

ДИНАМИКА ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВАХ

Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н., Г.Е. Мерзлая, д.с.-х.н., ВНИИА

Рассмотрена динамика подвижного фосфора в различных почвах при систематическом применении удобрений в длительных полевых опытах.

Ключевые слова: севооборот, почва, удобрение, фосфор, трансформация.

Основным критерием плодородия почв для регулирования их фосфатного режима является содержание в них подвижного фосфора [4, 14]. В годы интенсивной химизации содержание подвижных форм фосфора в почвах возрастало в соответствии с уровнем применения минеральных удобрений. Однако в 1991–1995 гг. применение минеральных удобрений снизилось до 36 кг/га, а с 1996 г. по 2004 г. не превышало 16–18 кг/га. Ухудшился и баланс фосфора: в 1991–1995 гг. он снизился до 3,8 кг/га, а в 1996–2000 гг. опять стал отрицательным, снизившись до – 6,2 кг/га. Несмотря на это, урожайность зерновых и других культур в стране пока поддерживается на среднем уровне. За период (1986–1990 гг.) с наибольшим уровнем применения минеральных удобрений, урожайность зерновых со всей убранной площади по России составила 17,4 ц/га, тогда как за 2001–2004 гг. – 18,0 ц/га [10], хотя ежегодный баланс фосфора в земледелии в эти годы складывался с большим дефицитом. Согласно многочисленным исследованиям [12], остаточные, осаждаемые фосфаты почвы, образованные вследствие трансформации ранее внесенных удобрений, могут определенное время служить источником питания растений, переходя в подвижные формы. При этом содержание подвижного фосфора в почвах, переходящего из осаждаемых фосфатов, также может поддерживаться на определенном уровне, о чем свидетельствуют данные агрохимической службы. При сокращении площади обрабатываемых земель с 1993 по 2004 гг. на 17 млн га наибольшее снижение (16 млн га) отмечено для почв с низким и очень низким содержанием подвижного фосфора, среднее (около 7 млн га) – для почв со средним содержанием подвижного фосфора. Площадь пашни с содержанием подвижного фосфора от повышенного до очень высокого, наоборот, увеличилась за это время на 5,7 млн га. Это объясняется, с одной стороны, выбытием из обращения малоплодородных угодий, а с другой, – переходом осаждаемых фосфатов почвы в более подвижные формы, определяемые при агрохимическом исследовании почв стандартными методами [1–4, 6, 7, 11, 15, 16].

Цель исследований – анализ динамики вносимого фосфора в почвах в зависимости от их свойств, длительности и уровня применения удобрений.

Методика. Обобщены результаты длительных полевых опытов и собственных исследований и дан анализ воздействия систематического применения высоких доз минеральных удобрений, включая фосфорные, на динамику подвижного фосфора в различных почвах: дерново-глебоватой тяжелосуглинистой (Литва), дерново-подзолистой тяжелосуглинистой (Московская обл.), дерново-подзолистой легкосуглинистой (Смоленская обл.), дерново-подзолистой супесчаной (Белоруссия) и обыкновенном черноземе (Ставропольский край). Проведен расчет хозяйственного баланса фосфора по основным вариантам полевых опытов с учетом внесенного количества фосфора по ротациям полевых севооборотов, на основании которого показана пролонгированная роль фосфорных удобрений при их длительном систематическом применении. Содержание подвижных форм фосфора в различных почвах определяли по принятым в агрохимии методикам, на что указывается при описании приведенных результатов.

Результаты и их обсуждение. По данным Литовского НИИ земледелия, в опыте на осушенном дерново-глебоватом тяжелом суглинке [13] в варианте с внесением за ротацию $N_{225}P_{324}K_{350}$ при ежегодном применении фосфорных удобрений в среднем по семи развернутым в натуре полям севооборота при хозяйственном балансе фосфора 68 кг/га в первой

ротации и 73 кг/га во второй содержание подвижного P_2O_5 (по Эгнеру-Риму) в конце этих ротаций составило, соответственно, 4,2 и 4,3 мг/100 г почвы (рис. 1). По сравнению с началом ротаций изменение этого показателя в конце их равнялось, соответственно, 1,2 и 0,1 мг/100 г при продуктивности севооборота за первую ротацию (1961–1968 гг.) в среднем 44,8 ц/га з.е., за вторую (1969–1974 гг.) – 46,5 ц/га. Отсюда следует, что почти около 140 кг P_2O_5 , внесенных сверх выноса за две ротации, в конце второй ротации севооборота перешли в почву в формы, почти не извлекаемые вытяжкой по методу Эгнера-Рима. Затраты фосфора удобрений на повышение в пахотном слое почвы содержания подвижного фосфора на 1 мг/100 г в первой ротации составили 57, во второй – 519 кг/га P_2O_5 , хотя по расчету на повышение в пахотном слое почвы содержания фосфора на 1 мг/100 г требуется всего 30 кг/га фосфора удобрений.

Еще более выраженной представляется динамика подвижного фосфора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в длительном опыте, проведенном на ЦОС ВНИИА (Московская обл.) [9].

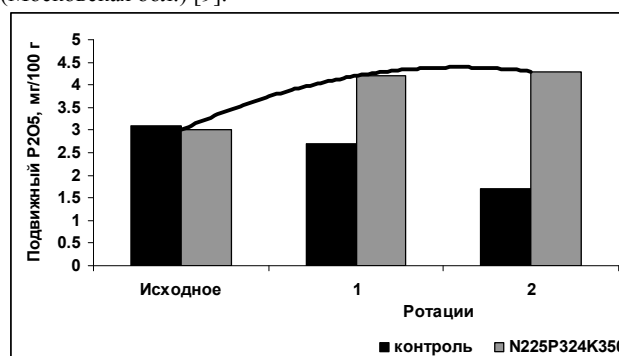


Рис. 1. Динамика подвижного фосфора в дерново-глебоватой тяжелосуглинистой осушенной почве (по Эгнеру-Риму)

В этом опыте за 28 лет систематического внесения удобрений (7 ротаций четырехпольного полевого севооборота) наибольшее содержание подвижного фосфора в варианте с применением минеральных удобрений в среднем за ротацию $N_{700}P_{411}K_{988}$ и 50 т/га навоза отмечено в 4-й ротации, после которой происходило его снижение (рис. 2) при положительном балансе фосфора за 28 лет применения 2,7 т/га. Расход фосфора минеральных удобрений на повышение содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы составил в среднем 119 кг P_2O_5 на 1 га. При изучении 12-летнего последствия внесенных в данном варианте удобрений установлено, что урожайность озимой пшеницы в среднем за три ротации севооборота составила 17,2 ц/га по сравнению с 12,0 ц/га в контрольном варианте опыта.

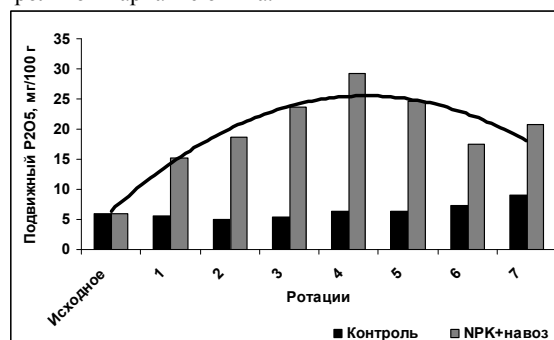


Рис. 2. Динамика подвижного фосфора (по Кирсанову) в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦОС ВНИИА (Московская обл.)

В 30-летнем полевом опыте, проведенном ВНИИА и Смоленским НИИСХ на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (Смоленская область) при систематическом применении минеральных удобрений под все культуры севооборота, кроме многолетних трав, в первую ротацию севооборота (1979-1989 гг.) в варианте с минеральной системой удобрения было внесено $N_{990}P_{990}K_{990}$, во вторую ротацию (1990-1995 гг.) – $N_{450}P_{450}K_{450}$, в третью ротацию (1996-2001 гг.) – $N_{450}P_{450}K_{450}$ и в четвертую ротацию (2002-2008 гг.) – $N_{405}P_{405}K_{405}$. Содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы (по Кирсанову) за первые две ротации при хозяйственном балансе фосфора 943 кг/га P_2O_5 возросло с 14,9 до 21,0 мг/100 г, или на 6,1 мг/100 г. В конце четвертой ротации при балансе фосфора в сумме за третью и четвертую ротации 523 кг/га P_2O_5 содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы даже снизилось – с 21,0 до 17,4 мг/100 г, или на 3,6 мг/100 г. Анализ данных этих опытов позволяет заключить, что при длительном внесении удобрений накопление подвижных фосфатов в почве отмечается только в первых ротациях севооборотов, несмотря на положительные балансы фосфора по всем ротациям.

Длительный опыт, проведенный Ставропольским НИИСХ [20] в условиях обыкновенного суглинистого чернозема с систематическим внесением удобрений, также выявил закономерность перехода фосфора, внесенного после трех ротаций севооборота, в малоподвижные формы (рис. 3). При этом до третьей ротации в опыте наблюдалось повышение содержания фосфора по Мачигину.

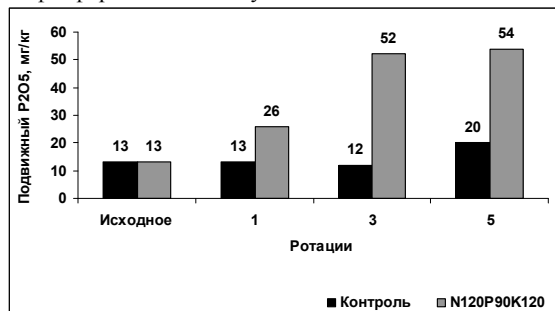


Рис. 3. Содержание подвижного фосфора (по Мачигину) в обыкновенном черноземе (Ставропольский край)

Однако к концу пятой ротации, т.е. через 12 лет после завершения третьей ротации, несмотря на систематическое внесение минеральных удобрений в тех же дозах и балансе фосфора за эти годы 250 кг/га, содержание подвижного фосфора в пахотном слое возросло всего лишь на 2 мг/кг. В варианте с большей дозой фосфора – $N_{120}P_{150}K_{120}$ при балансе фосфора за первую ротацию 568 кг/га, суммарном балансе за первые три ротации 1718 кг/га и четвертую и пятую ротации – 609 кг/га содержание подвижного фосфора в пахотном слое составляло, соответственно, 58, 76 и 70 мг/кг. Из этого следует, что за последние две ротации полевого севооборота внесение 609 кг/га фосфорных удобрений не только не увеличило содержание подвижного фосфора в почве, но даже снизило его на 6 мг/кг по сравнению с концом третьей ротации.

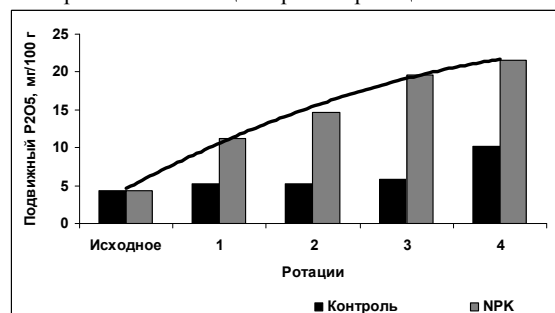


Рис. 4. Динамика подвижного фосфора (по Кирсанову) в дерново-подзолистой супесчаной почве (Белоруссия)

Вместе с тем, в почвах легкого гранулометрического состава, супесчаных, динамика подвижного фосфора может

идти по нарастающей, в соответствии с повышением положительного баланса фосфора в агроценозах. Содержание подвижных форм фосфатов в таких почвах со временем может увеличиваться, а не снижаться, как в глинистых и суглинистых почвах. Примером может служить динамика подвижного фосфора в супесчаной почве длительного полевого опыта, проведенного в Белоруссии на Гродненской сельскохозяйственной опытной станции [19]. Как видно из рис. 4, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) за счет систематического внесения минеральных удобрений возросло с 4,4 мг/100 г в начале ротации до 21,6 мг/100 г в конце четвертой ротации 4-польного полевого севооборота. Тем не менее, расход фосфорных удобрений на повышение содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы на 1 мг/100 г увеличивался даже при повышении содержания подвижных форм. В частности, в третьей ротации севооборота эти затраты в расчете на 1 га составили 22 кг фосфора, тогда как уже в четвертой ротации севооборота они возросли до 56 кг.

Заключение. Почвы являются системами, образованными под воздействием биологических факторов с присущей им функцией сохранения и преобразования веществ и энергии [5, 18]. В разных почвах эта функция проявляется в соответствии с их природными свойствами. По данным исследований [7], в дерново-подзолистых почвах, характеризующихся повышенным содержанием железа и алюминия, фосфорные удобрения превращаются в малорастворимые фосфаты полуторных оксидов, тогда как в черноземах и каштановых почвах, обогащенных карбонатами, функция сохранения фосфора проявляется в образовании разноосновных фосфатов, в том числе труднорастворимых. В частности, по сообщению [1], за последние 30-35 лет, особенно в 70-80-е годы прошлого столетия, были проведены широкие исследования по изучению содержания различных форм минеральных фосфатов почвы по методу Чанга-Джексона, изменения их под влиянием минеральных и органических удобрений. Эти исследования показали, что в дерново-подзолистых почвах в составе минеральных фракций преобладают в основном фосфаты железа и алюминия. По данным [7], в черноземных и каштановых почвах, наряду с незначительным количеством алюмо- и железифосфатов, минеральные формы фосфора, составляющие 20–30% валового его содержания, представлены в основном фракциями Са-Р. Вносимые фосфорные удобрения в почвах постепенно превращаются в формы, характерные для природных соединений. Характер динамики этих физико-химических процессов в определенной мере может быть объяснен принципом Ле Шателье, согласно которому при каком-либо воздействии на равновесную систему реакция системы в результате протекающих в ней процессов будет направлена на смещение этого равновесия в сторону ослабления этого воздействия [8]. Применительно к взаимодействию вносимых фосфорных удобрений и суглинистых почв, обладающих более емким почвенным поглощающим комплексом, эта реакция заключается в переводе избыточной концентрации подвижных фосфатов в менее активную, трудно растворимую форму. И чем дольше длится это взаимодействие и больше поступает фосфорных удобрений в почву, тем интенсивнее идет указанная трансформация. Наоборот, при потреблении растениями подвижных фосфатов сверх внесенных с удобрениями, т.е. при отрицательном балансе фосфора, равновесие почвенной системы сдвигается в сторону трансформации малорастворимых форм в более растворимые, подвижные, что характеризуется как проявление динамического равновесия между различными формами фосфатов почвы. Супесчаные почвы с меньшей емкостью ППК избыточное внесение фосфорных удобрений не могут в достаточной степени трансформировать в неактивные формы почвенных фосфатов. Это подтверждается вышеприведенными данными, однако и в этих условиях проявляется нарастающая тенденция перевода остаточных фосфатов в труднорастворимые соединения.

В целом, анализ динамики содержания подвижного фосфора в различных почвах в условиях длительных опытов выявил общую закономерность: в суглинистых почвах при положительных балансах фосфора в первые годы происходит

повышение содержания подвижного фосфора с последующим его снижением, связанным с переходом в малоподвижное состояние в зависимости от свойств почв и агрохимической нагрузки на агроценозы. В супесчаных почвах, при отклонении от данной тенденции, как и в суглинистых почвах увеличиваются затраты удобрений на повышение содержания подвижных форм фосфора в расчете на 1 мг/100 г.

Важно отметить, что за 20 лет интенсивной химизации (1971-1990) в России при положительном балансе фосфора в среднем на 1 га пашни с минеральными удобрениями было внесено сверх выноса более 300 кг P_2O_5 . Причем известна региональная неравномерность распределения фосфорных удобрений, большая доля которых приходилась на европейскую часть страны, что повышало здесь обогащение почв фосфатами, в том числе в малоподвижных формах. Из этого следует, что запасы малоподвижных, осажденных фосфатов целесообразно учитывать при экономической оценке таких почв, так как на их создание были затрачены значительные средства. Как показано ранее на примере длительных опытов, избыточно внесенный фосфор удобрений со временем перешел в основном в малоподвижные формы и до сих пор является пролонгированным источником фосфатного питания растений, обуславливающим сравнительную устойчивость производства сельскохозяйственной продукции в последние десятилетия. Однако истощение этого источника – вопрос времени, и государственная задача на ближайшую перспективу – обеспечить бездефицитный баланс фосфора в земледелии России.

Литература

1. Адрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения. - М.: ВНИИА, 2004. - 296 с. 2. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. - М.: ВНИИА, 2005. - 183 с. 3. Алексеева Е.Н., Кулакова В.П. Влияние длительного применения удобрений на почвенное плодородие и урожай культур на средне-выщелоченном черноземе в зоне неустойчивого увлажнения // Эффективность удобрений по зонам страны (Материалы научно-методического совещания Географической сети опытов с удобрениями в 1972 г.). Вып. 25. 1975. - С. 154 – 157. 4. Блэк К.А. Растение и почва. - М.: Колос, 1973. -

501 с. 5. Вильямс В.Р. Собрание сочинений. - М.: Сельхозгиз, Т. 6 1951. - 576 с. 6. Воробьев Г.Т. Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский» // Консультативное агрохимическое обслуживание в Российской Федерации. Итоги и перспективы. (40 лет Агрохимической службе) / Под ред. В.Г. Сычева. - М.: ВНИИА, 2005. - С. 17–23. 7. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. - М.: Наука, 1981. 542 с. 8. Глинка Н.А. Общая химия. 20-е изд. / Под ред. В.А. Рабиновича. Л.: Химия, 1979. - 720 с. 9. Ефремов В.Ф. Изучение роли органического вещества навоза в повышении плодородия дерново-подзолистых почв // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации (К 70-летию Геосети). - М.: ВНИИА, 2011. - С. 47-71. 10. Концепция развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства Российской Федерации на период до 2010 г. / Под ред. Г.А. Романенко. - М.: ВНИИА, 2005. - 80 с. 11. Минеев В.Г. Деградация химических свойств почв // Избранное: Сборник научных статей в 2-х частях. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - С. 572–589. 12. Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. - М.: МГУ, 2006. - 795 с. 13. Плесявичюс К.И. Сравнение систем удобрения на почвах, тяжелых по механическому составу // Результаты исследований в длительных опытах с удобрениями по зонам страны, Труды ВИАУ. Вып. 12. - М.: ВИАУ, 1982. - С. 4–82. 14. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. - М.: Колос, Т. 1. 1965. - 767 с. 15. Пуховский А.В. К методике оценки окупаемости удобрений и химических мелиорантов // Агрохимический вестник. - 2010. - № 1. - С. 35–40. 16. Консультативное агрохимическое обслуживание в Российской Федерации. Итоги и перспективы (40 лет Агрохимической службе России) / Под ред. В.Г. Сычева // Состояние и стратегия развития агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства в Российской Федерации. - М.: ВНИИА, 2005. - 569 с. 17. Удобрения, их свойства и способы использования / Под ред. Д.А. Коренькова. - М.: Колос, 1982. - 415 с. 18. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Пространственная неоднородность свойств на различных иерархических уровнях – основа структуры и функций почв // Масштабные эффекты при исследовании почв. - М.: Изд-во МГУ, 2001. - С. 47–61. 19. Шугля З.М. Система удобрения в севообороте // Результаты исследований в длительных опытах с удобрениями по зонам страны. Труды ВИАУ. Вып. II. М.: ВИАУ, 1982. - С. 94–118. 20. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Продуктивность чернозема обыкновенного при длительном систематическом применении минеральных удобрений // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации (К 70-летию Геосети). Вып. I / Под ред. В.Г. Сычева. - М.: ВНИИА, 2001. - С. 331–351.

DYNAMICS OF AVAILABLE PHOSPHORUS IN DIFFERENT SOILS

R.A. Afanasyev, G.E. Merzlaya

Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, E-mail: rafail-afanasev@mail.ru

The dynamics of available phosphorus in different soils at the systematic application of fertilizers in long-term field experiments was analyzed.

Keywords: crop rotation, soil, fertilizer, phosphorus, transformation.