

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56>

Сезонная динамика питательных элементов в чернозёме выщелоченном при внесении фосфатных удобрений в посевах подсолнечника в условиях Ставропольской возвышенности

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Валерий Сергеевич Цховребов
E-mail: tshovrebov@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Цховребов В.С., Вовк А.М.
Сезонная динамика питательных элементов в чернозёме выщелоченном при внесении фосфатных удобрений в посевах подсолнечника в условиях Ставропольской возвышенности. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025;15(4):47-56.
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56> EDN OPTGUA

ПОСТУПИЛА: 22.07.2025

ДОРАБОТАНА: 04.12.2025

ПРИНЯТА: 08.12.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2025 Цховребов В.С.,
Вовк А.М.



В.С. Цховребов , А.М. Вовк

Ставропольский государственный аграрный университет,
Ставрополь, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В Северо-Кавказском регионе России черноземы выщелоченные стоят на втором месте после чернозёмов обыкновенных. Такие почвы характеризуются отсутствием карбонатов и более высоким коэффициентом использования фосфора из удобрений по сравнению с карбонатными аналогами. Однако эффективность различных форм фосфорных удобрений на этих почвах, особенно при возделывании подсолнечника, остается недостаточно изученной.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние фосфорсодержащих удобрений на содержание элементов питания в сезонной динамике в чернозёме выщелоченном в посевах подсолнечника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводились на опытной станции Ставропольского государственного аграрного университета, расположенного на Ставропольской возвышенности на юге России. Объектом изучения служил чернозём выщелоченный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Высеваемая культура – подсолнечник. Фосфорсодержащие удобрения вносились из расчета 52 кг/га в действующем веществе и в следующих физических дозах: аммофос – 100; диаммофос – 110; жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) – 140 иmonoаммонийфосфат – 85 кг/га. Удобрения вносили тремя способами: под основную обработку, при посеве и комбинированно – 50 % дозы под основную обработку и 50 % при посеве. Почвенные образцы отбирали из зоны ризосферы (0–20 см).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установили, что применение аммофоса, диаммофоса, ЖКУ и monoаммонийфосфата увеличивает содержание нитратного азота и подвижного фосфора в большей степени при внесении удобрений при посеве. В fazu всходов это позволяет классифицировать переход от средней к повышенной обеспеченности почвы по подвижному фосфору. В течение вегетации наблюдалось снижение или отсутствие различий между контролем и вариантами опыта в изучаемых показателях в фазы цветения и полного созревания подсолнечника. На содержание подвижных калия и серы применение удобрений не оказывало влияния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты позволяют рекомендовать внесение фосфорных удобрений, особенно monoаммонийфосфата, при посеве как агротехнический прием для повышения содержания фосфора при выращивании подсолнечника на чернозёме выщелоченном в Северо-Кавказском регионе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подсолнечник, чернозем, Ставропольская возвышенность, аммофос, диаммофос, жидкие комплексные удобрения, monoаммонийфосфат, подвижный фосфор, нитратный азот

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56>

Seasonal dynamics of nutrients in leached chernozem under phosphate fertilizer application in sunflower crops in the conditions of the Stavropol Upland

CORRESPONDENCE:

Valery S. Tskhovrebov
E-mail: tshovrebov@mail.ru

FOR CITATION:

Tskhovrebov V.S., Vovk A.M.
Seasonal dynamics of nutrients in leached chernozem under phosphate fertilizer application in sunflower crops in the conditions of the Stavropol Upland. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(4):47-56.
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56> EDN OPTGUA

RECEIVED: 22.07.2025

REVISED: 04.12.2025

ACCEPTED: 08.12.2025

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2025 Tskhovrebov V.S.,
Vovk A.M.



Valery S. Tskhovrebov ANDrey M. Vovk

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In the North Caucasus region of Russia, leached chernozem soil is the second most common type after typical Chernozem. This soil is characterized by the absence of carbonates and a higher utilization coefficient of phosphorus from fertilizers compared to their calcareous counterparts. However, the efficiency of various forms of phosphorus fertilizers on these soils, especially when cultivating sunflower, remains insufficiently studied.

AIM. To study the influence of phosphorus-containing fertilizers on the seasonal dynamics of nutrient elements in leached chernozem under sunflower crops.

MATERIALS AND METHODS. The research was conducted at the experimental station of the Stavropol State Agrarian University, located on the Stavropol Upland in southern Russia. Sunflower was cultivated on a medium-thick, low-humus, heavy-loamy leached chernozem on loess-like loam. Phosphorus-containing fertilizers were applied at a rate of 52 kg/ha in terms of active substance (P_2O_5), using the following physical rates: ammonium phosphate (amorphos) – 100 kg/ha; diammonium phosphate (diammophos) – 110 kg/ha; liquid complex fertilizers (LCF) – 140 kg/ha; and monoammonium phosphate (MAP) – 85 kg/ha. Fertilizers were applied using three methods: during primary tillage, at sowing, and in a combined manner (50% of the dose during primary tillage and 50% at sowing). Soil samples were collected from the rhizosphere zone (0–20 cm).

RESULTS. It was found that the application of ammophos, diammophos, LCF, and monoammonium phosphate increased the content of nitrate nitrogen and available phosphorus to a greater extent when fertilizers were applied at sowing. During the seedling stage, this resulted in a transition of the available phosphorus status of soil from medium to high. During the growing season, a decrease or absence of differences between the control and the experimental treatments in the studied parameters was observed by the stages of sunflower seedlings and full maturity. The application of fertilizers did not affect the content of exchangeable potassium and available sulfur.

CONCLUSION. This study demonstrates that applying phosphorus fertilizers at sowing, notably monoammonium phosphate, effectively increases soil available phosphorus for sunflower production in the North Caucasus region.

KEYWORDS: sunflower, chernozem, Stavropol Upland, ammonium phosphate, diammonium phosphate, liquid complex fertilizers, monoammonium phosphate, available phosphorus, nitrate nitrogen

ВВЕДЕНИЕ

Подсолнечник входит в тройку ключевых масличных культур в мировом масштабе, а объемы его производства продолжают устойчиво расти [1; 2]. Ожидается, что в ближайшие десятилетия глобальный спрос на его семена возрастет в разы, что создаст повышенную нагрузку на аграрный сектор во всем мире [3]. Значимость этой культуры особенно высока для России, которая является одним из мировых лидеров по ее возделыванию и экспорту [4–6]. В рамках страны особую роль в производстве подсолнечника играют регионы Северного Кавказа, чьи благоприятные почвенно-климатические условия вносят существенный вклад в общероссийские объемы сбора. В 2025 году в России подсолнечник занимает 11 043,3 тыс. га, из которых в Ставропольском крае – 257,8 тыс. га. Вдвое больше посевов в соседнем Краснодарском крае и в 3,5 раза больше, чем в Ростовской области.

Как масличная культура, подсолнечник предъявляет особые требования к уровню минерального питания [7–10]. Современные исследования подтверждают критическую роль фосфора в формировании урожайности и качества подсолнечника [11]. Дефицит фосфора на начальных этапах вегетации снижает продуктивность культуры на 25–40 %, негативно влияет на масличность семян [12; 13]. Одной из характерных особенностей фосфорных удобрений является их низкая растворимость [14; 15]. В практике сельскохозяйственного производства в последнее время появляются фосфорсодержащие удобрения, обладающие относительно хорошей растворимостью [16]. Некоторые ученые считают применение растворимых фосфорных удобрений более эффективным [17]. Данные удобрения могут использоваться как в качестве основного внесения, так и для подкормки сельскохозяйственных культур [18]. Их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур не до конца изучено. Тем более мало изучены способы и сроки их внесения [19; 20].

Исследуемым Северо-Кавказским регионом является Ставропольский край, основные почвы которого представлены чернозёмами обыкновенными [21]. Их карбонатный комплекс может блокировать растворимость фосфатов и снижать эффективность фосфорных удобрений [22]. Чернозёмы выщелоченные, также встречающиеся в исследуемом регионе, лишены карбонатного материала, и коэффициент использования фосфора удобрений у них более

высокий, чем у карбонатных аналогов [23]. В связи с этим возникает необходимость исследования применения различных по растворимости фосфорных удобрений на почвах с более низкой химической поглотительной способностью, чем их зональные карбонатные аналоги.

Целью исследования является изучение влияния фосфорсодержащих удобрений на содержание элементов питания в сезонной динамике в чернозёме выщелоченном Ставропольской возвышенности. Задачей исследования являлось определить влияние различных видов фосфорсодержащих удобрений и способов их внесения на содержание нитратного азота, подвижных фосфора, калия и серы в почве в фазы всходов, цветения и полной спелости подсолнечника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследования проводились на опытной станции Ставропольского государственного аграрного университета, расположенного в Северо-Кавказском регионе России на Ставропольской возвышенности (координаты 44.984938, 42.028157). Почва – чернозём выщелоченный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Высеваемая культура – подсолнечник. Исследования проводились в 2023 и в 2024 годах.

По условиям влагообеспеченности опытная станция находится на границе зон умеренного и неустойчивого увлажнения. Климат теплый, умеренно влажный, отличается континентальностью. Средняя многолетняя сумма осадков составляет 623 мм. На период активной вегетации растений приходится 70–75 % от всей суммы осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК) равен 1,1–1,3.

Методы

Фосфорсодержащие удобрения вносились из расчета 52 кг/га в действующем веществе и в следующих физических дозах: аммофос – 100; диаммофос – 110; ЖКУ – 140 и мономонийфосфат – 85 кг/га.

Удобрения вносили тремя способами: под основную обработку, при посеве и комбинированно –50 % дозы под основную обработку и 50 % при посеве. Почвенные образцы отбирали из зоны ризосферы (0–20 см). Определение содержания основных

элементов питания производили по следующим методикам: нитратный азот – ионометрическим методом; подвижный фосфор и калий – по Мачигину в модификации ЦИНАО; подвижная сера – по методу ЦИНАО ГОСТ 26490-85. Опыт заложен в трехкратной повторности, размещение делянок рендомизированное, размер делянки 4,2x10 метров. Статистическая обработка осуществлена по методу Доспехова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований мы выявили, что содержание нитратного азота в фазу всходов подсолнечника в 2023 году имело определенное различие по вариантам опыта (таблица 1). Наименьшим содержание этого элемента было на контроле и составило 14,8 мг/кг. На вариантах с применением аммофоса наблюдалось достоверное увеличение исследуемого показателя. Наибольшим количеству нитратного азота было на варианте с припосевным внесением удобрения. Разница с контролем составила 2,6 мг/кг.

Таблица 1

Содержание элементов питания в фазу всходов подсолнечника в 2023–2024 гг. в слое 0–20 см (мг/кг)

Table 1

Content of nutrients in the sunflower seedling phase in 2023–2024 in the 0–20 cm layer (mg/kg)

Вариант опыта	NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O		S	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
1. Контроль	14,8	16,3	20,9	21,6	222	217	2,6	2,7
2. Аммофос под основную обработку 100 кг/га	16,2	17,7	25,4	26,1	219	229	2,8	2,9
3. Аммофос при посеве 100 кг/га	17,4	18,3	27,5	28,9	229	227	2,5	2,7
4. Аммофос под основную обработку и при посеве 50/50 кг/га	16,9	18,0	25,7	27,0	228	231	3,0	3,0
5. Диаммофос под основную обработку 110 кг/га	15,8	17,1	26,0	27,4	227	234	3,1	3,1
6. Диаммофос при посеве 110 кг/га	17,0	18,5	27,8	28,6	231	229	2,9	3,0
7. Диаммофос под основную обработку и при посеве 55/55 кг/га	16,8	18,3	26,6	27,0	219	225	2,8	2,9
8. ЖКУ под основную обработку 140 кг/га	17,5	18,4	27,1	27,8	224	222	3,2	3,2
9. ЖКУ при посеве 140 кг/га	21,4	22,7	31,2	31,9	223	218	3,3	3,1
10. ЖКУ под основную обработку и при посеве 70/70 кг/га	18,6	19,7	28,3	28,8	228	219	2,7	3,0
11. Моноаммонийфосфат под основную обработку 85 кг/га	18,4	19,7	27,9	28,2	233	229	2,9	2,9
12. Моноаммонийфосфат при посеве 85 кг/га	22,1	23,8	31,7	32,1	218	222	3,3	3,2
13. Моноаммонийфосфат под основную обработку и при посеве 43/43 кг/га	19,0	20,5	29,0	29,3	224	229	3,2	3,1
HCP ₀₅	1,5	1,9	1,4	1,2	10,2	8,6	0,5	0,6

Аналогичная картина наблюдается и при внесении диаммофоса. При внесении ЖКУ отмечено увеличение содержания нитратного азота, и разница с контролем при внесении удобрения при посеве составила 6,6 мг/кг. Применениеmonoаммонийфосфата обозначило аналогичную тенденцию с ЖКУ. Как и на всех вариантах применения удобрений наиболее высоким содержание нитратов было при их припосевном внесении, и разница с контролем составила 7,3 мг/кг.

В 2024 году наблюдается схожая с 2023 годом ситуация. Более динамично выражено содержание подвижного фосфора по вариантам опыта. На контроле исследуемая величина в 2023 году составила 20,9 мг/кг. При применении удобрений произошло ее достоверное увеличение. При внесении аммофоса под основную обработку отмечено увеличение количества фосфора на 4,5 мг/кг. Сходный результат получен и при делении дозы удобрения под основную обработку и при посеве. В результате применения аммофоса при посеве содержание подвижного фосфора в зоне ризосферы подсолнечника увеличилось на 6,6 мг/кг.

При внесении диаммофоса изменения в содержании подвижного фосфора схожи с внесением аммофоса. Применение ЖКУ иmonoаммонийфосфата привело к большему увеличению исследуемого показателя. Внесение ЖКУ под основную обработку и под основную и при посеве привело к возрастанию количества элемента питания на 6,2 и 7,9 мг/кг соответственно. Больше всего подвижного фосфора было при посеве. Разница с контролем составила 10,3 мг/кг. Это позволило классифицировать переход от средней к повышенной обеспеченности почвы по этому элементу питания. Аналогичные результаты были получены А. А. Сычевым в 2023 году [23]. При внесении monoаммонийфосфата наблюдалась сходная тенденция с внесением ЖКУ.

Исследования, проведенные в 2024 году, подтвердили результаты 2023 года. Примечательно, что на всех вариантах опыта наиболее высоким содержание нитратного азота и подвижного фосфора в зоне ризосферы подсолнечника было в результате внесения удобрений при посеве. В содержании подвижного калия не было выявлено определенной закономерности между вариантами опыта как в 2023, так и в 2024 году. Его значения колебались в пределах 217–230 мг/кг. Обеспеченность почвы подвижной серой классифицируется как низкое.

Между вариантами опыта не было выявлено сколько-нибудь значимой разницы. Содержание изучаемого элемента питания было в пределах 2,7–3,2 мг/кг. Такое различие – ниже наименьшей существенной разницы между вариантами опыта.

Исследования, проведенные в фазу цветения подсолнечника, указали на изменения в содержании элементов питания между вариантами опыта (таблица 2). Количество нитратного азота имеет тенденцию к снижению и к стиранию различий между вариантами опыта как в 2023, так и в 2024 году. Его содержание колебалось в пределах 15,8–17,5 мг/кг и находилось в пределах ошибки опыта. Следовательно, уже к фазе цветения действие азота удобрений прекращается. Содержание подвижного фосфора по-прежнему наименьшее на контроле как в 2023, так и в 2024 году и составляет соответственно 22,8 и 23,5 мг/кг. На вариантах с применением изучаемых удобрений количество изучаемого элемента питания выше, чем на контроле в среднем на 1–4 мг/кг в 2023 году и на 1,0–4,3 мг/кг в 2024 году. Особо значимых различий между вариантами внесения удобрений не обнаружено. Следовательно, за этот период вегетации за счет выноса фосфора растениями его количество нивелируется.

Таблица 2

Содержание элементов питания в фазу цветения подсолнечника в 2023 и в 2024 гг. в слое 0–20 см (мг/кг)

Table 2

Content of nutrients in the flowering phase of sunflower in 2023 and 2024 in the 0–20 cm layer (mg/kg)

Вариант опыта	NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O		S	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
1. Контроль	15,8	16,1	22,8	23,2	221	213	2,6	2,5
2. Аммофос под основную обработку 100 кг/га	16,3	17,3	25,0	25,9	218	220	2,8	2,8
3. Аммофос при посеве 100 кг/га	16,0	15,9	24,9	25,8	223	219	2,4	2,7
4. Аммофос под основную обработку и при посеве 50/50 кг/га	15,5	15,4	24,6	25,7	226	223	2,9	2,8
5. Диаммофос под основную обработку 110 кг/га	16,2	16,8	25,5	26,2	219	219	3,0	2,9
6. Диаммофос при посеве 110 кг/га	15,8	16,4	26,8	27,5	230	217	3,1	3,0
7. Диаммофос под основную обработку и при посеве 55/55 кг/га	16,3	17,2	26,1	26,3	222	218	2,7	2,8
8. ЖКУ под основную обработку 140 кг/га	16,6	16,0	23,8	24,7	219	217	2,5	3,0
9. ЖКУ при посеве 140 кг/га	17,3	17,2	25,2	25,6	215	213	2,4	3,0
10. ЖКУ под основную обработку и при посеве 70/70 кг/га	16,4	16,2	23,9	24,2	221	215	2,9	2,9
11. Мономономийфосфат под основную обработку 85 кг/га	16,7	16,8	24,0	25,8	229	221	2,5	2,8
12. Мономономийфосфат при посеве 85 кг/га	17,5	17,0	26,7	27,5	231	217	3,2	3,0
13. Мономономийфосфат под основную обработку и при посеве 43/43 кг/га	16,6	17,1	25,0	25,1	227	218	3,1	3,0
HCP 05	1,7	2,0	1,7	1,4	11,1	9,5	0,4	0,5

Содержание подвижного калия, как и в фазу всходов, не имеет четко выраженной тенденции к изменению между вариантами опыта и незначительно му возрастанию по сравнению с фазой всходов. Его количество колебалось в пределах 218–231 мг/кг в 2023 году и 213–218 в 2024 году. По всей видимости, изучаемая величина, как отмечают многие исследователи [24–26], зависит в большей степени не от фазы развития культуры, а от влажности почв.

В период цветения происходило снижение содержания влаги в почве, что способствовало некоторой трансформации кристаллической структуры глинистых минералов и высвобождению калия. Содержание подвижной серы также было на низком уровне и соответствовало ошибке опыта между вариантами исследований.

В фазу полной спелости подсолнечника изменения в содержании элементов питания становятся малозаметными на вариантах внесения удобрений по сравнению с контролем (таблица 3).

Общее количество нитратного азота находится на том же уровне, что и в предыдущие фазы развития, но не прослеживаются различия между вариантами опыта, на что указывает наименьшая существенная разница. Содержание подвижного фосфора на контроле в 2023 и в 2024 году составляет 22,8 и 23,4 мг/кг соответственно. Но это уже не самые низкие показатели по сравнению с вариантами внесения удобрений. При внесении ЖКУ получены показатели ниже контрольных, хотя различия можно считать недостоверными. В результате внесенияmonoаммонийфосфата изучаемый показатель несколько выше контрольного. Это относится к обоим годам исследований. Увеличение содержания подвижного фосфора остается достоверным на варианте внесения аммофоса. При применении диаммофоса различия достоверны только при внесении удобрения под основную обработку в 2023 году, а в 2024 году по всем вариантам внесения данного удобрения. Содержание обменных калия и серы по вариантам опыта аналогично предыдущим срокам исследования.

Таблица 3

Содержание элементов питания в фазу спелости подсолнечника в 2023 и в 2024 гг. в слое 0–20 см (мг/кг)

Table 3

Content of nutrients in the ripening phase of sunflower in 2023 and 2024 in the 0–20 cm layer (mg/kg)

Вариант опыта	NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O		S	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
1. Контроль	17,2	16,0	22,8	23,4	211	208	2,3	2,4
2. Аммофос под основную обработку 100 кг/га	18,0	17,1	24,7	25,2	213	210	2,4	2,7
3. Аммофос при посеве 100 кг/га	16,9	15,7	25,0	25,4	216	209	2,3	2,6
4. Аммофос под основную обработку и при посеве 50/50 кг/га	16,7	15,2	24,8	25,3	212	210	2,2	2,8
5. Диаммофос под основную обработку 110 кг/га	17,1	16,6	24,6	25,9	210	208	2,6	2,8
6. Диаммофос при посеве 110 кг/га	17,7	16,2	24,3	24,9	209	211	2,9	2,8
7. Диаммофос под основную обработку и при посеве 55/55 кг/га	18,3	17,0	24,0	25,5	207	215	2,3	2,7
8. ЖКУ под основную обработку 140 кг/га	17,0	15,8	22,8	22,9	211	212	3,0	2,9
9. ЖКУ при посеве 140 кг/га	17,3	17,0	22,5	22,6	215	209	2,6	3,0
10. ЖКУ под основную обработку и при посеве 70/70 кг/га	16,4	16,1	22,0	22,1	208	210	3,1	2,8
11. Мономоаммонийфосфат под основную обработку 85 кг/га	17,6	16,6	23,6	24,6	213	210	3,0	2,8
12. Мономоаммонийфосфат при посеве 85 кг/га	16,8	15,8	24,0	24,2	216	215	2,8	2,9
13. Мономоаммонийфосфат под основную обработку и при посеве 43/43 кг/га	16,3	17,0	23,8	24,0	215	213	3,1	2,8
HCP ₀₅	1,6	2,1	1,7	1,5	9,2	9,7	0,4	0,6

Полученные результаты могут быть интерпретированы только на конкретные почвы – чернозёмы выщелоченные, образованные на лессовидных суглинках. Показатели химической поглотительной способности у этих почв коренным образом отличаются от показателей других подтипов чернозёмов Северного Кавказа. Благодаря отсутствию карбонатов кальция, нейтральной или слабокислой реакции среды фосфор удобрений слабо переходит в недоступные формы, благодаря чему повышается коэффициент использования фосфорных удобрений, который находится в пределах 0,8–0,85 [14]. На почвах, содержащих карбонатный материал, происходит инактивация растворимых фосфатов и переход их в недоступные формы. Коэффициент использования фосфорных удобрений снижается до 0,65–0,75.

В Ставропольском крае изучаемые почвы занимают всего 0,9 % территории [13]. В Северо-Кавказском регионе площади чернозёмов выщелоченных возрастают до 30 % от площади всех чернозёмов. Следовательно, полученные данные могут быть использованы при выращивании подсолнечника на аналогичных почвах, и особенно в Краснодарском крае, где площадь чернозёмов выщелоченных составляет до 40 % [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что припосевное внесение фосфорсодержащих удобрений (аммофоса, диаммофоса, ЖКУ иmonoаммонийфосфата) является наиболее эффективным способом повышения содержания азота и фосфора для подсолнечника на черноземе выщелоченном в условиях Северного Кавказа. Наибольшая концентрация подвижного фосфора наблюдалась в фазу всходов, где отмечен переход от средней к повышенной обеспеченности почвы данным элементом. В течение вегетации различия между контролем и опытными вариантами нивелировались, в то время как на содержание калия и серы применение фосфорных удобрений не оказывало существенного влияния. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования легкорастворимых форм фосфорных удобрений при выращивании подсолнечника и обосновывают необходимость дальнейших исследований по оптимизации сроков и способов их применения.

Вклад авторов:

В. С. Цховребов: разработка концепции, курирование данных, проведение исследования, разработка методологии, административное руководство исследовательским проектом, научное руководство, визуализация, написание черновика рукописи.

А. М. Вовк: формальный анализ, предоставление ресурсов, валидация результатов, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Contributions:

V. S. Tskhovrebov: conceptualization, data curation, investigation, methodology, project administration, supervision, visualization, writing-original draft.

M. Vovk: formal analysis, resources, software, validation, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Ren W., Li X., Liu T. et al. Evaluating nitrogen dynamic and utilization under controlled-release fertilizer application for sunflowers in an arid region: Experimental and modeling approach. *Journal of Environmental Management*. 2024;10(370):122456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122456>
2. Tang Z., Tai S., Li B. et al. Critical review of sunflower harvesting header technology: Loss reduction, adaptability, and intelligent mechanization. *Smart Agricultural Technology*. 2025;22(12):101237. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101237>
3. Ghafoor I., Habib-Ur-Rahman M., Ali M. et al. Slow-release nitrogen fertilizers enhance growth, yield, NUE in wheat crop and reduce nitrogen losses under an arid environment.

Environmental Science and Pollution Research. 2021;28(32):43528-43543. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13700-4>

4. Afonkina S.R., Yakhina M.R., Usmanova E.N. et al. Increased human body contamination with cadmium following inclusion of sunflower seeds in diet. *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2025;31(12):921-930. <https://doi.org/10.17816/humeco643208>
5. Lukomets V.M., Trunova M.V., Demurin Y.N. Modern trends in breeding and genetic improvement of sunflower varieties and hybrids at VNIIMK. *Vavilovskii Zhurnal Genet Seleksii*. 2021;25(4):388-393. <https://doi.org/10.18699/VJ21.042>
6. Дзанагов С.Х. Агрохимия: учебник для вузов. – 2-е изд., стер. Санкт-Петербург : Лань; 2024.376. Dzanagov S.Kh. *Agrochemistry*. textbook for universities. – 2nd ed., Stereotype. St. Petersburg : Lan; 2024.376. (In Russ.).
7. Joseph B., Babu S. Effect of organic and chemical fertilizer on the diversity of rhizosphere and leaf microbial composition in sunflower plant. *Current Microbiology*. 2024;81(10):331. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03856-w>
8. Riedo J., Wettstein F.E., Rösch A. et al. Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils – the ghost of a conventional agricultural past. *Environmental Science & Technology*. 2021;55(5):2919-2928. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405>
9. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Formulation and evaluation of organo-mineral fertilizers based on sewage sludge optimized for maize and sunflower crops. *Waste Management*. 2021;136:57-66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.040>
10. Лошаков А.В. Состояние и использование земельного фонда Ставропольского края. Экономика и экология территориальных образований. 2018;2:114-123. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2-2-114-123>
Loshakov A.V. Condition and use of the land fund of Stavropol region. *Economy and ecology of territorial entities*. 2018;2:114-123. (In Russ.). <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2-2-114-123>
11. Hernandez-Mora A., Duboc O., Lombi E. et al. Fertilization efficiency of thirty marketed and experimental recycled phosphorus fertilizers. *Journal of Cleaner Production*. 2024;467:142957. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142957>
12. Тишков Н.М., Ерёмин Г.И. Эффективность применения жидких комплексных удобрений под подсолнечник на чернозёмах Краснодарского края. *Масличные культуры*. 2020;2(182):51-61. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-51-61>
Tishkov N.M., Eremin G.I. Efficiency of application of liquid complex fertilizers under sunflower on black soil of the Krasnodar region. *Oilseed crops*. 2020;2(182):51-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-51-61>
13. Цховребов В.С., Есаулко А.Н., Новиков А.А. Современные проблемы плодородия почв Ставрополья. *Агрономический вестник*. 2017;4:3-8.
Tskhovrebov V.S., Esaulko A.N., Novikov A.A. Modern problems of soil fertility in Stavropol region. *Agrochemical Bulletin*. 2017;4:3-8. (In Russ.).
14. Пигорев И.Я., Петрова С.Н., Трутаева Н.Н. и др. Эффективность локального применения жидких комплексных удобрений в агроценозах подсолнечника. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021;9:45-51.
Pigorev I.Ya., Petrova S.N., Trutaeva N.N. et al. The effectiveness of local application of liquid complex fertilizers in sunflower crops. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2021;9:45-51. (In Russ.).
15. Дзанагов С.Х., Ваниев А.Г., Козырев А.Х. и др. Влияние систем удобрения на урожайность кукурузы на черноземе выщелоченном. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2025;62(1):14-22. https://doi.org/10.54258/20701047_2025_62_1_14
Dzanagov S.Kh., Vaniev A.G., Kozyrev A.Kh. et al. Influence of fertilizer systems on corn yield on leached Chernozem. *Bulletin of the Gorski State Agrarian University*. 2025;62(1):14-22. (In Russ.). https://doi.org/10.54258/20701047_2025_62_1_14

16. Timofeeva A., Galyamova M., Sedykh S. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. *Plants*. 2022;11(16):2119. <https://doi.org/10.3390/plants11162119>
17. Подколзин О.А., Слюсарев В.Н., Осипов А.В. и др. Особенности функционирования почвенного поглощающего комплекса чернозема выщелоченного Прикубанской низменности при многолетнем его использовании в зернотравяно-пропашном севообороте. *Земледелие*. 2025;2:23-27.
Podkolzin O.A., Slyusarev V.N., Osipov A.V. et al. Features of the functioning of the soil absorption complex of leached chernozem of the Kuban Lowland during its long-term use in grain-grass-row crop rotation. *Agriculture*. 2025;2:23-27. (In Russ.).
18. Helfenstein J., Ringeval B., Tamburini F. et al. Understanding soil phosphorus cycling for sustainable development: A review. *One Earth*. 2024;7(10):1727-1740. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.07.020>
19. Подколзин О.А., Соколова И.В., Осипов А.В. и др. Мониторинг плодородия почв земель Краснодарского края. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2017;68:117-124.
Podkolzin O.A., Sokolova I.V., Osipov A.V. et al. Soil fertility monitoring in Krasnodar Territory. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2017;68:117-124. (In Russ.).
20. Фаизова В.И., Цховребов В.С., Никифорова А.М. и др. Изменение физико-химических показателей черноземов Центрального Предкавказья при сельскохозяйственном использовании. *Агрохимический вестник*. 2017;4:17-19.↑
Faizova V.I., Tskhovrebov V.S., Nikiforova A.M. et al. Changes physico-chemical indices of chernozems of the Central Ciscaucasia in agricultural use. *Agrochemical Bulletin*. 2017;4:17-19. (In Russ.).
21. Лукин С.В., Турусов В.И., Куницин Д.А. Мониторинг содержания цинка в агроэкосистемах Центрального Черноземья России. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2025;525(1).
Lukin S., Turusov V.I., Kunitsin D.A. Monitoring of zinc content in agroecosystems the Central Chernozem region of Russia. *Doklady Earth Sciences*. 2025;525(1). (In Russ.).
22. Слюсарев В.Н., Подколзин О.А., Кильдюшкин В.М. и др. Влияние технологий возделывания полевых культур на агрохимические и физико-химические свойства чернозема выщелоченного в условиях Западного Предкавказья. *Земледелие*. 2024;5:9-13.
Slyusarev V.N., Podkolzin O.A., Kildyushkin V.M. et al. The influence of field crop cultivation technologies on the agrochemical and physicochemical properties of leached chernozem under the conditions of Western Ciscaucasia. *Agriculture*. 2024;5:9-13. (In Russ.).
23. Сычев А.А. Агрохимическая эффективность комплексных удобрений в современных условиях. *Вестник РАСХН*. 2023;1:45-51.
Sychev A.A. Agrochemical efficiency of complex fertilizers in modern conditions. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2023;1:45-51. (In Russ.).
24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. *Земледелие*. 2006;5:12.
Dospekhov B.A. Methodology of field experience. *Agriculture*. 2006;5:12. (In Russ.).
25. Shams S., Mahmood S., Ishaque W. Slow mineral nitrogen release from Boron Coated Urea improves productivity of sunflower grown in Alkaline soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2025;25:7265-7280. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02593-8>
26. Tastanbekova G. Comparative agrochemical assessment of cultivated soils in East Kazakhstan: Implications for site-specific fertility management. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2025;14(4):336-344. <https://doi.org/10.18393/ejss.1750269>

Сведения об авторах

Цховребов Валерий Сергеевич –
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующий кафедрой почвоведения,
Ставропольский государственный
аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-4809-3264>
SPIN-код: [5327-5803](#)
tshovrebov@mail.ru

Вовк Андрей Михайлович –
аспирант, Ставропольский государственный
аграрный университет, Ставрополь, Россия
vovk08@yandex.ru

About the authors

Valery S. Tskhovrebov –
Dr. Sci. (Agric), Prof., Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-4809-3264>
tshovrebov@mail.ru

Andrey M. Vovk –
postgraduate student, Stavropol State Agrarian
University, Stavropol, Russia
vovk08@yandex.ru