

DOI 10.31029/vestdnc100/5

УДК 631.4

**ДИНАМИКА ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ
ПРИ ВНЕСЕНИИ ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
В СИСТЕМЕ *NO-TILL***

О. А. Бирюкова, ORCID: 0000-0001-9748-3296

В. А. Илюшечкин, ORCID: 0000-0003-2256-2189

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

**DYNAMICS OF MOBILE PHOSPHORUS
IN HAPLIC CHERNOZEM UNDER LIQUID MINERAL FERTILIZER
APPLICATION IN A *NO-TILL* SYSTEM**

O. A. Biryukova, ORCID: 0000-0001-9748-3296

V. A. Ilyushechkin, ORCID: 0000-0003-2256-2189

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Аннотация. Настоящая работа посвящена анализу изменений содержания подвижных форм фосфора в черноземе обыкновенном под влиянием жидких минеральных удобрений. Исследование выполнялось на территории приазовской сельскохозяйственной зоны (Ростовская область) в течение двух полевых сезонов (2022–2023 гг.). Экспериментальная часть была реализована в производственном режиме на полях с ресурсосберегающей технологией прямого посева (*no-till*). Результаты доказывают целесообразность применения жидких минеральных удобрений (ЖКУ 11:37 и КАС-32) в качестве средства, обеспечивающего улучшение фосфатного состояния чернозёмных почв. Максимальное содержание подвижного фосфора достигнуто в вариантах ЖКУ100 и ЖКУ+КАС100. Доза ЖКУ и КАС 50 л/га в благоприятном по погодным условиям 2023 г. обеспечила аналогичный уровень подвижного фосфора, что и доза 100 л/га в засушливом 2022 г., что подчеркивает роль влагообеспеченности в эффективности удобрений. Выявлена дифференциация подвижного фосфора по профилю почвы с наибольшим накоплением в верхнем слое 0-10 см. Благодаря пролонгированному действию ЖКУ и КАС оптимальные параметры фосфатного режима почвы в удобренных вариантах поддерживались в течение всей вегетации гороха. Таким образом, применение жидких удобрений (как ЖКУ в чистом виде, так и в комбинации с КАС) в условиях технологии *no-till* на черноземах обыкновенных карбонатных представляет собой эффективный агроприем для целенаправленного улучшения их фосфатного состояния.

Abstract. This work is devoted to the analysis of changes in the content of mobile forms of phosphorus in haplic chernozem under the influence of liquid mineral fertilizers. The study was conducted within the framework of resource-saving direct seeding (*no-till*) technology over two field seasons (2022–2023). The experimental part was implemented in a production setting on the territory of the Azov agricultural zone (Rostov region). The results confirm the feasibility of using liquid mineral fertilizers (UAN-32 and LCF 11:37) as a means of providing a dual effect: direct fertilization of peas and simultaneous improvement of the phosphate status of chernozem soils. The highest content of available phosphorus was observed in the variants with 100 L/ha of liquid complex fertilizer (LCF100) and combined application of LCF and UAN (LCF+UAN100). The dose of 50 L/ha of LCF and UAN under favorable weather conditions in 2023 provided a similar level of available phosphorus as the dose of 100 L/ha under the drought conditions of 2022, highlighting the role of moisture availability in fertilizer efficiency. A differentiation of available phosphorus along the soil profile was revealed, with the greatest accumulation in the upper 0-10 cm layer. Due to the prolonged action of LCF and UAN, optimal parameters of the soil phosphate regime in the fertilized treatments were maintained throughout the entire pea vegetation period. Thus, the application of liquid fertilizers (both LCF alone and in combination with UAN) under *no-till* technology conditions on carbonate haplic chernozems represents an effective agricultural practice for the targeted improvement of their phosphate status.

Ключевые слова: чернозем обыкновенный, подвижный фосфор, *no-till*, жидкие минеральные удобрения, горох.

Keywords: haplic chernozem, available phosphorus, *no-till*, liquid mineral fertilizers, pea.

Введение

Эффективность сельскохозяйственного производства неразрывно связана с сохранением и воспроизводством плодородия пахотных земель. Высокая и стабильная продуктивность земледелия напрямую зависит от сбалансированности агроэкологических факторов плодородия почв [1; 2]. Однако на юге России доминирование традиционных агротехнологий зачастую препятствует устойчивому функционированию агроценозов. Это связано с тем, что такие технологии провоцируют усиление целого

спектра деградационных процессов: эрозии и дефляции, потери гумуса (дегумификации), агроистощения, засоления, осолонцевания и переуплотнения почвенного профиля, что в совокупности ведет к снижению их природного потенциала. В Ростовской области высокая степень распаханности территории (более 60%) обусловила широкое развитие эрозийных процессов. Общая площадь эродированных земель составляет 6,3 млн га, из них 3,4 млн га (40%) являются эрозионно-опасными, а 2,9 млн га (35%) в различной степени разрушены водной эрозией. Кроме того, 6,5 млн га (78%) считаются дефляционно-опасными, из них 1,2 млн га подвержены ветровой эрозии [3]. Поэтому одной из основных задач стабилизации земледелия является внедрение почвозащитных и ресурсосберегающих технологий (ПРЗ), в том числе и технологии *no-till*. Основные преимущества этой технологии включают снижение эрозии, сохранение и накопление влаги, увеличение содержания азота и органических веществ, а также улучшение физического и биологического состояния почвы [4; 5]. Хотя в мировом масштабе площадь возделывания культур по технологии *no-till* превышает 200 млн га, в России она используется менее чем на 1% пахотных земель. Перенос готовой технологии, которая успешно развивается в определенных условиях, в другие регионы может привести к неудаче [6]. Важно тщательно изучить и адаптировать эту технологию к различным почвенно-климатическим условиям.

Несмотря на ключевую роль фосфора в энергетическом обмене, фотосинтетических реакциях и биосинтезе нуклеиновых кислот и белков у растений, его доступность для растений в почве часто лимитирована. Значительная часть почвенных фосфатов находится в формах, не усваиваемых корневой системой [7]. Особенно остро эта проблема проявляется в черноземах Нижнего Дона, где высокая дисперсность карбонатных частиц приводит к активной фиксации подвижного фосфора с образованием труднорастворимых соединений, например, трехзамещенных фосфатов кальция [8]. В связи с этим эффективная регуляция фосфатного режима в агроценозах требует научно обоснованного подхода к применению удобрений, учитывающего как специфику почвенного покрова, так и параметры агротехнологии.

Цель исследования – оценка динамики подвижного фосфора в черноземе обыкновенном при внесении жидких минеральных удобрений в системе *no-till*.

Объект и методы исследования

Исследования проведены в условиях производственных опытов на базе ИП Мокриков В.И. Октябрьского района Ростовской области. В хозяйстве на протяжении 17 лет успешно применяется технология прямого посева (*no-till*). Почвенный покров представлен черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистого гранулометрического состава, сформированном на лессовидных суглинках. В соответствии с классификацией почв России [9] данная почва идентифицируется как миграционно-сегрегационный агрочернозем.

Чернозем обыкновенный карбонатный характеризуется комплексом специфических признаков. К ним относятся значительная мощность перегнойных горизонтов при умеренном содержании гумуса (в пахотном слое в среднем 4,1%), интенсивная перерытость профиля деятельностью почвенной фауны, а также неплотное сложение. Для данных почв свойственна высокая карбонатность, проявляющаяся не только в виде типичных новообразований (жилок, белоглазки), но и в мицелярной форме («карбонатная плесень»). В гумусе доминируют прочносвязанные с кальцием гуминовые кислоты (отношение $S_g : S_f > 1,5$). Реакция среды меняется от близкой к нейтральной в верхней части гумусового горизонта (pH 7,0–7,5) до щелочной внизу профиля. Распределение илистой фракции и валового химического состава по профилю отличается относительной однородностью [10]. Валовое содержание основных элементов питания составляет: азота – 0,21%, фосфора – 0,14%, калия – 2,1% [8]. Благодаря высокому плодородию черноземы обыкновенные карбонатные пригодны для выращивания широкого спектра сельскохозяйственных культур, включая зернобобовые.

Район исследований (Октябрьский) относится к Приазовской природно-сельскохозяйственной зоне, занимающей юго-западную часть Ростовской области. Климатические условия зоны умеренно-континентальные: среднегодовая температура – 9,0°C (январь: –5,7°C, июль: +23,0°C), сумма эффективных температур превышает 3300°C. Годовая норма осадков равна 450–500 мм, из которых большая часть (270–300 мм) приходится на вегетационный сезон. Однако высокий дефицит влагообеспеченности подтверждается величиной испаряемости, которая оценивается в 840 мм [11].

Сезон полевых исследований (весна – лето) в 2022 и 2023 гг. проходил в различных погодных условиях. В 2022 г. апрель и июнь характеризовались превышением средних температур (+1,5°C и +0,4°C соответственно) на фоне выраженного дефицита осадков (от –16,75 до –48,05 мм с мая по июль) и пониженной влажности воздуха в июне (–8%). В 2023 г. ситуация была иной: после апреля, который был лишь немного теплее обычного (+0,3°C), установилась прохладная погода (от –2,2 до –2,8°C ниже нормы с мая по июль). Однако этот период сопровождался обильными осадками, превышавшими норму в апреле, мае и июле на 70,9, 76,4 и 45,1 мм соответственно (исключение – июнь с дефицитом 16,1 мм), а также стабильно высокой относительной влажностью воздуха (превышение нормы на 10–18%). Сравнение метеопараметров позволяет заключить, что условия вегетационного периода 2023 г. были в целом более благоприятными для возделывания сельскохозяйственных культур в рамках данного эксперимента (рис. 1).

Полевые опыты заложены по методике Б.А. Доспехова [12]. Опытная культура – горох посевной (*Pisum sativum L.*) сорта Стабил. Полевой опыт был заложен в трехкратной повторности, размер каждой учетной делянки составлял 1,0 га. Отбор почвенных проб проводили послойно (0–10 и 10–20 см) по следующим фазам развития гороха: ветвление, цветение и полная спелость. В исследованиях применялись следующие виды удобрений: жидкое комплексное (ЖКУ (11:37)), карбамидно-аммиачная смесь (КАС-32) и карбамид (N46).

Схема опыта включала различные варианты подкормок:

В 2022 г.: 1) контроль (без удобрений); 2) ЖКУ – 100 л/га; 3) КАС – 100 л/га; 4) ЖКУ + КАС – по 100 л/га каждого; 5) ЖКУ + карбамид – по 100 л/га.

В 2023 г.: 1) контроль (без удобрений); 2) ЖКУ – 50 л/га; 3) КАС – 50 л/га; 4) ЖКУ + КАС – по 50 л/га каждого; 5) ЖКУ – 100 л/га; 6) КАС – 100 л/га; 7) ЖКУ + КАС – по 100 л/га каждого.

В вариантах с применением удобрений цифровые обозначения (50 и 100) соответствуют объемной дозе внесения в литрах на гектар.

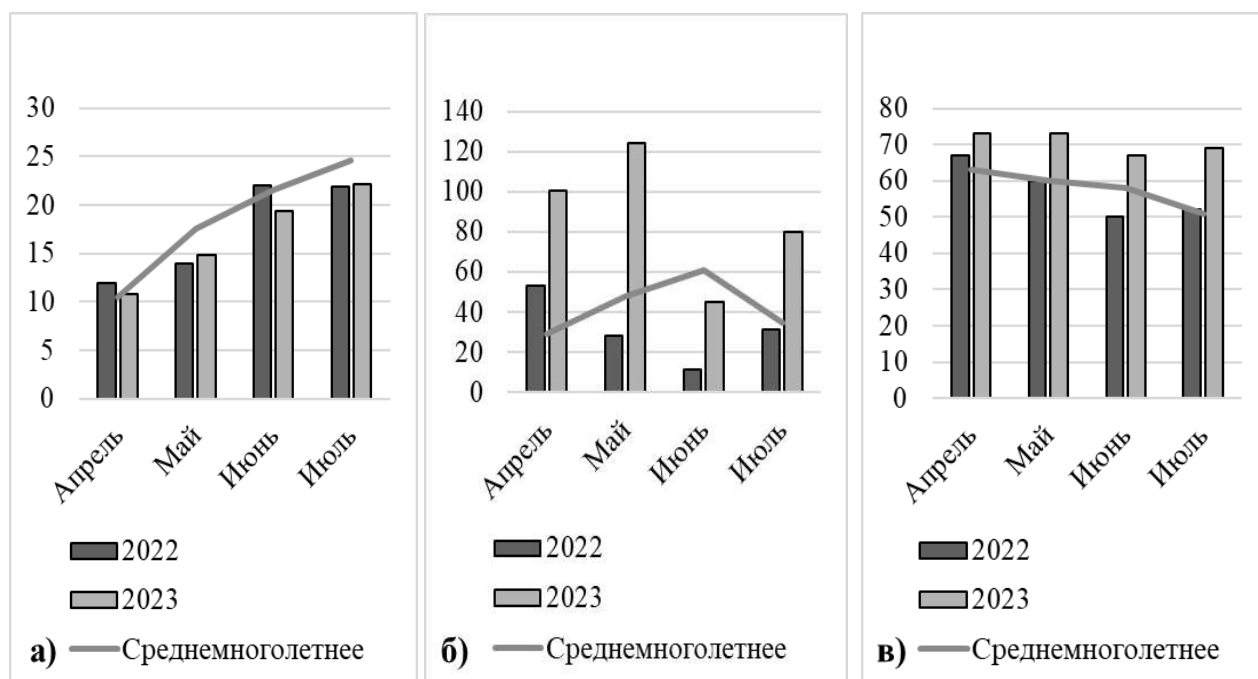


Рис. 1. Погодные условия в период вегетации гороха: а) среднемесячная температура воздуха, °С; б) сумма осадков, мм; в) относительная влажность воздуха, %

Лабораторные анализы выполняли по установленным методикам. Процедуры отбора и подготовки почвенных проб регламентировались национальным стандартом ГОСТ Р 58595–2019 [13]. Концентрацию подвижного фосфора определяли по методу Мачигина [14]. Обработку результатов и проверку статистической достоверности проводили в программе STATISTICA 13.3, принимая различия значимыми при вероятности $P < 0,05$.

Результаты исследований

Запасы фосфора в почвах исходно определяются его концентрацией в почвообразующей породе, характером почвообразовательного процесса, гранулометрическим составом, рН и содержанием органического вещества [15; 1]. Растения усваивают главным образом минеральные формы фосфора, доступность которых зависит от конкретного химического состояния. Динамика этого элемента в агроценозе в наибольшей степени обусловлена скоростью микробиологических процессов и объемом его поглощения сельскохозяйственными культурами [16]. Уровень содержания подвижного фосфора в почвах является одним из основных показателей их эффективного плодородия и критерием агроэкологической устойчивости агроценозов [17; 18].

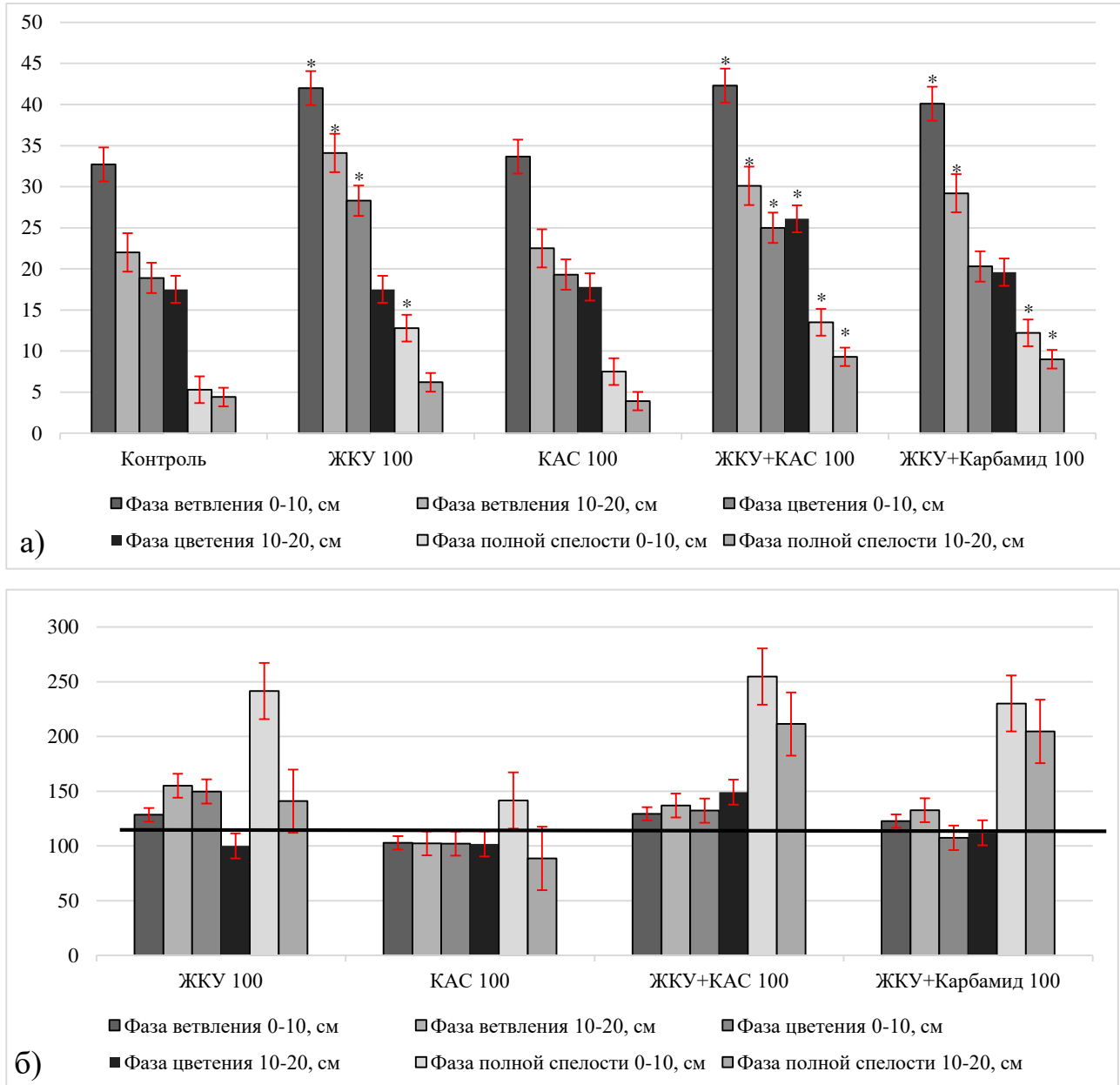


Рис. 2. Содержание подвижного фосфора в почве под горохом в зависимости от внесения жидких минеральных удобрений в 2022 г.: а) содержание подвижного фосфора, мг/кг (* – достоверно значимое отличие от контроля при $p < 0,05$); б) изменение содержания подвижного фосфора относительно контроля, % (–100% содержание элемента на контроле)

В вегетационный сезон 2022 г. применение жидких минеральных удобрений под посевы гороха на черноземе обыкновенном оказало положительное влияние на содержание доступного фосфора (рис. 2).

Наибольшее содержание подвижных соединений фосфора в почве в течение всего периода наблюдений было зафиксировано в вариантах с использованием ЖКУ, а также при сочетании ЖКУ и КАС. Так, уже в фазе ветвления прибавка к контролю по этим вариантам достигла 9,3 мг/кг (28%) и 9,6 мг/кг (29%) соответственно, что переводило почву в категорию повышенной обеспеченности элементом. Эффективность указанных вариантов подтверждена результатами дисперсионного анализа, выявившего статистически значимые различия между вариантами.

По мере развития растений наблюдалась четкая динамика снижения содержания подвижного фосфора в почве. К фазе цветения его количество уменьшилось до уровня средней обеспеченности, а к моменту полной спелости зерна концентрация доступного для растений фосфора достигла низких значений. Такое последовательное снижение почвенного запаса свидетельствует об интенсивном потреблении элемента культурой в критические периоды роста и формирования генеративных органов. Горох отличается высокой потребностью в элементах питания и значительным выносом их с урожаем. Для образования 1 центнера зерна и соответствующей массы соломы культуре требуется в среднем 1,7–2,0 кг фосфора [19]. Для гороха характерна интенсивная динамика поглощения: к фазе цветения растение способно усвоить до 76% общего количества фосфора, используемого за весь вегетационный период [20].

Согласно полученным данным пролонгированный характер действия ЖКУ и КАС позволяет увеличивать содержание подвижного фосфора до конца вегетации культуры. Такое действие обусловлено особенностями химического состава удобрений. В ЖКУ около 20% фосфора присутствует в виде ортофосфатов, которые сразу усваиваются корневой системой и напрямую участвуют в процессах питания и энергетического обмена растений. Остальная часть фосфора находится в форме полифосфатов, обладающих способностью к медленному гидролизу. В процессе гидролиза эти соединения постепенно переходят в ортофосфатную форму, что обеспечивает устойчивое и равномерное поступление элемента в доступной форме на протяжении всего периода роста культуры. Таким образом, использование ЖКУ и КАС создает более стабильный фосфорный режим почвы и способствует оптимизации питания растений [21].

Для почв с высоким содержанием карбонатов характерна способность удерживать фосфор в виде полифосфатов, период сохранения которых может исчисляться неделями. Это связано с процессом его адсорбции твердой фазой почвенного комплекса. Кроме того, вероятно образование хелатных комплексов между полифосфатами и ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} [22]. Подобные реакции снижают интенсивность фиксации ортофосфатов почвой и, как следствие, повышают их доступность для растений.

Особое значение имеет применение ЖКУ в сочетании с мочевиной. Такая комбинация оказывает выраженное положительное воздействие на фосфатный режим почвы, способствуя увеличению содержания подвижных форм фосфора в течение всего периода вегетации гороха. Постепенное поступление элемента из полифосфатных соединений обеспечивает растения фосфором на всех стадиях роста, поддерживая оптимальные условия для формирования урожая.

Указанные изменения по вариантам опыта отмечались и в слое 10–20 см, но с меньшей интенсивностью.

Выявленные закономерности проявляются и в условиях 2023 г. (рис. 3).

Динамика содержания подвижного фосфора в почве под посевами гороха имела выраженную отрицательную тенденцию. Максимальные значения были отмечены на ранних этапах вегетации, после чего по мере интенсивного потребления элемента растениями его концентрация прогрессивно снижалась, достигая наименьших величин к фазе полной спелости.

Результаты подтверждают, что ЖКУ, как в чистом виде, так и в сочетании с КАС, является эффективным регулятором фосфатного режима в посевах гороха. В то время как на неудобренном фоне содержание подвижного фосфора оставалось стабильным по сравнению с предыдущим годом, все варианты с удобрениями показали его существенное увеличение. Активные процессы трансформации фосфора в более влажном 2023 г. привели к тому, что сниженная вдвое доза удобрений (50 л/га) позволила достичь аналогичных значений доступного фосфора, которые регистрировались при дозе 100 л/га в засушливом сезоне 2022 г.

Аналогично результатам 2022 г., в опыте 2023 г. внесение ЖКУ 100 и смеси ЖКУ+КАС 100 обеспечивало наивысшее содержание подвижного фосфора на протяжении всего периода вегетации гороха. На стадии ветвления превышение над контрольным вариантом для этих обработок составило 27,28 мг/кг (86%) и 25,43 мг/кг (80%).

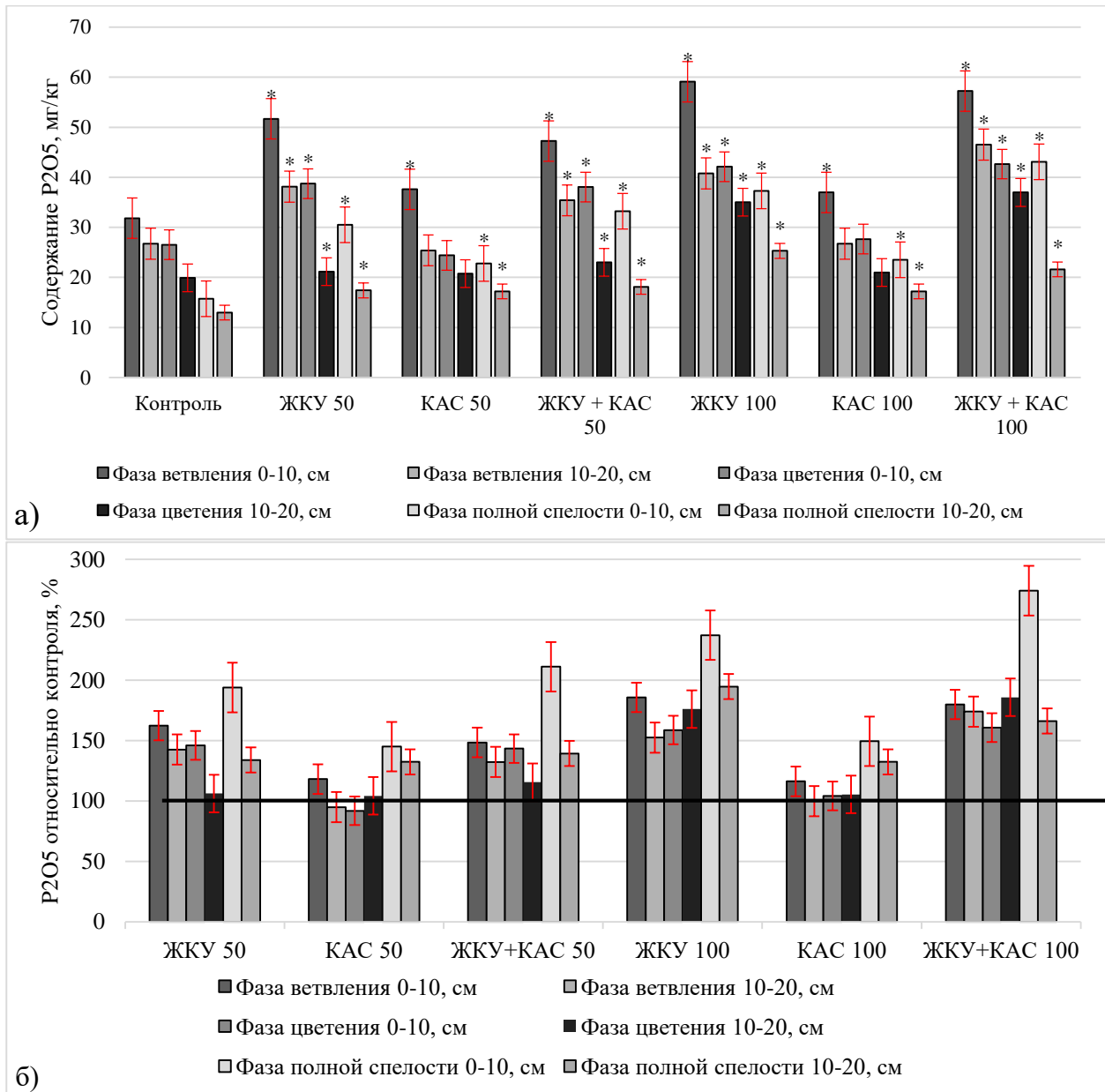


Рис. 3. Динамика подвижного фосфора в почве под горохом в зависимости от внесения жидких минеральных удобрений в 2023 г.: а) содержание подвижного фосфора, мг/кг (* – достоверно значимое отличие от контроля при $p < 0,05$); б) изменение содержания подвижного фосфора относительно контроля, % (–100 % содержание элемента на контроле)

В данных вариантах опыта обеспеченность почвы подвижным фосфором осталась высокой, при использовании только КАС – повышенной, тогда как на контроле отмечен средний уровень обеспеченности [23]. Ко второму сроку отбора проб (фаза цветения) было зафиксировано значимое снижение концентрации подвижного фосфора в почве, и эта тенденция сохранялась до конца вегетации. На данном этапе только варианты с применением ЖКУ (самостоятельно и в сочетании с КАС) поддерживали повышенный уровень доступности элемента для растений. Во всех прочих вариантах опыта обеспеченность почвы фосфором оценивалась как средняя. Примечательно, что к фазе полной спелости в пахотном слое (0–10 см) в вариантах с дозой 100 л/га (ЖКУ и ЖКУ+КАС) содержание подвижного фосфора стабилизировалось и не демонстрировало дальнейшего снижения.

Анализ данных показал, что в оба года исследований концентрация подвижного фосфора в верхнем (0–10 см) почвенном слое была выше, чем в нижележащем (10–20 см), что указывает на отчетливую

профильную дифференциацию элемента. Наибольшая межслойная разница отмечена в варианте с комбинированным внесением ЖКУ+КАС в дозе 100 л/га, где применялась максимальная доза удобрений (N57P52). Для системы *no-till* подобное распределение является закономерным, так как питательные элементы концентрируются в верхней части почвы вследствие поверхностного внесения удобрений и разложения растительных остатков микроорганизмами [24; 5].

Заключение

Проведенные исследования выявили достоверное положительное влияние жидких минеральных удобрений (ЖКУ, КАС) и их комбинаций на содержание подвижного фосфора в черноземе обыкновенном при использовании технологии *no-till*. Максимальное содержание подвижного фосфора отмечено в вариантах ЖКУ и ЖКУ + КАС в дозе 100 л/га. ЖКУ и КАС демонстрируют пролонгированный эффект, поддерживая повышенное содержание подвижного фосфора в почве вплоть до конца вегетации гороха. Благоприятные условия 2023 г. способствовали усилению процессов трансформации фосфора в почве, о чем свидетельствует увеличение подвижности этого элемента по сравнению с 2022 г. Полученные результаты показывают целесообразность применения жидких минеральных удобрений (ЖКУ и КАС) в целях повышения плодородия черноземов обыкновенных при применении технологии *no-till*.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 328 с.
2. Кудеяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109–121.
3. Природа России: национальный портал [Электронный ресурс]. URL: http://www.priroda.ru/regions/earth/detail.php?SECTION_ID=&FO_ID=556&ID=6298 (дата обращения: 15.10.2025).
4. Дей С. Опыт Канады // Ресурсосберегающее земледелие. 2012. № 2 (14). С. 7–12.
5. Дридигер В.К., Иванов А.Л., Кулинцев В.В. [и др.]. Чернозем обыкновенный. Прямой посев, Ставропольский край. Опыт, две ротации. Ставрополь: Сервисшкола, 2024. 355 с.
6. Дридигер В.К., Иванов А.Л., Белобров В.П., Кутюжная О.В. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1111–1120.
7. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. [и др.] Агрехимия / под ред. В.Г. Минеева. М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
8. Бирюкова О.А., Ельников И.И., Крыщенко В.С. Оперативная диагностика питания растений. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. 168 с.
9. Классификация и диагностика почв России / авт. и сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области: генезис, география и экология. Ростов н/Д ЮФУ, 2012. 316 с.
11. Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013–2020 гг.). Ч. 1 [Электронный ресурс] / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области. Ростов н/Д, 2012. URL: http://don-agro.ru/FILES/2020/ZONSYSEM/Sistema_zemled_do_2020_1.docx (дата обращения: 15.10.2025).
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 416 с.
13. ГОСТ Р 58595–2019. Почвы. Отбор проб. Введ. 2020-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
14. Минеев В. Г., Сычев В.Г., Амеляничик О.А. [и др.] Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
15. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 242 с.
16. Шейджен А.Х. Агробиогеохимия чернозема. Майкоп: ООО «Полиграф-ЮГ», 2018. 308 с.
17. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России: эколого-агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения. М.: ВНИИА, 2019. 832 с.
18. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М. [и др.]. Агробиогеохимический цикл фосфора. М.: Россельхозакадемия, 2012. 512 с.

19. *Вошедский Н.Н., Ильинская И.Н., Коробова Н.А.* [и др.]. Агробиологические особенности возделывания новых сортов гороха в Ростовской области. Рассвет: Федеральный Ростовский аграрный научный центр; АзовПринт, 2022. 156 с.

20. *Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А.* Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов гороха в богарных условиях Ростовской области // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 8. С. 14–19.

21. *Носов В.В.* Эффективность использования жидких комплексных удобрений, содержащих полифосфаты аммония // Питание растений. 2016. № 1. С. 11–16.

22. *Torres-Dorante L.O., Claassen N., Steingrobe B., Olf H.W.* Hydrolysis rates of inorganic polyphosphates in aqueous solution as well as in soils and effects on P availability // J Plant Nutr Soil Sci. 2005. N 168(3). P. 352–358.

23. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

24. *Ильченко Я.И., Бирюкова О.А.* Влияние минеральных удобрений на плодородие чернозема обыкновенного при возделывании озимой пшеницы по технологии No-till. Ростов н/Д; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2023. 120 с.

Поступила в редакцию 03.10.2025 г.

Принята к печати 26.03.2026 г.

Бирюкова Ольга Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и медицины им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет; e-mail: olga_alexan@mail.ru

Olga A. Biryukova, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the Department of Soil Science and Land Resources Evaluation, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Medicine, Southern Federal University; e-mail: olga_alexan@mail.ru

Илюшечкин Виталий Александрович, аспирант кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и медицины им. Д. И. Ивановского, Южный федеральный университет; e-mail: vital2018@mail.ru

Vitaly A. Ilyushechkin, postgraduate student of the Department of Soil Science and Land Resources Evaluation, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Medicine, Southern Federal University; e-mail: vital2018@mail.ru