

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОСФАТНЫЙ ФОНД ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Л.П. Галеева, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

Ключевые слова: чернозём выщелоченный, минеральные удобрения, способы внесения, легкодоступный и подвижный фосфор, фракционный состав минеральных фосфатов, микробный фосфор, урожайность, зерновые культуры.

Реферат. Установлено, что содержание легкодоступного фосфора в почве мелкоделяночного опыта после трёх лет применения удобрений оставалось средним во всех вариантах, удобрения компенсировали его вынос зерновыми культурами. В полевом опыте содержание этой формы фосфора в пахотном слое почвы достоверно увеличивалось только при рядковом внесении удобрений, при остальных способах внесения оно уменьшалось до низкого. Удобрения в обоих опытах при всех способах внесения не только компенсировали вынос подвижного фосфора зерновыми культурами, но и создавали высокую и повышенную обеспеченность им растений. Они увеличивали содержание минеральных фосфатов и не влияли на соотношение их групп в почве. На долю активных фракций приходилось 22–25 %, фосфаты Ca – P₃ составляли 68–72 %, доля фосфатов Al – P и Fe – P была наименьшей и практически не изменялась, что свидетельствует об отсутствии перегруппировки и закреплении фосфатов в менее доступные и недоступные для растений формы. Фосфор удобрений поглощался не только растениями, но и микроорганизмами. Больше всего микробного фосфора в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного в мелкоделяночном опыте обнаружено при локальном внесении удобрений – 22 кг/га, а в чернозёме полевого опыта – при рядковом внесении – 31 кг/га, он может быть использован растениями в последствии. В слое почвы 0–40 см мелкоделяночного опыта запасы микробного фосфора в зависимости от способа внесения удобрений возрастали в ряду: рядковый – разбросной – локальный, а полевого: разбросной – локальный – рядковый. Только при внесении в рядки при посеве с семенами удобрения достоверно повышали урожайность яровой пшеницы, прибавка от них в мелкоделяночном и полевом опытах составила в среднем 42 и 26 % соответственно. Наибольшая урожайность овса в условиях достаточной влагообеспеченности почвы получена при разбросном внесении удобрений в действии и при рядковом – в последствии, прибавка урожайности составила 12 и 20 % соответственно. Баланс легкодоступного фосфора в чернозёме полевого опыта положительный при всех способах внесения удобрений, при его дефиците в контроле – 26 кг/га, а подвижного – положительный во всех вариантах.

THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON THE PHOSPHATE STOCK OF LEACHED CHERNOZEM AND THE PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS

L.P. Galeeva, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

Keywords: leached chernozem, mineral fertilizers, methods of application, readily available and mobile phosphorus, fractional composition of mineral phosphates, microbial phosphorus, yield, cereals.

Abstract. It was found that the content of readily available phosphorus in the soil of the small-scale experiment after 3 years of fertilizer application remained average in all variants, fertilizers compensated for its removal by grain crops. In the field experiment, the content of this form of phosphorus in the arable soil layer significantly increased only with row fertilization, with other methods of application it decreased to low. Fertilizers in both experiments, with all methods of application, not only compensated for the removal of mobile phosphorus by cereals, but also created a high and increased supply of plants with it. They increased the content of mineral phosphates and did not affect the ratio of their groups in the soil. The active fractions accounted for 22–25 %, Ca – P₃ phosphates accounted for 68–72 %, the proportion of Al – P and Fe – P phosphates was the lowest and practically unchanged, indicating the absence of rearrangement and fixation of phosphates into less

accessible and inaccessible forms for plants. Phosphorus of fertilizers was absorbed not only by plants, but also by microorganisms. The most microbial phosphorus in a layer of 0–20 cm of leached chernozem in a small-scale experiment was found with local fertilization – 22 kg /ha, and in the chernozem of the field experiment – with row application – 31 kg / ha, which can be used by plants in the aftereffect. In the soil layer of 0–40 cm of the small-scale experiment, the reserves of microbial phosphorus, depending on the method of fertilization, increased in a row: row – scattered – local, and field: scattered – local – row. Only when applied to rows during sowing with seeds, fertilizers significantly increased the yield of spring wheat, the increase from them in small-scale and field experiments averaged 42 and 26 %, respectively. The highest yield of oats in conditions of sufficient moisture supply of the soil was obtained with scattered fertilization in action and with row-in aftereffect, the increase in yield was 12 and 20 %, respectively. The balance of readily available phosphorus in the chernozem of the field experiment is positive for all methods of fertilization, with its deficiency in the control – 26 kg /ha, and mobile – positive in all variants.

Большая часть пахотных земель в России имеет низкую обеспеченность фосфором. В чернозёмах фосфор является элементом питания, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур.

Согласно данным [1, 2], для сохранения эффективного и потенциального плодородия почв, получения полноценных урожаев в полевых, зернопаровых и зернопропашных севооборотах в них должно содержаться не менее 200 (150–200), а в кормовых и овощных севооборотах – до 200–300 мг/кг почвы подвижного фосфора. Часто в почвах фосфора для питания растений недостаточно. Поэтому внесение фосфорных удобрений резко увеличивает биологическую продуктивность экосистем. Фосфорные удобрения обеспечивают высокий эффект во всех почвенно-климатических зонах страны. В условиях интенсивного земледелия идёт постоянное отчуждение сельскохозяйственными культурами большого количества фосфора. Поэтому для предотвращения снижения урожаев, возмещения выноса и создания запасов подвижных фосфатов в почве необходимо систематически вносить фосфорные удобрения. Долевое участие фосфора в прибавке урожая от полного удобрения в зависимости от почвенно-климатических зон составляет 15–61 % [3]. На слабокультуренных почвах внесение фосфора в почву должно превышать его вынос с урожаем сельскохозяйственных культур в 1,5–2,0 раза, а на хорошо обеспеченных фосфором почвах достаточно компенсировать его вынос урожаем [4].

Исследованиями [5, 6] установлено, что обогащение почвы растворимыми фосфатами в результате применения фосфорных удобрений усиливает подвижность почвенных фосфатов. По мере насыщения почвы фосфорными удобрениями

особенно ощутимо растёт 1-я фракция (Ca-P_1), содержащая наиболее доступные растениям фосфорные соединения [6–10]. При длительном взаимодействии фосфорных удобрений с почвой происходит обогащение фракции фосфатов полуторных оксидов, в которые переходит водорастворимый фосфат кальция суперфосфата. Установлено также, что фосфор водорастворимых форм удобрений закрепляется почвами и имеет низкий коэффициент использования растениями. Из суперфосфата в год внесения растения используют в среднем 15–20 % фосфора. При внесении удобрения локально – в рядки при посеве и посадке культур – коэффициент усвоения фосфора растениями возрастает в 1,3–1,5 раза [11, 12].

В связи с постоянным ростом цен на фосфорные удобрения, низким коэффициентом использования из них фосфора, возникает необходимость поиска приёмов их эффективного применения. Уменьшение контакта фосфорных удобрений с почвой способствует длительному сохранению их в доступной для растений форме. При этом коэффициент использования фосфора повышается на 5–10 %, что позволяет при сохранении одинаковой урожайности уменьшить дозы удобрений на 10–30 % из расчёта 10–20 кг/га д.в. P_2O_5 . Перспективным, повышающим коэффициент использования фосфора удобрений в несколько раз, является локально-ленточный способ внесения, при котором удобрения размещают на глубину 5–10 см ниже дна плужной подошвы. Созданные очаги удобрений не разрушаются последующими работками почвы, включая основную вспашку, а сосредоточенные в них элементы питания долгие годы сохраняются в доступной для растений форме. Вокруг очагов концентрируются остатки

отмерших корней, что приводит к образованию органоминеральных комплексов с повышенной биологической и агрохимической активностью. Эти зоны обладают большой водоудерживающей способностью, что особенно важно для районов недостаточного увлажнения. Поэтому самый экономный и высокоэффективный приём использования водорастворимых фосфорных удобрений – рядковое (локальное) их внесение при посеве и посадке сельскохозяйственных культур. При локальном способе внесения снижается химическое связывание фосфора, и он приближается к корневой системе растений, что обеспечивает повышение коэффициента использования фосфора удобрения на 5–8 % и увеличение урожая по сравнению с разбросным внесением. Усвоение фосфора растениями, эффективность удобрений и остаточных фосфатов в почве возрастают при сбалансированном снабжении другими элементами питания, прежде всего, такими, как азот и калий.

В этой связи, цель данных исследований – изучить влияние минеральных удобрений, внесённых разными способами, на фосфатный фонд чернозёма выщелоченного и продуктивность зерновых культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние способов внесения минеральных удобрений на фосфатный фонд чернозёма выщелоченного, используемого в пашне 20 и 50 лет, и урожайность зерновых культур (пшеницы, овса) изучали в мелкоделяночном (п. Краснообск) и в полевом опыте (учебно-опытное поле НГАУ учхоза «Тулинское» Новосибирской области) в течение трёх и четырёх лет. Почва опытных участков – чернозём выщелоченный среднесуглинистый иловато-крупнопылеватый. Варианты мелкоделяночного опыта: 1. Контроль (без удобрений). 2. $N_{60}P_{40}$ вразброс под осеннюю перекопку. 3. $N_{60}P_{20}$ вразброс под осеннюю перекопку + P_{20} весной в рядки при посеве с семенами. 4. $N_{60}P_{40}$ локально на глубину 10–12 см весной. Повторность опыта 4-кратная, площадь делянки 3,5 м² (0,5×7). Азотные удобрения вносили в виде аммиачной селитры (34 %), фосфорные – двойного гранулированного суперфосфата (43 %). Выращивали в течение 2-х лет яровую пшеницу Но-

восибирская 29 и один год – овёс сорта Краснообский. Варианты полевого опыта: 1. Контроль (без удобрений). 2. Разбросное внесение удобрений (вручную перед весенней культивацией). 3. Рядковое внесение (сеялкой СН-16 при посеве с семенами). 4. Локальное (врезание сеялкой СН-16 на глубину 10–12 см перед посевом). Удобрения вносили в виде азофоски (16 % д.в. – 1:1:1) в дозе 43 кг д.в./га ежегодно. Повторность опыта 4-х кратная, площадь делянки 75 м² (5×15), расположение делянок – ярусное. Отбор почвенных образцов проводили с двух несмежных повторностей ежегодно, весной – до посева и осенью – перед уборкой. Борьбу с сорняками проводили опрыскиванием посевов препаратом Гепард-экстра КЭ (100+27 г/л) из расчёта 0,6 л /га [10].

Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), рН – потенциометрически (ГОСТ 26483-85), обменные основания и обменный кальций – трилонометрическим методом (ГОСТ 27821-88) [13]. Общий азот – по Кьельдалю, Иодльбауэру (Аринушкина, 1970); фосфор – по Гинзбург и др. (ГОСТ 26261-84). Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу, легкодоступный фосфор (степень подвижности I) – по Карпинскому, Замятиной (1958); подвижный фосфор (фосфатная ёмкость Q) – по Чирикову (ГОСТ 26204-91), фракционный состав минеральных фосфатов – по Гинзбург, Лебедевой (1975). Содержание микробиального фосфора – фумигационным способом [14, 15]. Статистическая обработка данных выполнена корреляционным и дисперсионным анализами пакета программ «Снедекор» [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед закладкой опытов в пахотном слое чернозёмов выщелоченных, несмотря на разную длительность их использования (20 и 50 лет) в агроценозах (овощной и зерновой), содержание гумуса, валовых форм азота и фосфора было примерно одинаковым, обеспеченность нитратным азотом в слое почвы 0–40 см низкая, содержание легкодоступного фосфора в пахотном слое – среднее, подвижного фосфора – повышенное, а обменного калия – высокое (табл. 1).

Агрохимическая характеристика чернозёма выщелоченного перед закладкой опытов
Agrochemical characteristics of leached chernozem before laying experiment

Глубина, см	Гумус, %	рН	Общий		Сумма обменных оснований	Обменный кальций	N-NO ₃	P ₂ O ₅		K ₂ O
			N	P				по Карпинскому, Замятиной (I)	по Чирикову (Q)	
			%					мг-экв/100 г		
<i>Пашня 20 лет, п. Краснообск (мелкоделяночный опыт)</i>										
0–20	5,52	7,11	0,231	0,172	37,3	29,4/78,8*	5,3	0,44	121,9	134,5
20–40	4,30	7,50	0,142	0,139	38,8	22,8/72,8	5,5	0,23	82,0	111,9
<i>Пашня 50 лет, учхоз Тулинское (полевой опыт)</i>										
0–20	5,70	7,17	0,266	0,191	38,8	29,9/77,1	13,1	0,38	109,8	153,4
20–40	4,43	7,36	0,269	0,174	35,0	27,2/77,6	7,2	0,09	105,0	109,1

*Примечание. Слева от черты – содержание в мг-экв./100 г, справа – в % от суммы.

Содержание легкодоступного фосфора (по Карпинскому, Замятиной) в пахотном слое чернозёма п. Краснообск (мелкоделяночный опыт) после трёх лет применения удобрений оставалось средним во всех вариантах, удобрения компенсировали вынос этой формы фосфора зерновыми культурами (рис. 1). В чернозёме учхоза за счёт большего выноса фосфора урожаями зерновых культур оно уменьшалось от средне-повышенного содержания до низкого.

Удобрения только при рядковом их внесении в течение трёх лет поддерживали фосфатный уровень чернозёма выщелоченного п. Краснообск и уменьшали его до низкого в чернозёме учхоза.

Исходное содержание подвижного фосфора (по Чирикову) в слое 0–20 см обоих чернозёмов было одинаковым, а обеспеченность им растений – повышенная (рис. 1).



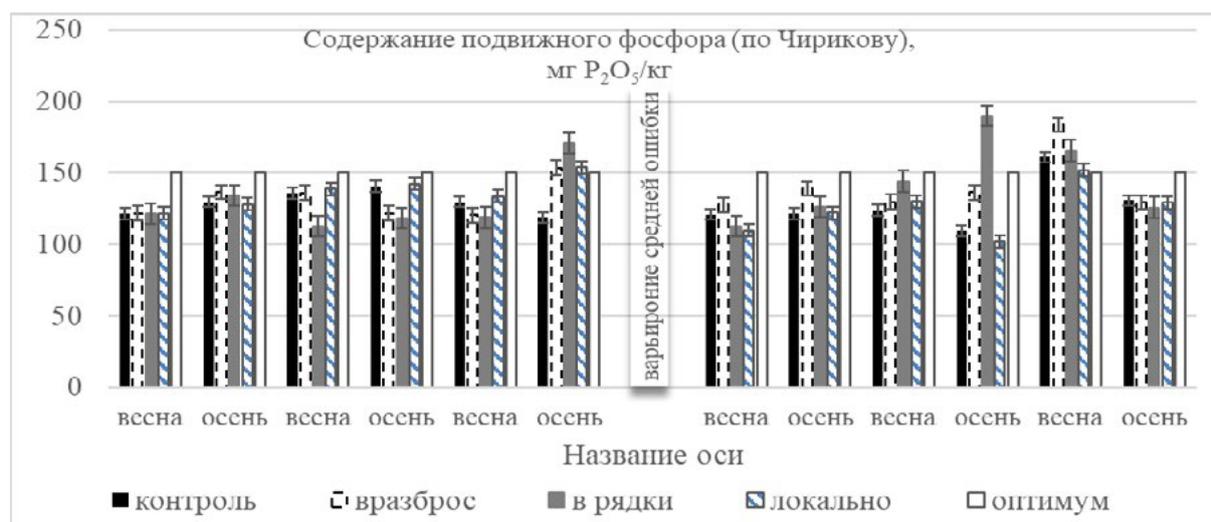


Рис. 1. Изменение содержания легкодоступного (I) и подвижного фосфора (Q) в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при разных способах внесения удобрений, мг P₂O₅/кг
 Changes in the content of readily available and mobile phosphorus in a layer of 0–20 cm leached chernozem with different methods of fertilization, mg P₂O₅/ kg

В 1-й год применения удобрений его содержание достоверно возросло в обоих чернозёмах при разбросном и рядковом внесении, а обеспеченность им осталась повышенной. Во 2-й год внесения удобрения увеличивали содержание подвижного фосфора в чернозёме мелкоделяночного опыта по сравнению с контролем только при локальном внесении, а в чернозёме полевого опыта оно превышало контроль при разбросном и рядковом внесении на 24 и 73 % соответственно. В 3-й год применения удобрения увеличивали содержание подвижного фосфора в чернозёме мелкоделяночного опыта в ряду: разбросной = локальный – рядковый, которое на 29 и 44 % превышало контроль и соответствовало высокой обеспеченности фосфором. В чернозёме полевого опыта содержание подвижного фосфора при всех способах внесения удобрений было повышенным (рис. 1).

Таким образом, удобрения в обоих опытах не только компенсировали вынос подвижного фосфора зерновыми культурами из почвы, но и создавали высокую и повышенную обеспеченность им растений.

При внесении минеральных удобрений в результате взаимодействия их с почвой питательные вещества подвергаются сложным химическим и биохимическим воздействиям. Большая часть фосфора в различных формах поглощается почвой и уменьшает его подвижность и доступность растениям.

Основная часть минеральных фосфатов пахотного слоя чернозёмов в обоих опытах перед закладкой была представлена апатитовой фракцией (Ca – P₃) – 68 и 79 % от суммы соответственно. На фосфаты активных фракций (сумма фосфатов трёх первых фракций) приходилось 25 и 14 % от суммы, из них большая часть в виде рыхлосвязанных и вторично образованных фосфатов (Ca–P₁ и Ca–P₂), доступных для растений (рис. 2 и 3).

Возделывание зерновых культур без удобрений повышало вынос фосфора, уменьшая содержание минеральных фосфатов и их активных фракций в слое 0–20 см на 13 и 19 % соответственно к исходному уровню (см. рис. 2). Удобрения при всех способах внесения увеличивали содержание минеральных фосфатов и не влияли на количество их активных фракций, кроме разбросного способа, где оно в пахотном слое возросло на 13 %. Трёхлетнее возделывание зерновых культур без удобрений (контроль) практически поддерживало долю активных фосфатов, свидетельствуя о высокой мобилизации фосфора почвы. На фосфаты активных фракций приходилось 23–25 % (см. рис. 2). Удобрения не изменяли соотношение групп минеральных фосфатов: на долю активных фракций приходилось 22–25 %, фосфаты Ca – P₃ составляли 68–72 %, доля фосфатов A₁ – P и Fe – P была наименьшей и практически не изменялась, свидетельствуя об отсутствии перегруппировки и закрепления фосфатов

в менее доступные и недоступные для растений формы.

Следовательно, $N_{60}P_{40}$ -удобрения в течение трёх лет применения, независимо от способа

внесения не только компенсировали вынос фосфора зерновыми культурами, но поддерживали и улучшали фосфатный фонд чернозёма выщелоченного в мелкоделяночном опыте.

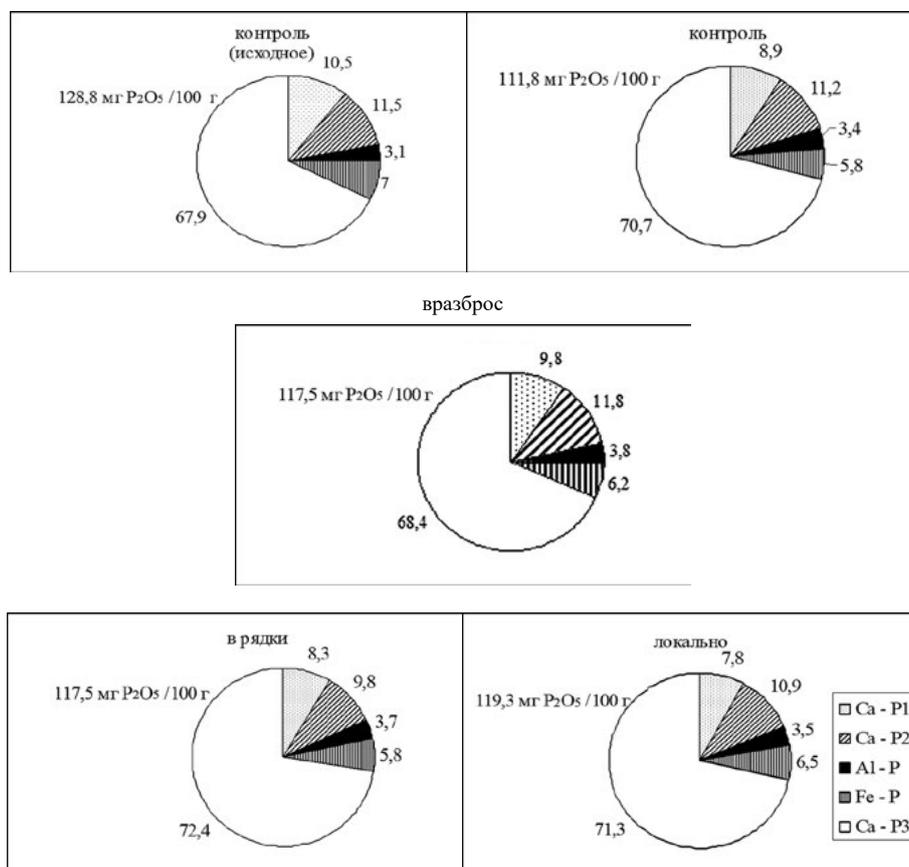


Рис. 2. Содержание и соотношение групп минеральных фосфатов в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при разных способах внесения удобрений, %; (мелкоделяночный опыт)

The content and ratio of groups of mineral phosphates in a layer of 0–20 cm of leached chernozem with different methods of fertilization, %; small-scale farming experience

В чернозёме полевого опыта после трёх лет возделывания зерновых культур без внесения удобрений (контроль) содержание минеральных фосфатов в пахотном слое уменьшалось на 12 % и на столько же увеличивалось количество фосфатов $Ca - P_3$, свидетельствуя о закреплении фосфора почвой. При этом количество фосфатов активных фракций (сумма фосфатов первых трёх фракций) уменьшалось почти в 2 раза как за счёт большего потребления растениями, так и за счёт перехода фосфатов в менее доступные для растений формы. Бессменное возделывание зерновых культур в течение трёх лет без удобрений (контроль) усиливало минерализацию фосфора почвы в её пахотном слое, увеличивая долю фосфатов активных фракций с 15 до 22 % в основном, за счёт фосфатов $Ca - P_2$ и $Al - P$,

на которые приходилось в 1,8 и 2 раза больше по сравнению с исходным уровнем (см. рис. 3). Активные фосфаты составляли 22, а фосфаты $Ca - P_3 - 71$ % от суммы. Общее содержание минеральных фосфатов при этом уменьшалась незначительно. Наибольшее количество минеральных фосфатов в слое 0–20 см отмечено при разбросном внесении $N_{43}P_{43}K_{43}$ -удобрений, прибавка их к контролю составила 14 %, а доля активных фосфатов и фосфатов $Ca - P_3$ при этом практически не изменялась.

Таким образом, $N_{43}P_{43}K_{43}$ -удобрения, внесённые вразброс и в рядки с семенами при посеве, поддерживали содержание минеральных фосфатов и их активных фракций и фосфатный фонд в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного полевого опыта.

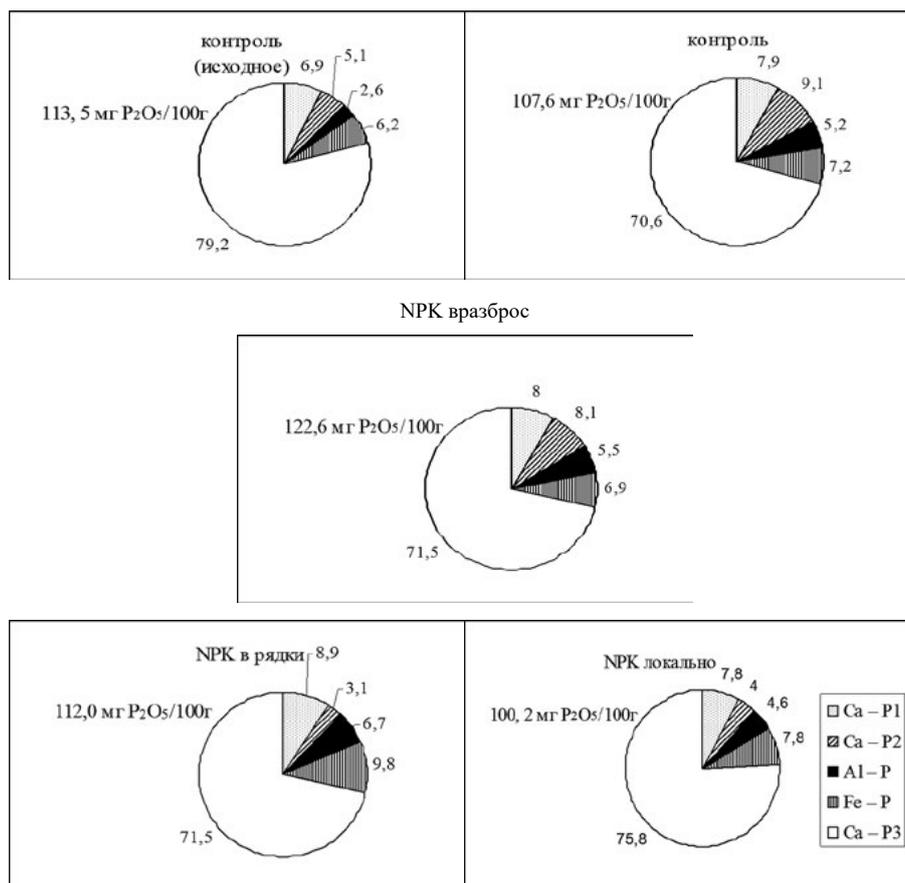


Рис. 3. Содержание и соотношение групп минеральных фосфатов в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного при разных способах внесения удобрений, %; (полевой опыт)

The content and ratio of groups of mineral phosphates in a layer of 0–20 cm of leached chernozem with different methods of fertilization, %; field experience

Потребности растений в фосфоре, в отличие от азота, могут удовлетворяться только за счёт самой почвы либо за счёт фосфора удобрений. Поэтому процессы трансформации фосфора в почве с помощью микроорганизмов имеют большое значение. Биомасса почвенных микроорганизмов является основным агентом минерализации органического фосфора в почве, а её метаболиты усиливают подвижность труднорастворимых фосфорсодержащих минералов (апатитов, фосфоритов и др.). Однако при этом часто потребление фосфора самими почвенными гетеротрофами может быть в несколько раз выше, чем потребление фосфора растениями [14, 17, 18]. Нами получены результаты, что фосфор удобрений поглощался не только растениями, но и микроорганизмами. Это сказалось на накоплении микробного фосфора как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы (рис. 4). Так, в слое 0–20 см чернозёма мелкоделяночного опыта больше всего микробного фосфора содержалось при локальном внесении

удобрений (4,8 мг/кг), что в 2,3 раза больше, чем при разбросном внесении. При рядковом внесении удобрений, из-за более активного потребления фосфора овсом, количество микробного фосфора в слое 0–20 см наименьшее – 2,1 мг/кг. В более увлажнённом и менее аэрируемом слое 20–40 см оно возрастало только при разбросном внесении удобрений. Больше всего его в слоях 0–20 и 0–40 см содержалось в контроле – 6,2 и 6,5 мг/кг. Количество фосфора, накопленное микроорганизмами в слое 0–20 см и в целом в слое 0–40 см в зависимости от способа внесения удобрений возрастало в ряду: рядковый – разбросной – локальный (см. рис. 4).

Следовательно, больше всего фосфора в слое 0–20 см чернозёма мелкоделяночного опыта микроорганизмы накапливали при локальном внесении удобрений – 22 кг/га, который может использоваться растениями в последствии. В слое 0–40 см его запасы возрастали в ряду: рядковый – разбросной – локальный.

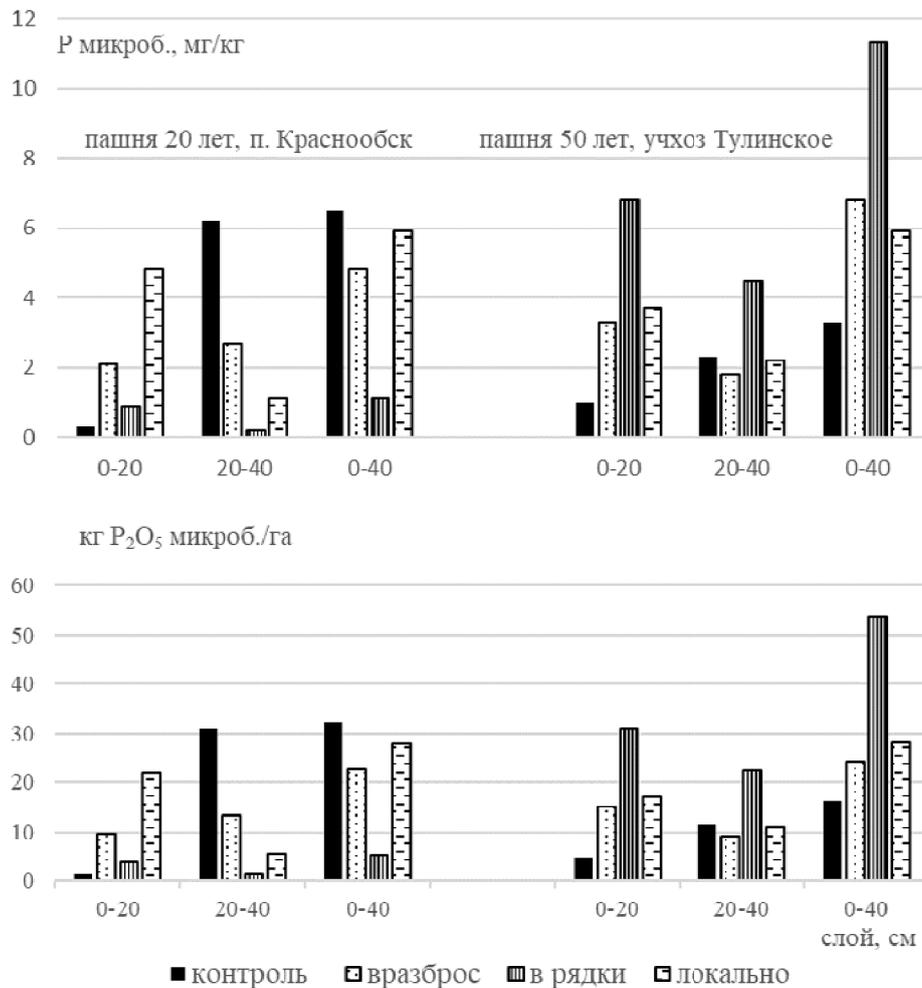


Рис. 4. Содержание (мг P/кг) и запасы (кг P₂O₅/га) микробного фосфора в чернозёме выщелоченном при разных способах внесения удобрений

The content (mg P/kg) and reserves (kg P₂O₅/ha) of microbial phosphorus in leached chernozem with different methods of fertilization

В чернозёме полевого опыта наибольшее содержание микробного фосфора обнаружено при рядковом внесении удобрений – 6,8 мг/кг, которое в 2 раза больше, чем при разбросном и локальном (см. рис. 4). В подпахотном, более увлажнённом слое, больше всего микробного фосфора накапливалось также при рядковом внесении удобрений, оно в 2–2,5 раза больше, чем при других способах. В целом в слое 0–40 см почвы полевого опыта содержание микробного фосфора в зависимости от способа внесения удобрений возрастало в ряду: разбросной – локальный – рядковый. Наибольшие запасы микробного фосфора в пахотном слое формировались при рядковом внесении – 31 кг/га. Возможно, этот фосфор способствовал получению наибольшей урожайности овса в первый год последствия удобрений –

41,4 ц/га, которая была на 5 и 9 ц/га больше, чем при разбросном и локальном способах внесения.

Следовательно, наибольшие запасы микробного фосфора в пахотном слое чернозёма выщелоченного после трёх лет применения минеральных удобрений содержались при локальном их внесении в мелкоделяночном опыте и при рядковом внесении в полевом опыте. Это, в первую очередь обусловлено особенностями биологии культур в отношении поглощения фосфора, а во вторую – величиной урожайности и выносом ими фосфора. Овёс более активно поглощал фосфор при разбросном и рядковом внесении удобрений, формируя наибольшую урожайность и наименьшую – при локальном, где, в условиях лучшей влагообеспеченности, накапливались наибольшие запасы микробного

фосфора. В полевом опыте наибольшие запасы микробного фосфора и урожайность пшеницы получены при рядковом внесении удобрений.

Авторами установлено [19], что влажность почвы ниже «критической» резко снижает урожайность зерновых культур. Для чернозёмов выщелоченных северной лесостепи среднесуглинистых по гранулометрическому составу критические запасы продуктивной влаги в метровом слое составляют 112 мм. Видимо, поэтому, в 1-й год внесения удобрений, в условиях засушливого и жаркого мая, влажного и тёплого июня и июля, засушливого и тёплого августа и сентября, наибольший эффект от удобрений в обоих опытах получен только при рядковом способе – прибавка к контролю (без удобрений) и к разбросному внесению составила 67; 38 % и 12; 7,5 % со-

ответственно (табл. 2). Во 2-й год, в условиях засушливого и тёплого мая и июля, влажного и жаркого июня, влажного и прохладного августа, засушливого и жаркого сентября, наибольшая урожайность пшеницы на чернозёме п. Краснообск также получена при рядковом способе внесения удобрений – 19,8 ц/га, где прибавка зерна к контролю (без удобрений) составила 41, а к способу внесения (разбросному) – 16 %. Разбросной и локальный способы влияли на урожайность одинаково (табл. 2). В полевом опыте наибольшая урожайность пшеницы получена при разбросном внесении удобрений – 28,1 ц/га; при рядковом и локальном она одинаковая – 26,3 и 26,8 ц/га (20; 12 и 14 % к контролю соответственно).

Таблица 2

Влияние способов внесения удобрений на урожайность зерновых культур на чернозёмах выщелоченных, ц/га

The effect of fertilizer application methods on the yield of grain crops on leached chernozems, c/ha

Вариант (А) Год (В)	Контроль (без удобрений)	N ₆₀ P ₄₀ в разброс			N60P20 вразброс +P ₂₀ в рядки			N ₆₀ P ₄₀ локально		
		Урожай- ность	Прибавка к контролю		Урожай- ность	Прибавка к контролю		Урожай- ность	Прибавка к контролю	
			ц/га	%		ц/га	%		ц/га	%
<i>Пашня 20 лет, п. Краснообск (мелкоделяночный опыт)</i>										
1-й год, пшеница	9,3	11,2	+1,9	20,4	15,5	+6,2	66,7	11,0	+1,7	18,3
2-й год, пшеница	14,0	17,0	+3,0	21,4	19,8	+5,8	41,4	16,2	+2,2	15,7
3-й год, овёс	52,0	58,4	+6,4	12,3	51,9	-0,1	–	48,0	-4,0	–
НСР ₀₅ А 5,6; НСР ₀₅ В 4,9										
<i>Пашня 50 лет, учхоз Тулинское (полевой опыт)</i>										
Вариант (А) Год (В)	Контроль (без удобрений)	N ₄₃ P ₄₃ K ₄₃								
		вразброс			в рядки			локально		
1-й год, пшеница	19,2	20,0	+0,8	4,2	21,5	+2,3	12,0	20,2	+1,0	5,2
2-й год, пшеница	23,5	28,1	+4,6	19,6	26,3	+2,8	11,9	26,8	+3,3	14,0
3-й год, пшеница	13,4	21,2	+7,8	58,2	22,8	+9,4	70,1	13,9	+0,5	3,7
Средняя за 3 года	18,7	23,1	+4,4	23,5	23,5	+4,8	25,7	20,3	+1,6	8,6
НСР ₀₅ А 4,9; НСР ₀₅ В 4,3										
1-й год, последей- ствие, овёс	34,6	36,4	+2,2	6,4	41,4	+6,8	19,7	32,4	-2,2	–
НСР ₀₅ А 5,2; НСР ₀₅ В 4,5										

В 3-й год исследований, в связи с хорошей обеспеченностью осадками и теплом в мае–июле, сухой и тёплой погодой в августе и сентябре, наибольшая урожайность овса на чернозёме п. Краснообск получена при разбросном внесении удобрений осенью и дополнительно P_{20} в рядки весной, где прибавка зерна к контролю составила 6,4 ц/га (12 %). Видимо, здесь весь азот из слоя 0–20 см потреблялся только растениями, так как микробного азота не было обнаружено. При рядковом и локальном внесении наблюдалось наибольшее поглощение азота микроорганизмами, его запасы составили 30 и 75 кг/га соответственно, поэтому действие удобрений было неэффективно, но урожайность овса при этом за счёт накопления в метровой толще почвы до 60 кг/га нитратного азота была высокой.

Наибольшая прибавка урожая пшеницы на чернозёме учхоза Тулинское в 3-й год получена при рядковом и разбросном внесении удобрений – 9,4 и 7,8 ц/га (70 и 58 % к контролю). В последствии, в условиях хорошей тепло- и влагообеспеченности в течение вегетационного периода, здесь была получена высокая урожайность овса – 32–41 ц/га. Наибольшее влияние на урожайность при этом оказали удобрения, внесённые рядковым способом, где прибавка зерна к контролю (без удобрений) составила 20 %, а к способу (разбросному) – 14 %.

Следовательно, как в действии, так и в последствии, наибольшее влияние на величину урожайности зерновых культур оказывали удобрения, внесённые в рядки при посеве с семенами.

Баланс легкодоступного фосфора в полевом опыте, рассчитанный разностным методом, был положительным и примерно одинаковым для всех способов внесения – +7+10 кг/га при дефиците в контроле –26 кг/га. Для подвижного фосфора (по Чирикову) он составил +26+34 кг/га, а в контроле +3,0 кг/га.

ВЫВОДЫ

1. Только при рядковом внесении удобрения поддерживали высокое содержание легкодо-

ступного фосфора (по Карпинскому, Замятиной) в чернозёме выщелоченном мелкоделяночного опыта и уменьшали его до низкого в связи с большим выносом урожаем зерновых культур, в полевом опыте.

2. Удобрения не только компенсировали вынос подвижного фосфора (по Чирикову) зерновыми культурами, но и создавали высокую и повышенную обеспеченность им растений, улучшая фосфатный фонд чернозёмов.

3. Содержание минеральных фосфатов в почве возрастало при всех способах внесения удобрений. На фосфаты активных фракций приходилось 22–25 %, фосфаты $Ca - P_3$ составляли 68–72 %, доля фосфатов $A_1 - P$ и $Fe - P$ была незначительной.

4. Больше всего микробного фосфора в слое 0–20 см чернозёма выщелоченного мелкоделяночного опыта накапливалось при локальном внесении удобрений – 22 кг/га, он может использоваться растениями в последствии. В пахотном слое почвы полевого опыта наибольшие запасы микробного фосфора формировались при рядковом внесении – 31 кг/га они способствовали получению наибольшей урожайности овса в последствии удобрений.

5. Только при внесении в рядки при посеве с семенами удобрения достоверно повышали урожайность яровой пшеницы, прибавка от них в мелкоделяночном и полевом опытах составила в среднем 42 и 26 % соответственно. Наибольшая урожайность овса в условиях достаточной влагообеспеченности почвы получена при разбросном внесении удобрений в действии и при рядковом – в последствии, прибавка урожайности составила 12 и 20 % соответственно.

6. Баланс легкодоступного фосфора в полевом опыте, рассчитанный разностным методом, был положительным и примерно одинаковым для всех способов внесения – +7+10 кг/га при дефиците в контроле –26 кг/га. Для подвижного фосфора (по Чирикову) он составил +26+34 кг/га, а в контроле +3,0 кг/га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гамзиков Г.П. К проблеме агрохимии в сибирском земледелии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2003. – № 2. – С. 68–71.

2. Чумаченко И.Н., Сушеница Б.А. Фосфор и воспроизводство плодородия почв // *Агрохимический вестник* – 2001. – № 1. – С. 28–31.
3. Державин Л.М. Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве // *Агрохимия*. – 2007. – № 12. – С. 3–17.
4. Муравин Э.А. *Агрохимия. Учебник для студентов средне-специальных учебных заведений* – М.: КолосС, 2004. – 384 с.
5. Адерихин П.Г. Фосфор в почвах и земледелии Центрально-Чернозёмной полосы. – Воронеж; Изд-во ВГУ, 1970. – 248 с.
6. Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Омск, 1991. – 32 с.
7. Макарикова Р.П., Барсуков П.А. Изменение фракционного состава фосфора почв Сибири при систематическом применении удобрений // *Сибирский экологический журнал*. – 1998. – № 6. – С. 525–529.
8. Гришин Г.Е. Содержание и формы фосфора в чернозёмной почве // *Агрохимический вестник* – 2000. – № 6. – С. 38–40.
9. Динамика фракционного состава минеральных фосфатов чернозёма типичного при длительном применении удобрений / Б.С. Носко, В.И. Бабынин, Т.А. Юнакова, Л.Н. Бурлакова // *Агрохимия*. – 2003. – № 3. – С. 27–34.
10. Галеева Л.П. Влияние удобрений на плодородие почв северной лесостепи Западной Сибири: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. – Тюмень, 2013. – 32 с.
11. Галеева Л.П. Способы внесения удобрений как приём оптимизации фосфатного режима чернозёмов Новосибирского Приобья // *Теория и практика современной аграрной науки: Сб. Национальной (всероссийской) научной конференции / Новосибир. гос. аграрный ун-т. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2018. – С. 23–27.*
12. Галеева Л.П. Вынос и баланс элементов питания зерновыми культурами при разных способах внесения удобрений на чернозёмах выщелоченных // *Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах: материалы Междунар. науч. конф. II Никитинские чтения, посвящ. первому проф. почвоведения на Урале, зав. каф. почвоведения (1924-1932) В.В. Никитину, а также 100-летию первой кафедры почвоведения на Урале, 140-летию науки почвоведения, 14–17 ноября 2023 г. – Пермь: ОТ и ДО, 2023. – С. 160–164.*
13. Пискунов А.С. *Методы агрохимических исследований*. – М.: КолосС, 2004. – 312 с.
14. Brookes P.C., Powlson D.S., Jenkinson D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil // *Soil Biol. Biochem.* – 1982. – Vol. 14. – P. 319–329.
15. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. An extraction method to measure soil microbial biomass // *Soil Biol. Biochem.* – 1987. – Vol. 19. – P. 703–707.
16. Сорокин О.Д. *Прикладная статистика на компьютере*. – Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.
17. Cole C.V., Heil R.D. Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling // *Ecological Bulletin*. – 1981. – Vol. 33. – P. 363–374.
18. Cline G.R., W.C. Lindeman W.C., Quintero R. Dynamics of extractable phosphorus during nonsterile and sterile incubation of sludge-amended soil // *Soil Science* – 1985. – Vol. 140. – P. 98–104.
19. Способы внесения минеральных удобрений под яровую пшеницу в Сибири: рекомендации / РАСХН. Сиб. отд. – Сиб.НИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва. – Новосибирск. – 1991. – 40 с.

REFERENCES

1. Gamzikov G.P., *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2003, No. 2, pp. 68–71. (In Russ.)
2. Chumachenko I.N., Sushenitsa B.A., *Agrokhimicheskij vestnik*, 2001, No. 1, pp. 28–31. (In Russ.)
3. Derzhavin L.M., *Agrokhimiya*, 2007, No. 12, pp. 3–17. (In Russ.)
4. Muravin E.A., *Agrokhimiya* (Agrochemistry), Moscow: KolosS, 2004, 384 p.
5. Aderichin P.G., *Fosfor v pochvakh i zemledelii tsentral'no-chernozemnoy polosy* (Phosphorus in soils and agriculture of the Central chernozem zone), Voronezh: VSU Publishing House, 1970, 248 p.
6. Antipina L.P., *Fosfor v pochvakh Sibiri* (Phosphorus in the soils of Siberia), abstract. dissertation of the Doctor of agricultural Sciences, Omsk, 1991, 32 p.
7. Makarikova R.P., Barsukov P.A., *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 1998, No. 6, pp. 525–529. (In Russ.)

8. Grishin G.E., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2000, No. 6, pp. 38–40. (In Russ.)
9. Nosko B.S., Babynin V.I., Yunakova T.A., Burlakova L.N., *Agrokhiimiya*, 2003, No. 3, pp. 27–34. (In Russ.)
10. Galeeva L.P., *Vliyaniye udobreniy na plodorodie pochv severnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri* (The effect of fertilizers on soil fertility in the northern forest-steppe of Western Siberia), abstract. dissertation of the Doctor of agricultural Sciences, Tyumen, 2013, 32 p.
11. Galeeva L.P., *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk: IC “Zolotoy Kolos”, 2018, pp. 23–27. (In Russ.)
12. Galeeva L.P., *Aktual'nye problemy pochvovedeniya, agrokhimii i ekologii v prirodnykh i antropogennykh landshaftakh* (Actual problems of soil science, agrochemistry and ecology in natural and anthropogenic), Proceedings of the Conference Title, Perm: FROM and TO, 2023, pp. 160–163. (In Russ.)
13. Piskunov A.S., *Metody agrokhimicheskikh issledovaniy* (Methods of agrochemical research), Moscow: KolosS, 2004, 312 p.
14. Brookes P.C., Powlson D.S., Jenkinson D.S., Measurement of microbial biomass phosphorus in soil, *Soil Biol. Biochem*, 1982, Vol. 14, pp. 319–329.
15. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., An extraction method to measure soil microbial biomass, *Soil Biol. Biochem*, 1987, Vol. 19, pp. 703–707.
16. Sorokin O.D., *Applied statistics on a computer*, Novosibirsk: GUP RPO SO RASKHN, 2009, 222 p.
17. Cole C.V., Heil R.D., Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling, *Ecological Bulletin*, 1981, Vol. 33, pp. 363–374.
18. Cline G.R., W.C. Lindeman W.C., Quintero R., Dynamics of extractable phosphorus during nonsterile and sterile incubation of sludge-amended soil, *Soil Science*, 1985, Vol. 140, pp. 98–104.
19. *Sposoby vneseniya mineral'nykh udobreniy pod yarovuyu pshenitsu v Sibiri* (Methods of applying mineral fertilizers for spring wheat in Siberia), RAS., Sib. Department, SibNIIZHim, Novosibirsk, 1991, 40 p.