

*O.P. Yakutina, PhD in Biological sciences
Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
pr. Acad. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, 630090 Russia, e-mail: oyakutina@yandex.ru*

On the example of a soil profile five meters deep, the distribution of various forms of phosphorus in the profile of ordinary chernozem and underlying deposits in the Baraba forest-steppe in the south of Western Siberia is considered. Total phosphorus was determined by the method of wet ashing in a mixture of sulfuric and perchloric acids according to Ginzburg. The group composition of mineral phosphates – according to Ginzburg-Lebedeva in the modification of Negovelov-Pestova. The results showed that the distribution of total phosphorus in the complex soil – underlying sediments has a clearly pronounced rhythmic character, associated, on the one hand, with organogenic, accumulative processes in the upper part of the soil profile, and on the other hand, with the presence of layers that are homogeneous in terms of the content of total phosphorus at a depth of 80 to 500 cm. Based on this, four blocks with similar parameters were identified. The content of total phosphorus in the soil and underlying sediments refers it to substrates rich in phosphorus. The absolute content of calcium phosphates of the first-second fraction and the ratio of fractions of mineral phosphorus are favorable for phosphorus nutrition of plants. Key words: total phosphorus, mineral phosphorus, fractional composition of mineral phosphorus, ordinary chernozem, parent materials, Baraba lowland, Western Siberia.

УДК 631.452:631:85

DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.02

ОЦЕНКА ФОСФОРНОГО ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

В.Г. Сычев¹, Ю.И. Гречишкина², А.В. Матвиенко³

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31, ainfo@vniia-pr.ru

²ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, lnwg@mail.ru

³ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Ставропольский», 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 65, stavhim@mail.ru

В основе исследования лежат результаты государственного мониторинга плодородия почв и применения удобрений в Ставропольском крае за 2013-2022 г. Обобщены и проанализированы данные по основным подтипам почв региона: светло-каштановым, каштановым и тёмно-каштановым, чернозёмам южным, обыкновенным, типичным и выщелоченным. Содержание подвижного фосфора оказалось ниже оптимального на 1,8-7,1 мг/кг для всех подтипов почв, кроме светло-каштановых. Регрессионным анализом выявлена положительная тенденция по содержанию подвижного фосфора в светло-каштановых почвах, для остальных подтипов почвы определена тенденция к снижению. Среднее за период наблюдений поступление подвижного фосфора в почву из удобрений по подтипам почв составило от 14,4 до 37,8 кг д.в./га, что сильно уступает рекомендуемым дозам удобрения зерновых культур. Самым востребованным в Ставропольском крае фосфоросодержащим удобрением является аммофос, доля которого в среднем составляет 82% от общего объёма. Проведено сравнение затратности на аммофос и сульфаммофос в качестве фосфоросодержащего удобрения. В 2023 г. средняя цена за 1 т действующего вещества (при пересчёте на азот, фосфор, калий) из аммофоса составила 78051 руб., из сульфаммофоса – 90984 руб. Влияние подвижного фосфора из почвы на урожайность зерновых и зернобобовых культур определено как очень слабое ($r=0,19$), а из вносимых удобрений – как умеренное ($r=0,38$).

Ключевые слова: плодородие почвы, подвижный фосфор, чернозём, каштановые почвы, фосфоросодержащие удобрения.

Для цитирования: Сычев В.Г., Гречишкина Ю.И., Матвиенко А.В. Оценка фосфорного питания сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае// Плодородие. 2023. – №5. – С. 8-11. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.02.

В современных условиях ведение сельского хозяйства без сохранения плодородия почвы нельзя считать рациональным. Плодородие – это основа, без которой невозможно в длительной перспективе обеспечить продовольственную безопасность и рост экспортного потенциала страны. В свою очередь система по сохранению плодородия должна основываться на регулярном агрохимическом обследовании, прогнозировании ситуации и принятии мер по предотвращению негативных процессов [1, 2, 5].

Среди основных показателей плодородия почвы в условиях Ставропольского края большего всего вопросов вызывает обеспеченность подвижным фосфором

(P_2O_5). Роль фосфора при выращивании озимых культур сложно переоценить [3, 6]. Так при достаточной обеспеченности фосфором растения лучше переносят стрессовые погодные условия. В них улучшается углеводный обмен, накапливаются сахара и как следствие усиливаются морозо- и зимостойкость [7, 9].

Подвижного фосфора в чернозёмных и каштановых почвах Ставрополья может в среднем содержаться 10-60 мг/кг почвы (по Мачигину). При этом оптимальным для выращивания зерновых культур содержанием принято считать 25-30 мг/кг, в зависимости от подтипа почвы [4, 5, 8].

В данной статье рассматриваются содержание подвижного фосфора и применение фосфоросодержащих удобрений на подтипах каштановых и чернозёмных почв, так как они являются основными в Ставрополье [4].

Общий удельный вес этих почв в землях края достигает 90,7%.

Доля площади основных подтипов почв в Ставропольском крае приведена ниже

Подтип почвы	Доля от общей площади, %
Светло-каштановые	12,6
Каштановые	19,7
Тёмно-каштановые	15,9
Чернозёмы: южные	7,2
обыкновенные	27,5
типичные	6,0
выщелоченные	1,8
Прочие почвы	9,3

Цель исследований – проанализировать данные о содержании подвижного фосфора в почвах Ставропольского края и объёмах внесения фосфора с минеральными удобрениями в 2013-2022 г., оценить влияние данных

факторов на урожайность зерновых и зернобобовых культур.

Методика. В качестве объектов исследований выступают светло-каштановые, каштановые и тёмно-каштановые почвы, чернозёмы южные, обыкновенные, типичные и выщелоченные, расположенные на территории 26 округов Ставропольского края.

Данные о содержании подвижного фосфора в почвах получены при обобщении результатов государственного мониторинга плодородия почвы в период 2013-2022 г. Для определения подвижного фосфора использовали метод Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91. Почвенные образцы отбирали в слое 0-20 см.

Информация об урожайности и валовых сборах зерновых культур выбрана и обобщена на основе формы 29-СХ федеральной службы государственной статистики.

Объёмы внесения удобрений основаны на данных мониторинга агрохимической службы Ставропольского края под урожаи соответствующих лет.

Результаты и их обсуждение. Результатами работы стали обобщённые данные по содержанию подвижного фосфора в ведущих подтипах почв Ставропольского края в период 2013-2022 г. (табл. 1). Для составления динамики использовали актуальные данные мониторинга плодородия почв на конец каждого года наблюдений.

1. Содержание подвижного фосфора в слое 0-20 см почв Ставропольского края, мг/кг

Подтип почвы	Годы										Оптимальное
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Светло-каштановые	21,5	20,9	20,6	21,4	21,4	21,4	21,4	21,3	21,3	21,3	21,0-25,0
Каштановые	20,4	20,4	20,4	20,2	20,2	20,0	20,0	19,4	19,6	19,3	25,0-30,0
Тёмно-каштановые	21,9	21,8	21,8	21,4	21,4	21,3	21,3	20,4	20,4	20,4	26,0-30,0
Чернозёмы южные	20,5	20,8	20,8	21,5	21,4	21,4	21,1	21,1	20,4	20,4	27,0-30,0
Чернозёмы обыкновенные	19,2	19,5	19,6	19,6	20,1	20,2	20,0	20,0	20,0	19,9	27,0-30,0
Чернозёмы типичные	23,7	25,7	25,2	25,2	25,0	25,3	25,3	25,4	24,4	24,1	28,0-30,0
Чернозёмы выщелоченные	29,9	30,4	30,5	30,3	30,3	30,3	29,8	29,8	26,5	26,2	28,0-30,0
Дисперсия	171	172	172	171	169	170	167	163	159	158	-
Среднее квадратичное отклонение	13,1	13,1	13,1	13,1	13,0	13,0	12,9	12,8	12,6	12,6	-

Из проанализированных данных следует, что только светло-каштановые почвы приближены к нижней границе оптимального содержания подвижного фосфора. Учитывая, что на их долю приходится всего 12,6% общей площади, тезис о дефицитности подвижного фосфора в почвах Ставропольского края можно считать фактически подтверждённым. Остальные подтипы почв

по состоянию на конец 2022 г. ниже границы оптимального содержания на 1,8-7,1 мг/кг.

Для оценки динамики содержания подвижного фосфора в почве проведён регрессионный анализ (табл. 2). Тип регрессии выбран по самому высокому коэффициенту аппроксимации.

2. Регрессионный анализ содержания фосфора в подтипах почв Ставропольского края

Подтипы почвы	Тип регрессии	Уравнение регрессии	R ²
Светло-каштановые	Экспоненциальный	$f(x) = 21,096 \exp(0,001x)$	0,088
Каштановые	Полиномиальный	$f(x) = -0,011x^2 - 0,004x + 20,45$	0,920
Тёмно-каштановые	>>	$f(x) = -0,011x^2 - 0,065x + 21,99$	0,904
Чернозёмы южные	>>	$f(x) = -0,05x^2 - 0,525x + 19,96$	0,832
Чернозёмы обыкновенные	>>	$f(x) = -0,023x^2 - 0,329x + 18,87$	0,872
Чернозёмы типичные	>>	$f(x) = -0,062x^2 - 0,656x + 23,70$	0,553
Чернозёмы выщелоченные	>>	$f(x) = -0,123x^2 - 0,961x + 28,87$	0,884

Таким образом только на светло-каштановых почвах выявлена восходящая линия тренда. Все остальные подтипы почвы продемонстрировали тенденцию к снижению содержания подвижного фосфора при значительных коэффициентах аппроксимации.

Вторым фактором для оценки фосфорного питания был выбран показатель поступления в почву подвижного фосфора из удобрений. Для этого проведено обобщение данных агрохимической службой Ставропольского края по мониторингу использования удобрений в исследуемый период (табл. 3).

3. Динамика внесения подвижного фосфора с минеральными удобрениями в почвы Ставропольского края, кг/га

Подтип почвы	Годы										Среднее
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Светло-каштановые	7,1	9,2	10,6	9,7	12,7	23,2	19,4	21,0	22,6	8,6	14,4
Каштановые	13,0	13,9	19,6	15,0	18,0	23,7	21,7	25,5	23,6	16,3	19,0
Тёмно-каштановые	18,9	20,5	25,8	20,4	21,1	26,1	24,5	29,0	27,4	20,5	23,4
Чернозёмы южные	28,2	29,6	33,7	30,4	30,9	36,4	36,0	37,3	34,9	30,6	32,8
Чернозёмы обыкновенные	32,0	32,9	35,2	35,4	35,9	42,8	43,5	41,4	42,2	37,0	37,8
Чернозёмы типичные	31,1	29,0	39,3	30,4	28,9	31,9	39,6	32,7	24,4	31,4	31,9
Чернозёмы выщелоченные	30,8	27,9	39,3	29,5	28,0	30,9	39,9	31,3	23,1	31,7	31,2

Из полученных данных следует, что на чернозёмах более интенсивно используют фосфоросодержащие удобрения, чем на каштановых. Для достижения максимальной прибавки урожайность рекомендуют внесение 60-95 кг/га подвижного фосфора [1]. Даже при макси-

мальных дозах внесения удобрений на чернозёмах обыкновенных средняя фактическая доза только наполовину соответствует рекомендуемой.

Для оценки эффективности фосфоросодержащих удобрений определяли долю применяемых удобрений в общем объёме вносимого с ними подвижного фосфора.

4. Доля видов удобрений во вносимом фосфоре в почвы Ставропольского края, %

Удобрение	Годы										Среднее
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Аммофос	82	84	87	83	84	82	81	82	80	77	82
Сульфоаммофос	3	3	4	5	3	4	8	6	6	7	5
Нитроаммофоска	4	5	5	5	5	3	4	4	4	5	4
Диаммофоска	2	4	1	6	4	5	6	6	4	5	4
Диаммофос	0	1	1	1	2	1	1	1	4	3	2
Прочие	9	3	2	0	2	5	0	1	2	3	3

Как видно из приведенных данных, обеспечение растений фосфором в Ставропольском крае предпочитают осуществлять за счёт использования аммофоса. Несмотря на то, что его доля несколько снизилась к 2022 г. (до 77%), аммофос по-прежнему остаётся самым востребованным фосфоросодержащим удобрением.

Также за исследуемый период можно отметить рост доли сульфоаммофоса с 3 до 7%. С точки зрения сельхозтоваропроизводителей, данное удобрение отличается от аммофоса лучшими ценой и содержанием в нём серы. Средняя цена на аммофос в 2023 г. составляет 48794 руб/т, а на сульфоаммофос – 35828 руб/т. С нашей точки зрения данное преимущество не является неоспоримым.

По данным мониторинга агрохимической службой цен на территории Ставропольского края с января по сентябрь 2023 г. средневзвешенная цена на 1 т д.в. (при пересчёте на содержание азота, фосфора и калия) в аммофосе составила 78051 руб., а в сульфоаммофосе – 90984 руб. Также стоит учитывать, что в аммофосе фосфора в 2,6 раз больше. Таким образом для обеспечения фосфорного питания растений с экономической точки зрения сульфоаммофос сильно уступает аммофосу.

Следует обратить внимание на низкий уровень использования жидких форм фосфоросодержащих удобрений. Объём применения ЖКУ в крае настолько низок,

что его вынуждены были указать в категории прочих удобрений. В качестве преимущества данного вида удобрений можно отметить технологичность и равномерность внесения.

На текущий момент при цене ЖКУ за 1 т д.в. 110316 руб. они не смогут заменить аммофос в роли основного фосфоросодержащего удобрения, но прекрасно подходят для развития точного земледелия в Ставропольском крае. Стоит учитывать, что жидкие формы удобрений хороши для засушливых условий последних лет.

Для оценки влияния содержания фосфора в почве и объёмов его внесения с удобрениями на урожайность зерновых культур (табл. 5) был проведён корреляционный анализ по обоим факторам.

Теснота связи содержания подвижного фосфора и урожайности была определена как очень слабая ($r=0,19$), а вносимых удобрений и урожайности – как умеренная ($r=0,38$). Таким образом на фоне недостаточной обеспеченности почвы подвижным фосфором фосфоросодержащие удобрения продолжают оказывать более активное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур.

5. Динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур на почвах Ставропольского края, т/га

Подтип почвы	Годы									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Светло-каштановые	2,68	3,12	3,45	3,71	3,87	2,86	2,62	2,22	2,37	2,88
Каштановые	2,70	3,48	3,75	4,03	4,17	3,28	2,52	2,27	3,02	3,30
Тёмно-каштановые	2,77	3,54	3,67	3,88	3,95	3,21	2,52	2,12	3,23	3,31
Чернозёмы южные	3,20	3,90	3,89	4,35	4,18	3,80	3,32	2,45	4,08	4,07
Чернозёмы обыкновенные	3,45	4,14	3,97	4,73	4,48	4,29	3,85	2,85	4,67	4,71
Чернозёмы типичные	3,60	3,72	3,93	3,96	3,99	4,03	3,54	3,12	4,15	4,51
Чернозёмы выщелоченные	3,64	3,65	3,89	3,91	3,96	4,08	3,61	3,24	4,23	4,60

Выводы. В ходе исследований выявлена недостаточная обеспеченность подвижным фосфором ведущих подтипов почв Ставропольского края, кроме светло-каштановых. До нижнего порога оптимального значения недостаёт 1,8-7,1 мг/кг. В таких условиях получение максимальных урожаев на этих почв затруднено, так как пониженное содержание фосфора будет их ограничивать.

Для комплексного решения проблемы необходима разработка программы по улучшению плодородия почв Ставропольского края. Доведение содержания подвижного фосфора в почве до оптимальных значений позволит не только получить дополнительные урожаи сельскохозяйственных культур, но и упростить регулирование питания растений другими элементами. Так при достаточной обеспеченности фосфором вырастет эффективность азотных подкормок. Данный вопрос актуален, так как регрессионный анализ на каштановых и тёмно-каштановых почвах, чернозёмах южных, обыкновенных, типичных и выщелоченных выявил тенденцию к дальнейшему снижению подвижного фосфора. Это можно исправить только увеличением объёмов использования минеральных и органических удобрений, а также применением разных фосфоросодержащих мелиорантов. На текущий момент содержание подвижного фосфора в целом очень слабо влияет на урожайность зерновых и зернобобовых культур ($r=0,19$), а применение удобрений – умеренно ($r=0,38$).

Литература

1. Влияние применения систем удобрения в звене севооборота на изменение форм фосфора в чернозёме выщелоченном / Ю. И. Гречишкина, С. А. Коростылев, В. В. Агеев [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2017. – № 4. – С. 103–107.
2. Недбаев В. Н., Жиляков Д. И. Динамика содержания подвижных соединений фосфора в зональных почвах Курской области и урожайности сельскохозяйственных культур // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – №5.
3. Нестеренко, В. А. Влияние обеспеченности почв подвижным фосфором и доз азотных удобрений на формирование урожая и качество яровой пшеницы / В. А. Нестеренко, В. М. Лапушкин // Агротехнический вестник. – 2021. – № 1. – С. 38–42.
4. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: Монография / В. В. Кулинцев, Е. И. Годунова, Л. И. Желнокова и др. – Ставрополь : АГРУС, 2013. – 520 с.
5. Ситников В. Н., Егоров В. П., Есаулков А. Н., Бурлай А. В. Мониторинг плодородия почв Ставропольского края: Динамика агрохимических показателей с учетом зональных особенностей почв // Агротехнический вестник. – 2018. – №4.
6. Содержание подвижного фосфора в почвах административных районов Республики Крым / С. И. Скляр, А. В. Ильин, Д. Н. Валин, Н. Н. Липнева // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2022. – № 32. – С. 30–43.
7. Хусайнов Х. А., Тунтаев А. В., Елмураева Ф. Д. Содержание подвижного фосфора в чернозёме типичном при различных приёмах основной обработки и применении средств химизации и биологизации // Плодородие. – 2023. – №1. С. .
8. Черноземы Центрального Предкавказья / Ю. И. Гречишкина, В. Г. Сычев, М. С. Сигида, А. В. Бурлай. – Ставрополь : АГРУС, 2020. – 456 с.
9. Чекмарёв П. А., Лукин С. В. Мониторинг содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – №2.

ASSESSMENT OF PHOSPHORUS NUTRITION OF AGRICULTURAL CROPS IN THE STAVROPOL TERRITORY

Sychev V.G.¹, Grechishkina Yu.I.², Matvienko A.V.³

¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, str. Pryanishnikova, 31, 127434, Russia, ainfo@vniia-pr.ru

²Stavropol State Agrarian University "Stavropol State Agrarian University"

355017, Russia, Stavropol Territory, Stavropol, lane. Zootechnical 12, lnwg@mail.ru

³Federal State Budgetary Institution State Center of Agrochemical Service "Stavropol", 356241, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Nikonova str., 65, stavhim@mail.ru

The study is based on the results of the state monitoring of soil fertility and the use of fertilizers in the Stavropol Territory for 2013-2022. The data on the main subtypes of soils in the region are summarized and analyzed: light chestnut, chestnut and dark chestnut, southern chernozems, ordinary, typical and leached. The content of mobile phosphorus is lower than optimal by 1.8-7.1 mg/kg for all subtypes of soils, except light chestnut. Regression analysis revealed a positive trend in the content of mobile phosphorus in light kashyan soils, for the remaining subtypes of the soil, a downward trend was determined. During the observation period, the average intake of mobile phosphorus into the soil from fertilizers by soil subtypes ranged from 14.4 to 37.8 kg/ha per day, which is much inferior to the recommended doses of fertilizer for grain crops. The most popular phosphorus-containing fertilizer in the Stavropol Territory is ammophos, whose share on average is 82% of the total volume. A comparison of the cost of ammophos and sulfoammophos as a phosphorus-containing fertilizer was carried out: in 2023, the average price for 1 ton of active substance (in terms of nitrogen, phosphorus, potassium) from ammophos was 78051 rubles, from sulfoammos – 90984 rubles. The effect of mobile phosphorus from the soil on the yield of grain and leguminous crops was determined as very weak ($r= 0.19$), and from the applied fertilizers – as moderate ($r=0.38$).

Keywords: soil fertility, mobile phosphorus, chernozem, chestnut soils, phosphorus-containing fertilizers.