

Научная статья
УДК 631.85

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ФОСФОРНОГО РЕЖИМА ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Роман Михайлович Стрельцов, Николай Васильевич Абрамов

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются процессы формирования фосфорного режима почвы при дифференцированном внесении удобрений с использованием систем спутниковой навигации. Проведен анализ влияния прецизионных технологий на распределение фосфора в почвенном профиле, а также на эффективность его усвоения растениями. Особое внимание уделено применению спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) для точного позиционирования сельскохозяйственной техники и автоматизированного регулирования доз внесения удобрений. Показано, что использование дифференцированных технологий позволяет учитывать пространственную неоднородность почвенного покрова, обеспечивая более рациональное использование фосфорных ресурсов, снижение затрат и уменьшение экологической нагрузки. В работе приведён анализ методов зонирования полей, агрохимического мониторинга и дистанционного зондирования, позволяющих корректировать нормы удобрений в зависимости от потребностей растений. Экспериментальные данные показали, что при дифференцированном внесении содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в почве на 25–30% выше по сравнению с традиционными методами, а коэффициент использования удобрений увеличивается почти в 1,5 раза. В фазу кущения уровень доступного фосфора достигал 82,8 мг/кг против 45,5 мг/кг в контрольных вариантах, что свидетельствует о повышении его усвояемости и равномерности распределения. Полученные результаты указывают на то, что использование дифференцированного внесения удобрений с применением спутникового мониторинга способствует формированию более устойчивых агроэкосистем, оптимизации агротехнологий и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Работа подчеркивает значимость внедрения систем точного земледелия в практику, а также предлагает научно обоснованные рекомендации для оптимизации фосфорного питания сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: фосфорный режим, дифференцированное внесение удобрений, спутниковая навигация, точное земледелие, прецизионные технологии, агрохимический мониторинг, зонирование полей, оптимизация удобрений, усвоение фосфора, урожайность сельскохозяйственных культур, почвенный профиль, адаптивное регулирование.

Для цитирования: Стрельцов Р.М., Абрамов Н.В. Исследование процесса формирования фосфорного режима при дифференцированном внесении удобрений с использованием систем спутниковой навигации // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 5 (111). С. 8-15.

Original article

RESEARCH OF THE PHOSPHORUS REGIME FORMATION DURING DIFFERENTIATED APPLICATION OF FERTILIZERS USING SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

Roman M. Strel'tsov, Nikolai V. Abramov

Nothorn Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen', Russia

Abstract. The processes of formation of the soil phosphorus regime with differentiated application of fertilizers using satellite navigation systems are considered in the article. The analysis of the effect of precision technologies on the distribution of phosphorus in the soil profile, as well as on the efficiency of its assimilation by plants is carried out. Special attention is paid to the use of satellite navigation (GPS, GLONASS, Galileo) for precise positioning of agricultural machinery and automated regulation of fertilizer application doses. The use of differentiated technologies is shown to let take into account the spatial heterogeneity of the soil cover, ensuring a more rational use of phosphorus resources, reducing costs and decrease the ecological load. An analysis of field zoning methods, agrochemical monitoring and remote sensing, which allow adjusting fertilizer rates depending on the needs of plants is presented in the work. The experimental data have shown that with differentiated application, the content of mobile phosphorus (P_2O_5) in the soil is 25-30% higher than with traditional methods, and the coefficient of fertilizer use increases by almost 1.5 times. In the tillering period, the level of available phosphorus reached 82.8 mg/kg against 45.5 mg/kg in the control variants, which indicates an increase in its digestibility and uniformity of distribution. The ob-

tained results indicate that the use of differentiated fertilizer application using satellite monitoring contributes to the formation of more stable agroecosystems, optimization of agricultural technologies and reduction of negative impact on the environment. The work highlights the importance of introducing precision farming systems into practice, and also offers scientifically sound recommendations for optimizing phosphorus nutrition of crops.

Keywords: phosphorus regime, differentiated application of fertilizers, satellite navigation, precision agriculture, precision technologies, agrochemical monitoring, field zoning, fertilizer optimization, phosphorus absorption, agricultural crop yields, soil profile, adaptive regulation.

For citation: Streltsov R.M., Abramov N.V. Research of the phosphorus regime formation during differentiated application of fertilizers using satellite navigation systems // Vestnik of the Bryansk Agricultural Academy. 2025. № 5 (111). Pp. 8-15.

Введение. Современное сельское хозяйство требует эффективного управления питательными веществами для повышения урожайности и сохранения плодородия почв. Фосфор – один из ключевых элементов минерального питания растений, однако его неравномерное распределение в почве и недостаточное усвоение могут снижать эффективность удобрений. Применение систем спутниковой навигации и технологий точного земледелия позволяет дифференцированно вносить фосфорные удобрения с учетом пространственной неоднородности почвы, что способствует более рациональному использованию ресурсов, снижению затрат и минимизации экологической нагрузки.

Анализ процесса формирования фосфорного режима почвы при дифференцированном внесении удобрений с использованием систем спутниковой навигации и оценка эффективности данного подхода для повышения урожайности сельскохозяйственных культур является целью данной работы.

Для достижения поставленной цели, в рамках работы будет решен ряд следующих задач:

- Анализ современных технологий точного земледелия и дифференцированного внесения удобрений с использованием спутниковой навигации.
- Исследование влияния дифференцированного внесения фосфорных удобрений на формирование фосфорного режима почвы и его усвоение растениями.
- Разработка рекомендаций по оптимизации фосфорного питания сельскохозяйственных культур на основе полученных данных.

Решение данных задач позволит в первую очередь оптимизировать применение фосфорных удобрений, снижая их перерасход и минимизируя негативное воздействие на окружающую среду.

Во-вторых, повысить эффективность фосфорного питания растений, что приведет к улучшению роста и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. А так же разработать научно обоснованные рекомендации для аграриев по внедрению технологий точного земледелия, что повысит экономическую эффективность хозяйственной деятельности.

Методы исследования. В данной работе применяются следующие основные методы исследования, такие как аналитический метод, направленный на изучение научной литературы, нормативных документов и современных исследований по фосфорному режиму почвы, точному земледелию и дифференцированному внесению удобрений.

Метод дистанционного зондирования и спутникового мониторинга – использование данных спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС) и аэрофотосъемки для зонирования полей и контроля пространственного распределения фосфора и экспериментальный метод – проведение полевых опытов по внесению фосфорных удобрений дифференцированным способом и последующий анализ их влияния на почву и урожайность [10].

Точное земледелие – это подход к сельскохозяйственному производству, основанный на сборе, обработке и анализе данных о состоянии почвы, посевах и окружающей среды с целью оптимизации агротехнологий. Одним из ключевых направлений точного земледелия является дифференцированное внесение удобрений, позволяющее учитывать неоднородность почвы и потребности растений.

Системы спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) используются для точного позиционирования сельскохозяйственной техники. Они позволяют в первую очередь автоматизировать процессы внесения удобрений, исключая ошибки оператора, создавать карты полей, отражающие агрохимическое состояние почвы. А так же осуществлять мониторинг урожайности и корректировать стратегии удобрения [3].

Дифференцированное внесение удобрений реализуется с учетом данных о пространственной изменчивости полей. Основные методы:

- Зональный метод – деление поля на участки с разными нормами внесения удобрений.
- Контурный метод – внесение удобрений по картам почвенного плодородия.

– Реальный метод (онлайн-внесение) – автоматическое регулирование доз удобрений в режиме реального времени на основе сенсорных данных.

Спутниковые снимки и данные с беспилотников позволяют оценивать биомассу растений, влажность почвы, уровень содержания питательных веществ. Это помогает прогнозировать потребности растений в фосфоре и других элементах питания.

Что же касается преимуществ точного земледелия и дифференцированного внесения удобрений, то тут можно выделить следующие аспекты:

- Экономия ресурсов – снижение расхода удобрений и топлива.
- Повышение урожайности – улучшение питания растений.
- Минимизация экологического воздействия – снижение вымывания удобрений в водоемы.
- Оптимизация агротехнологий – повышение рентабельности хозяйственной деятельности [12].

Таким образом, использование спутниковой навигации и точного земледелия вносит значительный вклад в повышение эффективности сельскохозяйственного производства, снижая затраты и увеличивая продуктивность агроэкосистем.

Результаты и их обсуждение. Рассматривая вопрос исследования влияния дифференцированного внесения фосфорных удобрений на формирование фосфорного режима почвы и его усвоение растениями, стоит отметить следующие, фосфор является одним из ключевых элементов питания растений, определяющим их рост, развитие и продуктивность. Важность фосфора обусловлена его ролью в энергетическом обмене, фотосинтезе и формировании корневой системы. Однако его усвоение растениями во многом зависит от форм фосфорных соединений в почве, уровня кислотности, наличия органического вещества и влаги. Одной из современных агротехнологий, позволяющих оптимизировать фосфорное питание растений, является дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации. Данный метод позволяет учитывать неоднородность почвенного покрова и потребности растений на различных участках поля, что повышает эффективность использования удобрений и снижает их потери.

Настоящее исследование посвящено анализу динамики фосфорного режима почвы при дифференцированном внесении фосфорных удобрений и его влиянию на усвоение фосфора растениями. Основное внимание уделяется изучению изменений содержания подвижного фосфора (P_2O_5) в почве на разных этапах вегетации яровой пшеницы в течение 2022 и 2024 годов.

Исследование проведено на основе экспериментальных данных, включающих содержание подвижного фосфора в почве на разных высотах и в различные фазы вегетации. В качестве объектов изучения выбраны почвенные пробы, взятые перед посевом, в фазу кущения и перед уборкой урожая. Анализ данных позволяет определить закономерности изменения фосфорного режима почвы под влиянием различных систем удобрения.

Для исследования использованы следующие показатели:

- содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в почве (мг/кг);
- динамика изменений концентрации фосфора в течение вегетации;
- сравнительный анализ данных за 2022 и 2024 годы для выявления долгосрочных тенденций.

Перейдем к результатам исследования, в первую очередь необходимо сказать о влиянии дифференцированного внесения фосфорных удобрений на содержание P_2O_5 в почве.

Таблица 1 - Динамика содержания подвижного фосфора (P_2O_5) в почве в различные фазы вегетации (мг/кг), 2022 - 2024 гг.

Вариант опыта	Перед посевом (2022)	В фазу кущения (2022)	Перед уборкой (2022)	Перед посевом (2024)	В фазу кущения (2024)	Перед уборкой (2024)
Контроль (без удобрений)	31,89	45,52	47,80	40,23	59,12	61,50
Традиционное внесение	35,40	50,31	55,20	44,10	65,20	70,11
Дифференцированное внесение	42,71	82,80	93,10	55,34	94,60	101,21

Перед посевом уровень содержания подвижного фосфора в почве варьировался в зависимости от варианта удобрения. В контрольных образцах, где удобрения не вносились или использовались равномерно, уровень P_2O_5 составлял 31,89 мг/кг. В вариантах с дифференцированным внесением удобрений содержание фосфора перед посевом было выше и достигало 42,71 мг/кг. Этот факт свидетельствует о том, что применение технологий точного земледелия способствует повышению уровня

доступного фосфора в почве, что создает благоприятные условия для роста растений с самого начала вегетации [8].

Представленные в таблице данные показывают, что при дифференцированном внесении удобрений содержание подвижного фосфора перед посевом выше на 25-30% по сравнению с контрольным вариантом. В фазу кущения отмечается значительное увеличение уровня P_2O_5 , что подтверждает эффективность данного подхода.

Что же касается динамики изменения P_2O_5 в течение вегетационного периода, то тут фаза кущения характеризуется активным поглощением фосфора растениями, что приводит к перераспределению элемента в почве. В контрольных вариантах, где удобрения не вносились или использовались традиционным способом, содержание P_2O_5 в этот период увеличилось незначительно – до **45,52 мг/кг**. В то же время в вариантах с дифференцированным внесением удобрений уровень подвижного фосфора достигал **82,8 мг/кг**, что указывает на более равномерное распределение элемента и его доступность для растений. Это подтверждает эффективность применения систем точного земледелия, которые позволяют вносить удобрения в нужных количествах на участки с дефицитом питательных веществ.

Перед уборкой урожая содержание P_2O_5 в почве снизилось, что связано с активным потреблением фосфора растениями и возможным вымыванием элемента в более глубокие слои почвы. В контрольных вариантах уровень P_2O_5 составил 47,8 мг/кг, тогда как в вариантах с дифференцированным внесением удобрений он достиг 93,1 мг/кг. Это свидетельствует о лучшей доступности фосфора для растений и его постепенном высвобождении из удобрений в течение всего вегетационного периода.

Анализ данных за два года показал, что в 2024 году содержание подвижного фосфора в почве перед посевом было на 25–30% выше, чем в 2022 году. Это может быть связано с накоплением остаточных удобрений, улучшением структуры почвы и более эффективным использованием питательных веществ благодаря применению технологий точного земледелия.

В фазу кущения и перед уборкой урожая уровень P_2O_5 оставался стабильным, что говорит о том, что система дифференцированного внесения удобрений позволяет поддерживать баланс питательных веществ в почве в течение нескольких лет. Это также подтверждает важность комплексного подхода к управлению агрохимическим состоянием почвы с учетом пространственной неоднородности полей.

Таблица 2 - Эффективность усвоения фосфора растениями в зависимости от метода внесения удобрений

Вариант опыта	Усвоение P_2O_5 растениями в фазу кущения (%)	Усвоение P_2O_5 растениями перед уборкой (%)	Коэффициент использования P_2O_5 (%)
Контроль (без удобрений)	25,6	40,8	18,4
Традиционное внесение	32,4	50,2	24,6
Дифференцированное внесение	48,7	66,9	38,2

Из данных таблицы видно, что дифференцированное внесение удобрений увеличивает усвоение фосфора растениями более чем на 30% по сравнению с традиционным методом, а коэффициент использования удобрений возрастает почти в 1,5 раза.

Таблица 3 - Экономическая эффективность различных методов внесения удобрений

Вариант опыта	Расход удобрений (кг P_2O_5 /га)	Урожайность (ц/га)	Затраты на удобрения (руб./га)	Экономическая прибыль (руб./га)
Контроль (без удобрений)	0	24,5	0	0
Традиционное внесение	80	35,2	4 500	9 300
Дифференцированное внесение	60	42,8	3 800	12 700

Дифференцированное внесение удобрений позволяет снизить расход фосфора на 25%, увеличить урожайность на 7,6 ц/га по сравнению с традиционным внесением и повысить прибыль на 3 400 руб./га.

Эти данные подтверждают, что использование систем точного земледелия и спутниковой навигации повышает эффективность применения удобрений, снижает затраты и увеличивает урожайность.

Таким образом, результаты исследования показывают, что дифференцированное внесение фосфорных удобрений способствует:

- Повышению обеспеченности почвы подвижным фосфором в начале вегетационного периода;
- Улучшению условий для усвоения фосфора растениями за счет равномерного его распределения;
- Оптимизации затрат на удобрения благодаря точному дозированию;
- Снижению потерь фосфора за счет его постепенного высвобождения и уменьшения вымывания из почвы.

Таким образом, использование технологий точного земледелия и систем спутниковой навигации при внесении удобрений позволяет не только повысить эффективность агрохимического воздействия на почву, но и создать предпосылки для устойчивого повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Далее что касается вопроса разработки рекомендаций по оптимизации фосфорного питания сельскохозяйственных культур на основе полученных данных, то тут следует отметить следующее.

Фосфорное питание играет ключевую роль в обеспечении высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Однако эффективность его усвоения растениями зависит от множества факторов, включая содержание доступного фосфора в почве, особенности его миграции в агроценозе, методы и дозы внесения удобрений, а также условия внешней среды.

На основе проведенного исследования были выявлены закономерности изменения содержания подвижного фосфора в почве при дифференцированном внесении удобрений. Эти данные позволяют разработать рекомендации по оптимизации фосфорного питания сельскохозяйственных культур, направленные на повышение урожайности и улучшение эффективности использования удобрений.

Основные направления оптимизации включают в себя:

- Учет динамики фосфорного режима почвы для корректировки норм внесения удобрений.
- Оптимизацию сроков и способов внесения фосфорных удобрений с учетом потребностей растений.
- Использование технологий точного земледелия для более рационального распределения удобрений по полю.
- Применение биологических и химических методов повышения доступности фосфора для растений.

Далее подробно рассмотрим каждое из этих направлений и предложим конкретные меры по улучшению фосфорного питания.

Учет динамики фосфорного режима почвы. Результаты анализа показали, что содержание подвижного фосфора в почве существенно варьируется в зависимости от фазы вегетации и метода внесения удобрений.

Перед посевом уровень P_2O_5 был ниже, чем в последующие фазы роста растений, однако к фазе кущения наблюдалось его значительное увеличение. Это свидетельствует о высокой потребности растений в фосфоре на данном этапе, что должно учитываться при планировании удобрений.

Перед уборкой уровень P_2O_5 снижался, но оставался выше контрольных значений, что говорит о постепенном высвобождении запасов фосфора в течение вегетационного периода.

Что же касается рекомендаций, то они выглядят следующим образом, необходимо:

- Проводить регулярный агрохимический анализ почвы перед посевом, в фазу кущения и перед уборкой для оценки доступного фосфора и корректировки доз удобрений.
- Использовать карты фосфорного обеспечения почвы для оценки пространственной изменчивости и планирования внесения удобрений по участкам.
- Внедрять системы мониторинга почвы с применением дистанционных и сенсорных технологий для более точного прогнозирования изменений фосфорного режима.

Следующим направлением достойным внимания представляется вопрос оптимизации сроков и способов внесения фосфорных удобрений. Фосфорные удобрения могут вноситься различными способами, включая основное внесение, предпосевное удобрение, подкормки в период вегетации и локальное внесение при посадке.

Анализ показал, что наиболее эффективным является дифференцированное внесение фосфора в зависимости от фазы вегетации. В фазу кущения наблюдалось увеличение P_2O_5 , что свидетельствует о высокой усвояемости удобрений. Перед уборкой содержание фосфора в почве снижалось, что подтверждает его активное потребление растениями.

Таким образом рекомендации можно сформулировать в следующем виде:

– Основное внесение – проводить осенью или ранней весной с учетом анализа почвы. На участках с низким содержанием фосфора – применять фосфорсодержащие удобрения в дозах от 50 до 80 кг P_2O_5 /га.

– Локальное внесение при посеве – эффективно для культур с высокой потребностью в фосфоре (зерновые, кукуруза, подсолнечник). Рекомендуется использовать удобрения с быстрым высвобождением (суперфосфат, аммофос).

– Подкормки в фазу кущения – вносить 20–40 кг P_2O_5 /га в растворимой форме для поддержания активного роста.

– При необходимости проводить листовые подкормки фосфором в случае выявления недостатка (признаки: замедленный рост, пурпурный оттенок листьев).

Далее рассмотрим практику использования технологий точного земледелия. Применение спутниковых и геоинформационных систем позволяет учитывать пространственную неоднородность почвы и более точно регулировать дозировки удобрений.

Результаты исследования показали, что при дифференцированном внесении удобрений содержание P_2O_5 было более равномерным, что снижает вероятность локального избытка или дефицита фосфора.

На основании проведенного анализа и имеющихся данных, можно сформулировать следующие рекомендации, касательно использования технологий точного земледелия:

– Использовать электронные карты полей, созданные на основе агрохимического анализа почвы, для планирования внесения удобрений.

– Внедрять автоматизированные системы дифференцированного внесения удобрений, позволяющие изменять дозировку удобрений в зависимости от условий участка.

– Применять спутниковый мониторинг и дроны для контроля состояния посевов и корректировки норм фосфорного питания.

Без внимания нельзя не оставить методы повышения доступности фосфора для растений. Фосфорные удобрения имеют разную доступность в почве, так как часть соединений фиксируется в труднорастворимые формы. Оптимизация доступности фосфора может осуществляться с помощью химических и биологических методов [7].

Рекомендации по данному вопросу носят следующий характер:

– Использование фосфор-мобилизующих бактерий (*Pseudomonas*, *Bacillus*), которые разлагают нерастворимые формы фосфора и делают его доступным для растений.

– Применение органических удобрений (навоз, компост), способствующих мобилизации фосфора и улучшению структуры почвы.

– Регулирование кислотности почвы – при высоком pH рекомендуется применять серу или аммонийные удобрения для подкисления, при низком – известкование.

– Использование комплексных удобрений с содержанием не только фосфора, но и микроэлементов (цинк, бор), улучшающих его усвоение.

Таким образом оптимизация фосфорного питания сельскохозяйственных культур требует комплексного подхода, включающего анализ динамики содержания P_2O_5 в почве и его доступности для растений; дифференцированное внесение удобрений с учетом фаз роста и особенностей почвы; использование современных технологий точного земледелия, а так же применение биологических и химических методов повышения доступности фосфора.

Предложенные рекомендации позволяют не только повысить урожайность сельскохозяйственных культур, но и снизить затраты на удобрения, минимизировать их потери и уменьшить негативное влияние на окружающую среду. Внедрение этих мер обеспечит рациональное использование фосфорных ресурсов и повышение устойчивости агроэкосистем в долгосрочной перспективе.

В ходе исследования установлено, что дифференцированное внесение фосфорных удобрений с использованием спутниковой навигации существенно влияет на фосфорный режим почвы, повышая доступность P_2O_5 для растений и оптимизируя его распределение в почвенном профиле. Анализ экспериментальных данных показал, что перед посевом уровень подвижного фосфора в контрольных вариантах составлял 31,89 мг/кг, тогда как при использовании технологий точного земледелия этот показатель достигал 42,71 мг/кг, что свидетельствует о более благоприятных условиях для начального роста растений.

В фазу кущения активное потребление фосфора растениями привело к увеличению содержания P_2O_5 в почве до 45,52 мг/кг в контрольных вариантах, тогда как при дифференцированном внесении удобрений данный показатель составил 82,8 мг/кг, что более чем в 1,8 раза превышает традиционные методы. Перед уборкой урожая содержание подвижного фосфора снизилось, но сохранялось на

уровне 93,1 мг/кг в вариантах с точным внесением удобрений против 47,8 мг/кг в контрольных образцах, что подтверждает эффективность постепенного высвобождения элемента и его доступность для растений в течение всего вегетационного периода.

Сравнение данных за 2022 и 2024 годы выявило долгосрочные положительные тенденции: содержание P_2O_5 перед посевом в 2024 году оказалось на 25–30% выше, чем в 2022 году, что свидетельствует о накоплении остаточного фосфора в почве и повышении ее плодородия благодаря применению дифференцированного удобрения. Внедрение данных технологий позволило не только снизить затраты на удобрения за счет точного дозирования, но и минимизировать их потери за счет более равномерного распределения и сокращения вымывания в более глубокие слои почвы.

Что же касается повышения эффективности усвоения фосфора растениями, то в фазу кущения содержание P_2O_5 в почве достигло максимальных значений. При традиционном внесении уровень подвижного фосфора составил 50,31 мг/кг, а при дифференцированном – 82,8 мг/кг. Это указывает на то, что точное дозирование удобрений с учетом пространственной неоднородности почвы способствует лучшему усвоению питательных веществ растениями. Кроме того, коэффициент использования удобрений в этом варианте составил 38,2%, что значительно выше, чем при традиционном внесении (24,6%).

Таким образом, использование технологий точного земледелия и спутникового мониторинга при внесении фосфорных удобрений обеспечивает повышение эффективности фосфорного питания растений, увеличение урожайности и снижение экологической нагрузки, создавая предпосылки для устойчивого роста сельскохозяйственного производства.

Что же касается дальнейших перспектив исследования, то текущие результаты доказывают, что дифференцированное внесение фосфорных удобрений с использованием спутниковой навигации является эффективной технологией, позволяющей одновременно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур, сократить затраты на удобрения и снизить нагрузку на окружающую среду. Основные преимущества данного метода включают:

- увеличение доступности фосфора для растений на 25–30%;
- сокращение расхода удобрений на 25% при сохранении высокой урожайности;
- рост коэффициента использования удобрений на 30% по сравнению с традиционными методами;
- повышение урожайности на 7,6 ц/га;
- увеличение экономической прибыли на 3 400 руб./га.

Выводы. Применение точного земледелия и современных методов мониторинга почвы позволяет добиться оптимального баланса между производственной эффективностью и экологической безопасностью.

В перспективе дальнейших исследований можно рассмотреть разработку математических моделей прогнозирования потребности растений в фосфоре с учетом сезонных и погодных факторов, а также дальнейшую оптимизацию норм внесения удобрений на основе многолетних данных мониторинга почвы и интеграцию спутниковых данных с наземными сенсорами для более точного контроля за состоянием почвы и растений.

Полученные результаты могут быть полезны для аграриев, планирующих внедрение систем точного земледелия, а также для научных работников, занимающихся разработкой новых методов управления фосфорным питанием растений.

Список источников

1. Абрамов Н.В., Семизоров С.А., Шерстобитов С.В. Создание электронных карт полей: учеб. пособие. Тюмень, 2019. 84 с.
2. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковых навигационных систем // Сб. ст. Тюмень, 2018. С. 38–47.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 4-е изд., перераб. и доп. М., 1979. 415 с.
4. Синещеков В.Е., Крупская Т.Н. Содержание подвижного фосфора в почве в зернопаровом севообороте при разных уровнях химизации в лесостепи Новосибирского Приобья // Агрохимия. 2020. № 10. С. 3–8.
5. Синещеков В.Е., Крупская Т.Н. Содержание подвижного фосфора в почве в зернопаровом севообороте при разных уровнях химизации в лесостепи Новосибирского Приобья // Агрохимия. 2020. № 10. С. 3–8.
6. Теучеж А.А. Роль фосфора в развитии живых организмов // Экологический вестник Северного Кавказа. 2018. № 1. С. 50–53.

7. Титова В.И. К вопросу о рациональном использовании почв с очень высоким содержанием фосфора в интенсивном земледелии // Агрохимический вестник. 2017. № 1. С. 2-6.
8. Толстоусов В.П. Удобрение и качество урожая. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1987. С. 5–28.
9. Убугунов Л.Л., Энхтуяа Ю., Меркушева М.Г. Содержание подвижных минеральных соединений фосфора в каштановых почвах Северной Монголии при использовании разных форм фосфорита // Почвоведение. 2015. № 6. С. 731-739.
10. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Обеспеченность чернозёмных почв подвижным фосфором в агроландшафтах ЦЧЗ // Центральный научный вестник. 2019. № 3 (68). С. 22-24.
11. Чулков В.А., Крутиков Ю.О. Практическое применение данных агрохимического обследования почв на наличие подвижного фосфора в технологиях точного земледелия // Вестник биотехнологии. 2019. № 1 (18). С. 1-10.
12. Шерстобитов С.В., Абрамов Н.В. Урожайность яровой пшеницы при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме off-line [Электронный ресурс] // Известия ОГАУ. 2019. № 2 (76). – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urozhaynost-yarovoy-pshenitsy-pri-differentsirovannom-vnesenii-azotnyh-udobreniy-v-rezhime-off-line>. - 01.04.2025 г.

Информация об авторах:

Р.М. Стрельцов - аспирант, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья.

Н.В. Абрамов - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения и агрохимии, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья.

Information about the authors:

R.M. Strel'tsov - Postgraduate student at the North Trans-Urals State Agrarian University.

N.V. Abramov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry at the North Trans-Urals State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24.04.2025, одобрена после рецензирования 15.06.2025, принята к публикации 24.08.2025.

The article was submitted 24.04.2025, approved after reviewing 15.06.2025, accepted for publication 24.08.2025.

© Стрельцов Р.М., Абрамов Н.В.