

Поздеев Илья Александрович

Студент, 1 курс магистратуры

Факультет «Агрохимии и защиты растений»

Кубанский государственный аграрный

университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Аббасова Амина Айдыновна

Студентка, 1 курс магистратуры

Факультет «Агрохимии и защиты растений»

Кубанский государственный аграрный

университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Ильина Евгения Игоревна

Студентка, 1 курс магистратуры

Факультет «Агрохимии и защиты растений»

Кубанский государственный аграрный

университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар

ФОСФОРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И ОТЗЫВЧИВОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Аннотация

В статье обобщены результаты многолетних стационарных исследований фосфорного режима черноземных почв и отзывчивости зерновых культур на фосфорные удобрения. Проанализированы данные за полувековой период наблюдений, включая 48-летние исследования в засушливой зоне Поволжья, 25-летние опыты на выщелоченном черноземе и результаты Географической

сети опытов с удобрениями. Показано, что систематическое внесение фосфорных удобрений сопровождается существенным увеличением содержания подвижного фосфора в почве – с 35–38 мг/кг до 200–371 мг/кг в зависимости от дозы, однако эффективность использования фосфора растениями остается низкой (25–45% в зависимости от региона). Установлен синергетический эффект азота на усвоение фосфора – окупаемость фосфорных удобрений возрастает до 22–39 кг зерна/кг P₂O₅ при внесении высоких доз азота (до 200 кг/га). Обоснована необходимость дифференцированного подхода к применению фосфорных удобрений с учетом исходного содержания подвижного фосфора, предшественника и влагообеспеченности вегетационного периода.

Ключевые слова: *фосфорный режим почвы, чернозем, подвижный фосфор, фракционный состав фосфатов, зерновые культуры, коэффициент использования фосфора, окупаемость удобрений.*

Pozdeev Ilya Alexandrovich

Student, 1st year master's program

Faculty of Agrochemistry and Plant Protection

Kuban State Agrarian

I.T. Trubilin University, Krasnodar

Abbasova Amina Aidynovna

Student, 1st year of the master's program

Faculty of Agrochemistry and Plant Protection

Kuban State Agrarian

I.T. Trubilin University, Krasnodar

Ilyina Evgeniya Igorevna

Student, 1st year of the master's program
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian
I.T. Trubilin University, Krasnodar

PHOSPHORUS REGIME OF SOIL AND THE RESPONSIVENESS OF GRAIN CROPS TO PHOSPHORUS FERTILIZERS

Annotation

The article summarizes the results of long-term stationary studies of the phosphorus regime of chernozem soils and the responsiveness of grain crops to phosphorus fertilizers. The data for a half-century of observations, including 48 years of research in the arid zone of the Volga region, 25 years of experiments on leached chernozem, and the results of the Geographical Network of Fertilizer Experiments, are analyzed. It has been shown that the systematic application of phosphorus fertilizers is accompanied by a significant increase in the content of mobile phosphorus in the soil – from 35–38 mg/kg to 200–371 mg/kg depending on the dose, but the efficiency of phosphorus use by plants remains low (25–45% depending on the region). A synergistic effect of nitrogen on phosphorus uptake has been established – the payback of phosphate fertilizers increases to 22–39 kg of grain/kg P₂O₅ when applying high doses of nitrogen (up to 200 kg/ha). The need for a differentiated approach to the use of phosphate fertilizers is substantiated, taking into account the initial content of mobile phosphorus, precursor and moisture supply of the growing season.

Keywords: *phosphorus regime of soil, chernozem, mobile phosphorus, fractional composition of phosphates, grain crops, phosphorus utilization rate, payback of fertilizers.*

Фосфор является одним из ключевых макроэлементов, лимитирующих продуктивность зерновых культур на черноземных почвах. Несмотря на значительные валовые запасы фосфора в черноземах (3–4 т/га в пахотном горизонте), содержание его подвижных форм, доступных растениям, часто составляет лишь 1–2% от общего количества. Эта проблема приобретает особую актуальность в свете наблюдаемой тенденции к снижению естественного плодородия почв и необходимости повышения эффективности минеральных удобрений.

В длительном стационарном опыте, включенном в реестр Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации, за 25 лет прямого действия фосфорных удобрений в почву поступило до 2100 кг P_2O_5 на гектар севооборотной площади. За этот период содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном Прикубанской низменности возросло с 35–38 мг/кг на неудобренных фонах до 244–371 мг/кг при максимальной дозе фосфорных удобрений. В Челябинском НИИСХ за 25 лет прямого действия фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора на удобренных фонах в начале опыта возросло с 67 мг/кг до 200 мг/кг на фоне максимальной дозы фосфорных удобрений (P_3). Особого внимания заслуживают данные, полученные в условиях длительного стационарного опыта на южном черноземе степи Поволжья. По результатам 48-летних наблюдений, содержание валового фосфора изменилось незначительно (колебания в пределах естественной вариабельности), в то время как систематическое удобрение почвы привело к увеличению выноса фосфора с урожаями сельскохозяйственных культур.

Наряду с количественным увеличением подвижного фосфора, длительное применение удобрений изменяет соотношение различных фракций минеральных фосфатов в почве. По данным Е.Т. Наумченко и К.Ю. Разумовой (2025), в пятипольном севообороте длительного стационарного опыта содержание минеральных фосфатов в слое почвы 0–20 см контрольного варианта оставалось на уровне 320–390 мг/кг почвы вне

зависимости от степени агрогенной нагрузки (10, 45 и 50 лет возделывания культур в севообороте). Длительное систематическое внесение минеральных и органических удобрений с ежегодной нагрузкой N₄₂P₄₈ и N₂₄P₃₀ + 4,8 т навоза на 1 га севооборотной площади сопровождалось увеличением количества минеральных форм фосфора до 230 мг/кг относительно контроля и на 80–140 мг/кг почвы в сравнении с содержанием в конце 2-й ротации пятипольного севооборота. Повышение степени агрогенной нагрузки способствовало перераспределению фракций фосфатного фонда в сторону увеличения наиболее активных фракций. После 55 лет совместного применения азотно-фосфорных удобрений и навоза доля фракции рыхлосвязанных фосфатов увеличилась в 2,1 раза, фосфатов алюминия – на 13,5–15,5% по сравнению с 10-летним периодом, доля Fe-P снизилась на 8,5–9,2%, труднорастворимых фосфатов кальция – на 6,0%. Одновременно с этим увеличилось в 3 раза содержание подвижных форм фосфора в почве как относительно контроля, так и по сравнению с первым десятилетием.

Так, первые три фракции минерального фосфора (рыхлосвязанные фосфаты, фосфаты алюминия и железа) служат ближайшим резервом питания растений фосфором, а интенсивность перехода фосфат-иона в почвенный раствор повысилась от 0,9 до 0,22–0,26 мг/л, что соответствует высокой степени их подвижности.

Значительный вклад в понимание фосфорного режима вносят результаты исследований ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, проведенных в звеньях зернопропашного севооборота. От внесения растительных остатков и минеральных удобрений в почву возрастало в сравнении с контролем содержание подвижного фосфора на 3,7–21,9 мг/100 г в зависимости от культуры. В почву поступало в среднем по вариантам опыта 7,3 т/га надземных растительных остатков подсолнечника, 5,7 т/га клецвины, 3,7 т/га сои, 6,5 т/га пшеницы озимой по подсолнечнику, 7,9–8,0 т/га – по клецвине и сое. С растительными остатками после их минерализации в почву возвращается 42–57 кг/га азота, 13–26 кг/га фосфора, 30–208 кг/га

калия, что существенно влияет на последующее фосфорное питание зерновых культур.

Эффективность фосфорных удобрений на озимой пшенице тесно связана с обеспеченностью почвы подвижным фосфором и дозами азотных удобрений. А.Н. Налюхин и соавторы (2024) представили результаты международных сопоставительных исследований эффективности фосфорных удобрений в длительных полевых опытах в России, Великобритании и Китае. Во всех полевых опытах наблюдалось увеличение разрыва в урожайности между вариантами НК и НК + P с течением времени. Это обусловлено, с одной стороны, значительным снижением содержания фосфора в фоновом варианте НК, где вынос фосфора значительно превышал контроль, а с другой – существенным увеличением содержания P_2O_5 в почве при положительном балансе. Коэффициент использования фосфора из удобрений в среднем составил 25–27% в длительном опыте на Опытной станции ВНИИ агрохимии, 25–41% – на станции Ротамстед (Великобритания), и 45% – на Китайской национальной базе мониторинга почвенного плодородия. При этом окупаемость фосфорных удобрений в опытах на станции Ротамстед составила 22–39 кг зерна/кг P_2O_5 при возделывании озимой пшеницы в севообороте. Главным методом повышения окупаемости в данном случае являлось использование высоких доз азота – до 200 кг/га.

В условиях лугово-каштановой тяжелосуглинистой почвы Дагестана (исследования 2022–2024 гг.) на перспективных сортах озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ имени П.П. Лукьяненко максимальную площадь листовой поверхности показал сорт Тимирязевка 150 (44,2 тыс. $m^2/га$) и сорт Бумба (43,7 тыс. $m^2/га$). Наиболее высокие показатели чистой продуктивности фотосинтеза составили 4,4 $г/м^2 \cdot сут$ у сорта Тимирязевка 150 и 4,3 $г/м^2 \cdot сут$ у сорта Бумба при внесении дозы минеральных удобрений N180P117. Урожайность зерна в среднем за три года у лучших сортов – 6,71 и 6,50 т/га соответственно – получена в варианте на планируемую урожайность 6,0 т/га.

В длительном стационарном опыте на южном черноземе степи Поволжья, охватывающем период с 1968 по 2023 гг., выявлены особенности действия и последствия азотно-фосфорных удобрений на яровой пшенице. Самые высокие прибавки урожая зерна от прямого действия удобрений получали в условиях увлажненного вегетационного периода, тогда как в засушливых условиях действие удобрений снижалось. Повышение дозы азота с N60 до N80–90 было неэффективным. Доказано, что азотные и фосфорные удобрения, вносимые под предшествующую культуру (озимую пшеницу), оказывали положительное последствие на яровой пшенице. Размер прибавок зависел от влагообеспеченности вегетационного периода, при этом в формировании урожая зерна яровой пшеницы в засушливой черноземной степи большую роль играют гидротермические условия мая и июня.

В составе удобрений для эффективного роста растений рекомендовано использовать соотношение N:P:K, обеспечивающее стартовое развитие корневой системы. В стрессовых засушливых условиях наряду с основным и припосевным внесением фосфорных удобрений рекомендуется их локальное внесение с целью концентрации фосфора во влажном слое почвы (10–20 см) вблизи корневой системы растений.

Ключевым принципом оптимизации фосфорного питания является дифференцированный подход, основанный на исходном содержании подвижного фосфора в почве. Н.М. Тишков (2024) на основе данных стационарного полевого опыта ВНИИМК показал оптимальное содержание в черноземе выщелоченном весной для подсолнечника, клещевины, сои, пшеницы озимой нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия и степени подвижности фосфатов, выше которого применение удобрений под указанные культуры неэффективно. Подсолнечник, клещевина и соя как предшественники пшеницы озимой оказывают различное действие на зависимость урожайности пшеницы озимой от содержания весной в черноземе выщелоченном подвижного фосфора.

Существенным методом повышения эффективности фосфорных удобрений является известкование кислых почв до слабокислой реакции, использование цинковых микробиопрепаратов, а также фосфатмобилизирующих микроорганизмов.

В лесостепи Западной Сибири на лугово-черноземной почве (исследования 2021–2023 гг.) наиболее урожайным был сорт яровой пшеницы Элемент 22 (3,80 т/га в среднем на контроле). Результативно использование комплекса препаратов «Азотовит» + «Фосфатовит» + «Гумат К» (прибавки у сорта Элемент 22 – 0,64 т/га, ОмГАУ 100 – 0,56 т/га, Столыпинская 2 – 0,57 т/га). При использовании «Фосфатовита» содержание подвижного фосфора несколько превышало варианты без него на 6–15 мг/кг. Употребление препаратов привело к относительному увеличению использования элементов из почвы: P_2O_5 у сорта Элемент 22 – на 20–27%, K_2O на 13–25%; у сорта Столыпинская 2 – на 22–36%, K_2O на 7–21%; у сорта ОмГАУ 100 – на 7,7–23,1%, K_2O на 6,7–20%.

По данным ФИЦ «Полевые культуры», грамотное питание по фазам роста повышает урожайность на 12–18% по сравнению с одноразовым внесением удобрений. В фазу всходов ключевым элементом является фосфор (P) совместно с цинком (Zn) и марганцем (Mn). Рекомендуется стартовое внесение NPK 10-40-10 при посеве (100 кг/га) и микроудобрения по листу: цинк + бор (1–2 л/га). В фазу цветения и налива зерна потребность в фосфоре и калии достигает 100%.

Длительное применение фосфорных удобрений сопряжено с риском «зафосфачивания» почв – избыточного накопления подвижного фосфора, которое не только неэффективно с экономической точки зрения, но и может представлять экологическую опасность (вынос фосфора в поверхностные воды и эвтрофикация водоемов). Дифференцированный подход, предусматривающий прекращение внесения фосфорных удобрений при достижении оптимального уровня содержания подвижного фосфора, является важнейшим принципом экологически безопасного земледелия.

В 2025 году опубликован ряд работ, посвященных перспективам использования нанофосфорных удобрений (NPFs) в растениеводстве. Исследователи из Университета Вероны и Падуи (Италия) разработали наноразмерное фосфат железа (FePO_4) удобрение (FePNF), эффективность которого сопоставима с тройным суперфосфатом. Несмотря на более низкую доступность фосфора в почве по данным лабораторных анализов, растения, обработанные FePNF, достигли сопоставимых биомассы, развития корней и уровня хлорофилла, что указывает на уникальный механизм действия наноудобрений, обеспечивающий высвобождение фосфора в биодоступной форме.

В 2025 году компания «ЕвроХим» представила инновационное фосфорное удобрение Cropflex NPS 12-40+10S, содержащее две формы серы, предназначенное для стартового питания зерновых культур. Эффективность новинки была подтверждена серией полевых испытаний на разных типах почв.

Таким образом, систематическое применение фосфорных удобрений на чернозёмных почвах приводит к значительному накоплению подвижного фосфора (с 35–38 до 200–371 мг/кг), перераспределению фракционного состава (рост рыхлосвязанных фосфатов в 2,1 раза) и увеличению подвижности фосфат-иона. Однако коэффициент использования фосфора растениями остаётся низким (25–45%), а окупаемость удобрений существенно повышается лишь при совместном внесении высоких доз азота (до 200 кг/га) в условиях достаточного увлажнения. Для оптимизации фосфорного питания необходим дифференцированный подход: учёт исходного содержания подвижного фосфора (прекращение внесения при превышении порога), локальные способы заделки, применение фосфатмобилизирующих биопрепаратов и других перспективных удобрений.

Список литературы

1. Mycotoxins, pesticides and heavy metals content in the winter wheat grain at different cultivation technologies on leached Kuban chernozem / I. Shabanova, N. Neshchadim, K. Gorpichenko, A. Boyko // E3S Web of Conferences, Blagoveshchensk, 23-24 сентября 2020 года. – Blagoveshchensk, 2020. – P/ 02012. – DOI 10.1051/e3sconf/2020020302012. – EDN UEQBER
2. Минеральные удобрения и урожай сельскохозяйственных культур выращиваемых на черноземе выщелоченном Прикубанской низменности / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, М. А. Осипов [и др.] // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 г.г. : Материалы Всероссийского координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями, Москва, 16-17 апреля 2018 года / Под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2018. – С. 391- 400. – EDN YANCNV.
3. Патент №2527297 С2 Российская Федерация, МПК А01С 21/00, С05G 1/00. Способ некорневой обработки озимой пшеницы : №2012136541/13 : заявл. 24.08.2014 / А.Х. Шеуджен, Н. Г. Гайдукова, И. А. Лебедовский, И. В. Шабанова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – EDN MFUJYG.
4. Петрова Л.С. Экономические аспекты применения интегрированных систем удобрения в зерновом производстве // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 11. – С. 62–68.
5. Фосфогипс нейтрализованный – высокоэффективное поликомпонентное удобрение на посевах зерновых культур / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, Т. Н. Бондарева, С. В. Есипенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. - №52. – С. 144-148. – EDN TWPCKGR.