УДК 631.8:633(470.630) DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.07

МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ БАЛАНСОВЫМ МЕТОДОМ В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

В.Г. Сычев[1], ак. РАН, Ю.И. Гречишкина[2], М.А. Мастепаненко[2], А.В. Матвиенко[3]
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31, ainfo@vniia-pr.ru
[2]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, lnwg@mail.ru
[3]Ставропольский филиал ФГБУ «Агрохимическая служба России», 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 65, stavhim@mail.ru

Статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2025-591) в рамках реализации мероприятий программы развития научного центра мирового уровня «Агроинженерия будущего» Ставропольского ГАУ

Представлены результаты мониторинга плодородия почв балансовым методом в разрезе почвенно-климатических зон Ставропольского края под урожай 2023 г. Исследование охватило четыре зоны, различающиеся по условиям увлажнения: крайне засушливую (I)*, засушливую* (II)*, зону неустойчивого увлажнения* (III) *и зону достаточного увлажнения* (IV)*. Целью работы была оценка баланса основных элементов питания – азота, фосфора и калия. Расчеты проводили по утвержденной балансовой методике с использованием данных государственной статистики и мониторинга применения удобрений. Автоматизация расчетов выполнена с помощью специализированного программного обеспечения «Nota». Результаты исследования выявили устойчивый отрицательный баланс макроэлементов во всех зонах. Наибольший дефицит наблюдается в зонах с лучшим увлажнением* (III и IV)*, где показатели более чем в 2 раза превышают дефицит в засушливых зонах (*I и II*). Ключевыми факторами, определяющими баланс, являются структура посевных площадей и объемы внесения удобрений. В засушливых зонах значительная доля паров частично компенсирует дефицит, тогда как в зонах* III и IV *отсутствие паров и высокая доля интенсивных культур (подсолнечник, кукуруза, сахарная свекла) усугубляют отрицательный баланс, особенно по калию, внесение которого остается крайне недостаточным. Сделан вывод о необходимости разработки дифференцированных систем применения удобрений с учетом зональных особенностей для повышения эффективности землепользования и сохранения почвенного плодородия в регионе.*

Ключевые слова: плодородие почвы, баланс элементов питания, азот, фосфор, калий, Ставропольский край, мониторинг плодородия почв.

Для цитирования: *Сычев В.Г., Гречишкина Ю.И., Мастепаненко М.А., Матвиенко А. В.* Мониторинг плодородия почв балансовым методом в почвенно-климатических зонах Ставропольского края// Плодородие. – 2026. – №3. – С. 41-45. DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.07.

Ставропольский край – один из важных аграрных регионов Российской Федерации. Высокая интенсивность сельскохозяйственного производства оказывает существенную антропогенную нагрузку на почву. Для гармоничного развития земледелия требуется соблюдение законов возврата веществ, оптимума, максимума, минимума и др., т.е. необходимо поддерживать эффективный баланс элементов питания в почве [1].

Изучение динамики баланса питательных веществ способствует организации регулярного контроля изменения агрохимических показателей почвы. Через расчёт баланса можно составить представление о плодородии почвы в зависимости от поступления и расхода элементов питания. На основе этого можно дать оценку уровню применения органических и минеральных удобрений и обосновать коррекцию их использования [2].

Одна из основных современных проблем баланса в земледелии России заключается в том, что основная часть урожая сельскохозяйственных культур формируется в ущерб почвенному плодородию, так как вынос элементов питания компенсируется недостаточно [3, 6]. Объём питательных веществ, отчуждаемый с урожаем, по стране составляет около 10,8 млн т, что в 2,4 раза превышает уровень их поступления за счёт внесения удобрений и возвращения растительных остатков [7].

По мнению ряда зарубежных авторов, решить эту проблему можно за счёт не только наращивания объёмов вносимых минеральных удобрений, но и изменения структуры посевных площадей в направлении биологизации и увеличения использования органических удобрений [8-10].

На данный момент все расчёты баланса элементов питания в почве органами исполнительной власти проводятся в разрезе всего Ставропольского края и не отражают специфику отдельных округов, что не соответствует дифференцированным подходам управления агропромышленным комплексом региона.

Цель исследования – определить баланс элементов питания в почве и его взаимосвязь с основными факторами с учетом актуального почвенно-климатического зонирования Ставропольского края.

Задачи исследования: рассчитать приходную, расходную части баланса элементов питания в почвах Ставропольского края и определить корреляцию с основными статьями баланса.

Методика. В качестве объектов исследований были выбраны почвенно-климатические зоны Ставропольского края, которые привязаны к административному делению региона: I зона — крайне засушливая (Апанасенковский, Арзгирский, Левокумский, Нефтекумский муниципальные округа), II зона — засушливая (Ипатовский, Туркменский, Благодарненский, Новоселицкий, Будённовский, Советский, Степновский, Курский муниципальные округа), III зона — неустойчивого увлажнения (Красногвардейский, Новоалександровский, Изобильненский, Труновский, Петровский, Грачёвский, Шпаковский, Кочубеевский, Андроповский, Александровский, Минераловодский, Георгиевский, Кировский муниципальные округа), IV зона — достаточного увлажнения (Предгорный муниципальный округ). Данное разделение основывается на экономическом зонировании в 1968 г., но более приближено к границам провинций ландшафтов и современных агроклиматических зон [5].

Краткая характеристика исследуемых почвенно-климатических зон представлена в таблице 1.

1. Характеристика почвенно-климатических зон Ставропольского края

Показатель	Зоны			
	I	II	III	IV
Площадь земель сельскохозяйственного назначения, тыс. га	1462,7	2033,5	2416,6	175,0
Площадь сельскохозяйственных угодий, тыс. га	1357,0	1920,2	2211,6	155,4
Площадь пашни, тыс. га	658,0	1491,4	1680,6	93,3
Преобладающие почвы	Каштановые, светло-каштановые	Тёмно-каштановые, каштановые	Чернозёмы обыкновенные, южные	Чернозёмы типичные, выщелоченные, обыкновенные
Среднегодовое количество осадков, мм	387-458	433-482	559-636	665
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,63-0,72	0,64-0,81	1,00-1,09	1,79
Среднегодовое внесение минеральных удобрений в д.в. на 1 га посевной площади, кг	31,7	64,5	107,8	75,8
Среднегодовое внесение органических удобрений на 1 га посевной площади, т	2,1	3,0	4,2	3,7

Как видно из представленной в таблице данных, исследуемые зоны существенно различаются как по своим исходным природным характеристикам, так и по уровню интенсификации сельскохозяйственного производства. В дальнейшем это окажет значительный эффект на результаты расчёта баланса элементов питания в почве.

Для расчёта баланса элементов питания основывались на балансовом методе, указанном в рекомендациях по расчёту баланса питательных веществ в земледелии Ставропольского края от 1988 г. Данный метод уже использовался в предыдущей работе по этой тематике [4]. Его сущность заключается в сопоставлении расходной и приходной частей баланса в разрезе сельскохозяйственных культур, что широко используется в системе государственного мониторинга плодородия почв.

В расходной части баланса используют данные по: выносу питательных элементов сельскохозяйственными культурами; потере питательных элементов удобрений за счет вымывания; потере азота в результате денитрификации; газообразным потерям азота; потерям питательных элементов из удобрений в результате эрозии почв; закреплению почвой фосфора и калия из удобрений в труднодоступное состояние; технологическим потерям при внесении удобрений.

В приходной части баланса используют данные по: поступлению питательных элементов из минеральных удобрений; поступлению питательных элементов из органических удобрений; поступлению питательных элементов при запашке соломы; поступлению питательных элементов с семенами; несимбиотической и симбиотической фиксации азота; поступлению питательных элементов из атмосферы с осадками.

Этот метод не является идеальным, так как с момента определения основных коэффициентов для расчётов сельскохозяйственная отрасль региона претерпела значительные изменения. Данная методика требует глубокой актуализации, но на текущий момент это единственный нормативный документ, используемый для мониторинга плодородия в Ставропольском крае. Именно на его основе составлены ежегодные отчёты органов исполнительной власти о состоянии плодородия почв Ставрополья.

Для автоматизации расчётов использовали программное обеспечение «Nota», специально разработанное для выполнения данной работы в Ставропольском филиале федерального государственного бюджетного учреждения «Агрохимическая служба России». Программа основывается на алгоритмах методики расчёта 1988 г. При ее разработке за счёт построения новых уравнений регрессии были обновлены коэффициенты выноса питательных веществ для повышенной урожайности сельскохозяйственных культур.

В качестве исходных данных для расчёта баланса элементов питания в почве использовали данные государственных органов статистики, в частности, информацию по урожайности и посевным площадям сельскохозяйственных культур, взятую из формы 29-СХ за 2023 г.

Данные о внесении минеральных и органических удобрений представлены по результатам мониторинга применения удобрений Ставропольским филиалом «Агрохимической службы России».

Результаты и их обсуждение. Перед началом расчёта баланса и для удобства дальнейшего его описания необходимо представить структуру посевных площадей по исследуемым зонам (табл. 2).

В структуре посевных площадей почвенно-климатических зон Ставропольского края прослеживаются некоторые закономерности. Так доля озимых зерновых культур составляет около половины всей площади пашни. По мере улучшения влагообеспеченности в исследуемых зонах увеличивается разнообразие возделываемых сельскохозяйственных культур. Это происходит в связи с

возможностью отказа в севооборотах от паров. Возделывание сахарной свёклы характерно только для III зоны.

2. Структура посевных площадей возделываемых культур в 2023 г. по почвенно-климатическим зонам Ставропольского края, %

Показатель	Зоны			
	I	II	III	IV
Озимая пшеница	48	42	48	40
Озимый ячмень	1	4	7	6
Подсолнечник	1	3	11	15
Кукуруза на зерно	1	1	6	21
Сахарная свёкла	0	0	2	0
Пары	42	35	7	0
Прочие культуры	7	15	19	18

В ходе исследования был рассчитан баланс трёх ключевых элементов питания: азота, фосфора и калия. На первом этапе работы определили расходную часть баланса по почвенно-климатическим зонам (рис. 1).

Основную статью расхода элементов питания составляет вынос с урожаем. Его доля в исследуемых зонах достигает: по азоту – 91, 84, 83, и 86 %; по фосфору – 84, 68, 66 и 87 %; по калию – 98, 98, 96 и 96 %. Из полученных данных можно сделать некоторые выводы.

Так для II и III зон доля выноса урожаем фосфора в общем расходе значительно ниже, чем в I и IV зонах. Это объясняется тем, что в его расходной части учитывали переход элемента в труднорастворимые формы, что косвенно отражает более высокий уровень применения фосфорных удобрений в данных зонах.

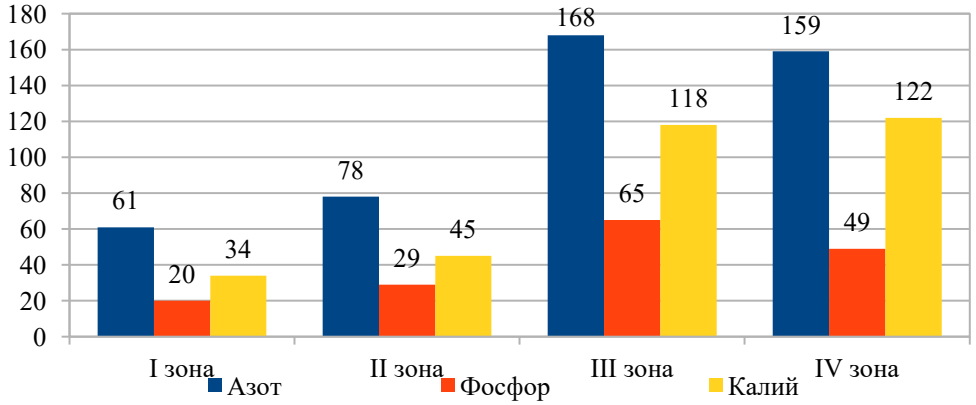

Рис. 1. Расходная часть баланса элементов питания в почве по почвенно-климатическим зонам Ставропольского края, кг д.в/га

При этом для калия, несмотря на такую же его фиксацию в труднодоступной форме, подобной вариабельности не наблюдается. Стабильно высокие значения выноса (96–98 %) во всех зонах свидетельствуют о низком уровне использования калийных удобрений в Ставропольском крае.

Учитывая данные факторы, можно перейти к сравнению расходной части между зонами. Так вынос элементов питания в III и IV зонах более чем в 2 раза выше, чем в I и II зонах. С одной стороны, это свидетельствует о более высокой урожайности сельскохозяйственных культур на фоне более благоприятных климатических условий. С другой стороны, немаловажным аспектом является увеличенная доля культур с повышенным выносом элементов питания в данных зонах. Так в I и II зонах полностью отсутствует возделывание сахарной свёклы, а площади, отводимые под посевы подсолнечника и кукурузы значительно уступают площадям в III и IV зонах.

На втором этапе работы была рассчитана расходная часть баланса (рис. 2), в формировании которой по зонам наблюдаются свои закономерности.

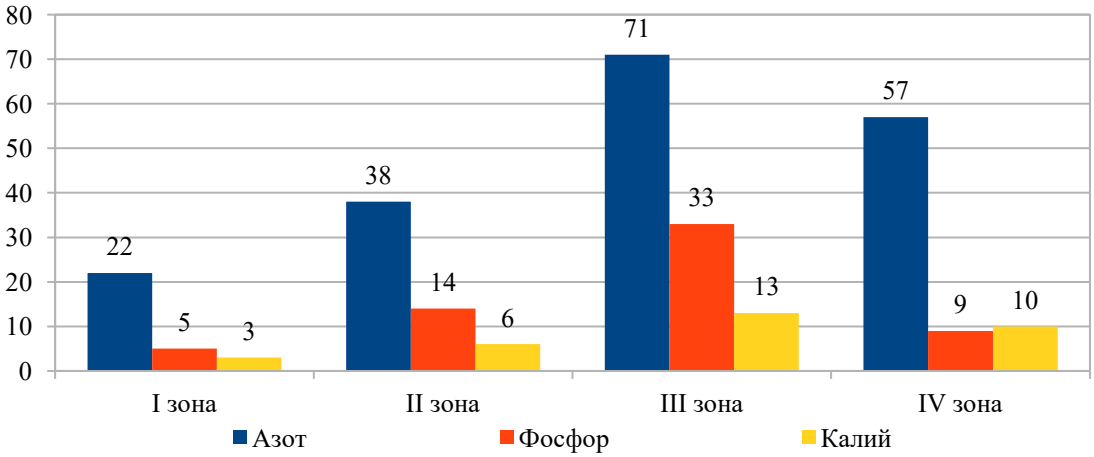

Рис. 2. Приходная часть баланса элементов питания в почве по почвенно-климатическим зонам Ставропольского края, кг д.в/га

Источники поступления элементов питания в почву сильно различаются. По азоту доля минеральных удобрений по зонам варьируется от 42 до 79 %, что напрямую отражает финансовые возможности агропредприятий. В менее экономически стабильных I и II зонах существенную роль играют несимбиотическая фиксация и поступление с осадками. Наибольший объем азотных подкормок приходится на посевы озимой пшеницы, поскольку

аграрии края традиционно считают этот прием наиболее эффективным.

По фосфору картина иная: 82–95 % элемента поступает исключительно из минеральных удобрений. Органические источники, представленные в основном соломой, не оказывают значительного влияния из-за крайне низкого содержания в ней фосфора – всего 0,07 %.

В I и II зонах фосфорные удобрения вносят преимущественно на посевы озимой пшеницы и кукурузы. В III зоне к этому списку еще добавляется сахарная свёкла, а в IV – картофель и овощи.

Наиболее контрастная ситуация складывается с калием. Здесь наблюдается резкий дисбаланс между зонами: в I и II зонах на минеральные удобрения приходится, соответственно, лишь 1 и 11 % поступления, в условиях практически полного отсутствия применения калийных удобрений он поступает в почву, преимущественно с атмосферными осадками, из семян и соломы. В то же время в III и IV зонах эти значения значительно выше – 61 и 54 %. Здесь активней применяют комплексные удобрения на посевах озимых культур, а также целенаправленно вносят калийные на посевы сахарной свёклы в больших дозах.

Определение объёмов выноса и поступления элементов питания в почву позволяет рассчитать их баланс (рис. 3).

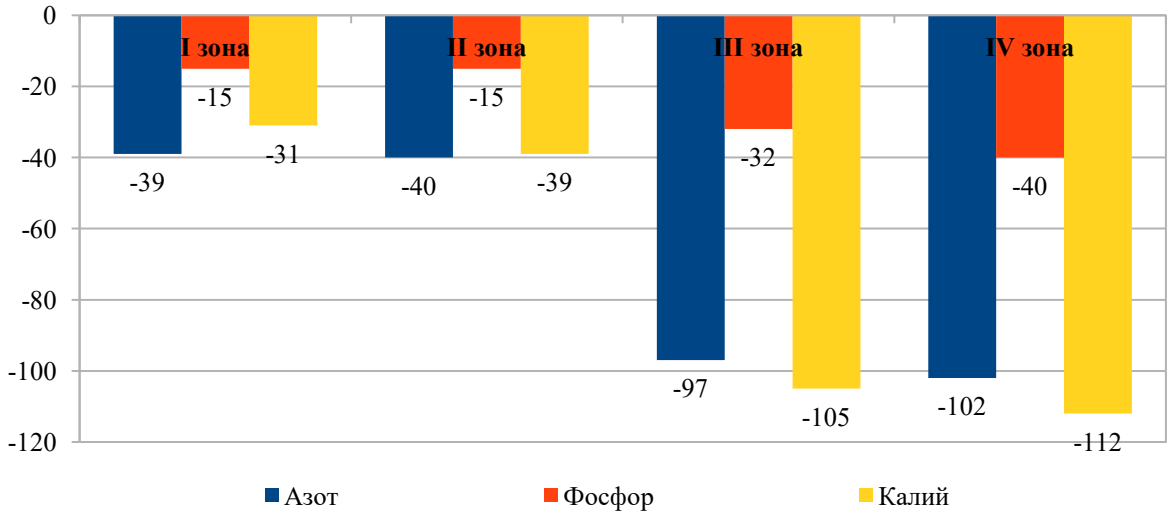

Рис. 3. Баланс элементов питания в почве по почвенно-климатическим зонам Ставропольского края, кг д.в/га

У всех почвенно-климатических зон Ставропольского края явно выражен отрицательный характер баланса элементов питания в почве. Дефицит азота, фосфора и калия в III и IV зонах более чем в 2 раза превосходит таковой в I и II зонах. Объясняется это структурой посевных площадей и объёмом применяемых удобрений.

Так между посевными площадями озимого ячменя, подсолнечника, кукурузы и сельскохозяйственных культур в категории прочие выявлена сильная отрицательная корреляционная связь с показателями баланса для всех трех элементов питания (r от -0,74 до -0,99). Для посевов сахарной свёклы установлена умеренная отрицательная корреляционная связь (r от -0,34 до-0,52).

Посевные площади под озимой пшеницей показали слабую положительную корреляционную связь с балансом азота и калия (r от 0,19 и 0,28), а также умеренную с балансом фосфора (r 0,34). Для площадей, занятых парами, корреляционная связь является сильной и прямой (r 0,98).

Баланс в I и II зонах критически зависит от озимой пшеницы и паров, которые совокупно составляют подавляющую (77-90 %) часть посевных площадей. В I зоне баланс азота на посевах озимой пшеницы составил 81 кг/га, фосфора – -26, калия – -56 кг/га. Во II зоне данные значения составляют -71, -22 и -57 кг/га соответственно. Это существенно выше итоговых показателей.

Использование паров в севооборотах позволяет частично компенсировать данный дефицит. В условиях парового поля отсутствует отчуждение фосфора с урожаем, что в рамках данного балансового расчета, не учитывающего динамику трансформации почвенных фосфатов в этот период, формально обеспечивает нулевую расходную статью по данному элементу. Это позволяет частично компенсировать общий зональный дефицит, накопленный за счет предшествующих культур. В то же время на них складывается положительный баланс по азоту и калию. В I зоне он составил, соответственно, +10 и +3 кг/га, а во II зоне – +11 и +5 кг/га, что привело к итоговому снижению дефицита.

В III и IV зонах ситуация с балансом элементов питания складывается несколько иначе. Несмотря на то, что в данных зонах объёмы применения минеральных удобрений выше, дефицитный баланс элементов питания ещё более выражен. Как в I и II зонах важную роль в структуре посевных площадей играют озимые зерновые культуры (46-55 %), но при этом использование паров в севооборотах практически не практикуется.

В итоге баланс по азоту и фосфору по II и IV зонам практически совпадает с балансом на посевах озимой пшеницы, который для азота составляет, соответственно, -98 и -104 кг/га, а для фосфора – -30 и -42 кг/га.

В балансе калия для III и IV зон важную роль играют посевы подсолнечника, сахарной свёклы и кукурузы. Их доля в структуре посевных площадей относительно озимых зерновых культур низка, но за счёт высоких коэффициентов выноса и большой урожайности, с одной стороны, и низкого уровня применения калийных удобрений, с другой, они существенно усиливают дефицит калия в почве.

Выводы. На основе проведенного мониторинга плодородия почв балансовым методом в почвенно-

климатических зонах Ставропольского края пришли к следующим выводам.

Во всех почвенно-климатических зонах Ставропольского края наблюдается значительный дефицит баланса макроэлементов (азота, фосфора и калия). Наиболее острый дефицит характерен для зон с лучшими условиями увлажнения (III и IV), где отрицательный баланс превышает показатели засушливых зон (I и II) более, чем в 2 раза.

Структура посевных площадей оказывает основное влияние на величину и характер баланса питательных веществ. В засушливых зонах (I и II) высокая доля паров (32–42 %) частично компенсирует дефицит элементов, особенно азота и калия, тогда как в зонах с достаточным увлажнением (III и IV) отсутствие паров и высокая доля культур с интенсивным выносом усугубляют отрицательный баланс.

Вынос питательных элементов урожаем является основной статьёй расхода во всех зонах, достигая 83–91 % по азоту, 66–87 по фосфору и 96–98 % по калию. Внесение минеральных удобрений неравномерно как между зонами, так и по видам элементов. Наибольшие объёмы внесения характерны для азотных удобрений, тогда как калийные удобрения применяют ограниченно, особенно в I и II зонах, где их доля в приходной части баланса не превышает 11 %.

Для улучшения баланса питательных веществ и повышения эффективности землепользования в регионе необходимы: внедрение дифференцированных систем удобрения с учётом почвенно-климатических особенностей зон, оптимизация структуры посевных площадей и расширение применения калийных и фосфорных удобрений, особенно при высокоинтенсивном земледелии.

Для снижения дефицита калия в почвах III и IV зон требуется увеличить объёмы применение калийных удобрений прежде всего на посевах кукурузы и подсолнечника. В качестве крайних мер при сохранении текущей негативной динамики в будущем следует снизить долю площади пропашных культур в пользу зерновых.

Литература

1. *Баланс* элементов питания в севооборотах в условиях биологизированного адаптивно-ландшафтного земледелия / Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова, Ф. А. Попов, Е. В. Светлакова // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 3. – С. 84-94. – DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94.
2. *Бобренко, И. А.* Баланс элементов питания в пахотных почвах лесостепи Омской области / И. А. Бобренко, О. А. Матвейчик // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4. – С. 23-28.
3. *Влияние* биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах / Л. М. Козлова, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 527-537. – DOI 10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537.
4. *Гречишкина, Ю. И.* Баланс элементов питания в почве под ведущими сельскохозяйственными культурами Ставропольского края / Ю. И. Гречишкина, В. П. Егоров, А. В. Матвиенко // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 7. – С. 5-8. – DOI 10.53859/02352451_2023_37_7_5.
5. *Система* земледелия нового поколения Ставропольского края : монография / В. В. Кулинцев, Е. В. Годунова, Л. И. Желнакова и др. – Ставрополь : АРГУС Ставропольского ГАУ, 2013. – 520 с.
6. *Сычев В. Г.* Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 328 с.
7. *Чекмарев, П. А.* Состояние плодородия почв и мероприятия по его повышению в 2012 г / П. А. Чекмарев // Агрохимический вестник. – 2012. – № 1. – С. 2-4.
8. *Dubey R. K., Dhaker R. C., Mundra S. L., Tiwari R. C., Dubey S. K., Dubey R.* Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017;6(8):3319-3331. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.396.
9. *Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M.* Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. Journal of Ecology. 2017;105(4):871-879. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789.
10. *Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A.* Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B − Soil & Plant Science. 2018;68(4):358-366. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134.
11. *International* Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017;6(8):3319-3331. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.396

SOIL FERTILITY MONITORING BY THE BALANCE METHOD IN THE SOIL AND CLIMATIC ZONES OF THE STAVROPOL TERRITORY

Sychev V.G.[1], Grechishkina Yu.I.[2], Mastepanenko M.A. [2], Matvienko A.V.[3]
[1]All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, str. Pryanishnikova, 31, 127434, Russia, ainfo@vniia-pr.ru
[2]Stavropol State Agrarian University"Stavropol State Agrarian University" 355017, Russia, Stavropol Territory, Stavropol, lane. Zootechnical 12, lnwg@mail.ru
[3]Stavropol branch of the Federal State Budgetary Institution "Agrochemical Service of Russia", 356241, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Nikonova str., 65, stavhim@mail.ru

The article presents the results of soil fertility monitoring using the balance method across soil-climatic zones of the Stavropol Territory for the 2023 harvest. The study covered four zones with different moisture regimes: extremely arid (I), arid (II), unsteady moisture (III), and sufficient moisture (IV). The aim was to assess the balance of the main nutrients – nitrogen, phosphorus, and potassium. Calculations were performed using an approved balance methodology based on state statistics and fertilizer use monitoring data. The calculations were automated using the specialized software "Nota". The study revealed a persistent negative balance of macronutrients in all zones. The most significant deficit was observed in the zones with better moisture supply (III and IV), where the values were more than twice as high as in the arid zones (I and II). The key factors determining the balance are the crop rotation structure and fertilizer application rates. In arid zones, a significant share of fallow land partially compensates for the deficit, while in zones III and IV, the absence of fallow and a high proportion of nutrient-demanding crops (sunflower, corn, sugar beet) exacerbate the negative balance, especially for potassium, the application of which remains critically low. It is concluded that differentiated fertilizer application systems tailored to zonal specifics are necessary to improve land-use efficiency and maintain soil fertility in the region.

Key words: soil fertility, balance of nutrients, nitrogen, phosphorus, potassium, Stavropol Territory, soil fertility monitoring.