой соломы баланс фосфора возрос на 41% по сравнению с вариантом P_{1230} . Повышение содержания фосфора в почве не является самоцелью, а должно быть результатом интенсивного применения фосфатов в современном сибирском земледелии с целью повышения продуктивности севооборотов.

Выводы

Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений в севообороте в дозах (P₁₈₋₄₂) привело к увеличению подвижных фосфатов в почве в сравнении с исходным его количеством. При этом степень подвижности фосфатов в пахотном горизонте возросла в среднем в два раза.

Фракционный состав фосфатов почвы показал, что доля активных фосфатов (1–4 группа), в частности рыхлосвязанных фосфатов (1–2 группы), значительно увеличивалась при длительном внесении удобрений в севообороте. Ретроградации фосфат-ионов не наблюдалось.

Установлена тесная связь содержания подвижного фосфора в почве с количеством внесенного фосфорного удобрения к III ротации севооборота ($r = 0,994 \pm 0,046$). Увеличение содержания подвижного фосфора в почве повышало продуктивность севооборота ($r = 0,884 \pm 0,111$).

Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений в севообороте в дозе P₁₂₃₀ (в сумме за пять ротаций) и соломы возделываемых культур обеспечило максимально положительный баланс фосфора 195 кг/га с интенсивностью 276 %.

Литература

1. Богданов Н. И. Валовой и органический фосфор в сибирских черноземах // Почвоведение. 1954. № 5. С. 27–37.
2. Гинзбург К. Е. Фосфор основных почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
3. Минеев В. Г., Лебедева Л. А. Оптимизация содержания подвижного фосфора в почве и продуктивность растений // Вестник РАСХН. 1995. № 6. С. 52–54.
4. Воронкова Н. А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири // Агрохимия. 2010. № 12. С. 10–17.
5. Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Якименко В. Н. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 29–33. DOI: 10.31857/S2500262721010075.
6. Аверкина С. С., Синещков В. Е., Ткаченко Г. И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 11–12. С. 5–10.
7. Красницкий В. М., Шмидт А. Г., Шилова К. М. Влияние интенсивности баланса фосфора на фосфатный режим почв Омской области // Плодородие. 2013. № 4(73). С. 33–36.
8. Шафран С. А., Кирпичников Н. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.
9. Аверкина С. С. Региональные особенности и оценка методов определения подвижных фосфатов в почвах новосибирской области // Вестник НГАУ. 2019. № 3(52). С. 7–16. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16.
10. Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С. Влияние длительного применения систем удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 2. С. 43–48. DOI: 10.31857/S2500262721020095.
11. Ubugunov L. L., Merkusheva M. G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. DOI: 10.1134/S1064229315060113.
12. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. Агрохимия. М.: Мир, 2004. 584 с.
13. Практикум по агрохимии: Учебное пособие // Под ред. Минеева В. Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 639 с.
14. Гамзиков Г. П. Проблемы экспериментальной агрохимии. Новосибирск: ООО «Печатное издательство Агро-Сибирь», 2013. 448 с.
15. Булакова Л. М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза: монография. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2022. 203 с.
16. Васбиева М. Т. Изменение фракционного состава минеральных фосфатов, содержания подвижного фосфора и степени подвижности фосфатов по профилю дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2021. № 7. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188121070115.
17. Усенко В. И., Усенко С. В., Литвинцева Т. А., Щербакова А. А., Кобзева И. А. Баланс фосфора и обеспеченность им выщелоченного чернозёма в зависимости от севооборота, приемов

обработки и удобрений в лесостепи Алтайского Приобья // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 10. С. 14–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-11003.

References

1. Bogdanov N. I. Gross and organic phosphorus in Siberian chernozems // Eurasian Soil Science. 1954. No. 5. P. 27–37.
2. Ginzburg K. E. Phosphorus of the main soils of the USSR. Moscow: Nauka, 1981. 244 p.
3. Mineev V. G., Lebedeva L. A. Optimization of mobile phosphorus content in soil and plant productivity // Bulletin RASKHN. 1995. No. 6. P. 52–54.
4. Voronkova N. A. Effect of the long-term application of mineral and organic fertilizers to crop rotation on the phosphate status of leached chernozems in Western Siberia // Agrohimia. 2010. No. 12. P. 10–17.
5. Boyko V. S., Timokhin A. Yu., Yakimenko V. N. Change in the phosphate state of soils of the forest-steppe of Western Siberia at the systematic application of fertilizers // Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2021. No. 1. P. 29–33. DOI: 10.31857/S2500262721010075.
6. Averkina S. S., Sineschekov V. E., Tkachenko G. I. Evaluation of methods for determining phosphates in chernozems of the Novosibirsk region // Siberian Herald of Agricultural Science. 2011. No. 11–12. P. 5–10.
7. Krasnitsky V. M., Shmidt A. G., Shilova K. M. Effect of high-input chemicals on the phosphate status of arable soil types in the Omsk region // Plodorodie. 2013. No. 4(73). P. 33–36.
8. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A. Scientific bases for predicting the content of mobile forms of phosphorus and potassium in soils // Agrohimia. 2019. No. 4. P. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.
9. Averkina S. S. Regional features and evaluation of the methods aimed at labile phosphates determination in the soil of Novosibirsk region // Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2019. No. 3(52). P. 7–16. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16.
10. Vasbieva M. T., Yamaltdinova V. R., Fomin D. S. The influence of long-term application of fertilizer systems on the fractional composition of mineral phosphates and the content of mobile phosphorus of soddy-podzolic soil by profile // Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka. 2021. No. 2. P. 43–48. DOI: 10.31857/S2500262721020095.
11. Ubugunov L. L., Merkusheva M. G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. DOI: 10.1134/S1064229315060113.
12. Yagodin B. A., Zhukov Yu. P., Kobzarenko V. I. Agrochemistry. Moscow: Mir, 2004. 584 p.
13. Workshop on agrochemistry: Textbook / Ed. by Mineeva V. G. Moscow: Moscow State University Publ., 2001. 639 p.
14. Gamzikov G. P. Problems of experimental agrochemistry. Novosibirsk: “Pechatnoe izdatelstvo Agro-Sibir OOO” (Limited Liability Company), 2013. 448p.
15. Burlakova L. M. Fertility of Altai chernozems in the system of agrocenosis: monograph. Barnaul: Altai State Agricultural University Publ., 2022. 203 p.
16. Vasbieva M.T. Changes in the fractional composition of mineral phosphates, content of mobile phosphorus and degree of mobility of phosphates along the profile of sod-podzolic soil of long-term application of fertilizers // Agrohimia. 2021. No. 7. P. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188121070115.
17. Usenko V. I., Usenko S. V., Litvintseva T. A., Shcherbakova A. A., Kobzeva I. A. Phosphorus balance and provision of leached chernozem with it depending on a crop rotation, tillage methods and fertilizers in the forest-steppe of Altai Ob Region// Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2019. Vol. 33. No. 10. P. 14–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-11003.

UDC 631.8:631.582:631.416.2

Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A., Tsyganova N. A.

AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF THE PHOSPHATE REGIME OF MEADOW-CHERNOZEM SOIL IN AGROCENOSIS

Summary. *In modern agriculture, the development of a scientifically based fertilizer system for crop cultivation, taking into account the zonal characteristics of the region, is of urgent importance. The research purpose was to study the qualitative and group composition of phosphates in meadow-chernozems, as well as to establish the effect of systematic application of phosphorus fertilizers on the content of mobile phosphorus in the soil and on the productivity of grain-fallow crop rotation in the southern forest-steppe zone of Western Siberia. The studies were conducted in 1993–2021 at the experimental site of the*

Agrochemistry Laboratory of the Omsk Agrarian Scientific Center in a long-term stationary experiment based on grain-fallow crop rotation (bare fallow – spring wheat – soybean – spring wheat – barley). The experimental design included the following options: Factor A – mineral fertilizers, Factor B – straw. Doses of phosphorus fertilizers were calculated by Yu. P. Zhukov balance method. In our studies on determining the availability of mobile phosphorus for plants, of the three methods (Chirikov, Frantseson and Karpinsky-Zamyatina), the Chirikov's and Karpinsky-Zamyatina's were the most informative ones ($r = 0.931 \pm 0.011$). It was found that when the content of mobile phosphorus in the soil was high (according to Chirikov), the degree of phosphate mobility was low (0.14 ± 0.01). Systematic application of phosphorus-containing fertilizers on average doubled the content of mobile phosphorus in the soil. At the same time, the degree of phosphates mobility increased fivefold (0.74 ± 0.06). While studying a fractional composition of soil phosphates we revealed that in the context of long-term fertilizer application in the crop rotation the proportion of active phosphates (group 1–4) significantly increased – they amounted to 64% of the total content of mineral phosphates. No retrogradation of phosphate ions was observed. The relationship between the content of mobile phosphorus in the soil and the amount of phosphorus fertilizer P_2O_5 applied to the third rotation of the crop rotation was close ($r = 0.994 \pm 0.046$). An increase in the content of mobile phosphorus in the soil improved the productivity of crop rotation ($r = 0.884 \pm 0.111$). Systematic application of phosphorus-containing fertilizers in crop rotation at a dose of P_{42-54} and straw of cultivated crops resulted in a positive phosphorus balance of 195 kg/ha with an intensity of 276%.

Keywords: soil, fertilizers, phosphate regime, fractional composition, crop rotation, productivity.

Воронкова Наталья Артемовна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; Россия, 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: voronkova.67@bk.ru.

Балабанова Наталья Фёдоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; Россия, 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru.

Волкова Виктория Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; Россия, 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: volkovava1989@yandex.ru.

Цыганова Надежда Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»; 644012, г. Омск, пр. Королёва, 26; e-mail: duxa21@mail.ru.

Voronkova Natalia Artemovna, Dr. Sc. (Agr.), chief researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: voronkova.67@bk.ru.

Balabanova Natalia Fedorovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru.

Volkova Viktoria Andreevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: volkovava1989@yandex.ru.

Tsyganova Nadezhda Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agrochemistry, FSBSI “Omsk Agrarian Scientific Center”; 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: duxa21@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 04.04.2023.

Дата принятия к печати – 13.05.2023.