

**Агрочоведение и агроэкология**

УДК 631.45:631.8

DOI:10.31857/S2500262721020095

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ  
НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОСФАТОВ И СОДЕРЖАНИЕ  
ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА ПО ПРОФИЛЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ****М.Т. Васбиева**, кандидат биологических наук,  
**В.Р. Ямалтдинова, Д.С. Фомин**, кандидаты сельскохозяйственных наук*Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН,  
614532, Пермский край, с. Лобаново, ул. Культуры, 12  
E-mail: vasbievamt15@gmail.com*

*Исследования проводили с целью оценки воздействия длительного применения удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья. Изучали влияние органической (10 т и 20 т навоза на 1 га пашни в год), минеральной (эквивалентно содержанию NPK в 10 и 20 т/га навозе) и органо-минеральной (навоз 5, 10 и 20 т/га и минеральные удобрения эквивалентно содержанию NPK в навозе) систем удобрения на фракционный состав минеральных фосфатов (метод Гинзбург-Лебедевой) и содержание подвижного фосфора в почве. Исследовали метровый слой почвы в длительном стационарном опыте, заложенном в 1968 г., в полевом восьмипольном севообороте. В составе минеральных фосфатов дерново-подзолистой почвы преобладали Fe-P (45 %) и Ca-P (42 %). Длительное систематическое внесение удобрений привело к существенному увеличению содержания в почве самой подвижной фракции фосфатов кальция (Ca-PI) и железа (Fe-P). Органическая, минеральная и органо-минеральная системы удобрения достоверно повышали содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы со 125 мг/кг до 192-368 мг/кг. Запасы подвижного фосфора в пахотном слое почвы возрастали в 1,7-3,0, в метровом слое – в 1,1-1,6 раза. Максимальное в опыте влияние на показатели фосфатного режима почвы отмечено при внесении навоза в дозе 20 т/га в год + NPK эквивалентно содержанию питательных веществ в навозе 20 т/га. Изменения фракционного состава фосфатов и подвижного фосфора согласуется со сложившимся балансом этого элемента в почве.*

**THE INFLUENCE OF LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZER SYSTEMS  
ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF MINERAL PHOSPHATES AND THE CONTENT  
OF MOBILE PHOSPHORUS OF SODDY-PODZOLIC SOIL BY PROFILE****Vasbieva M.T., Yamaltdinova V.R., Fomin D.S.***Perm Federal Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
614532, Permskii kraj, Lobanovo, ul. Kultury, 12  
E-mail: vasbievamt15@gmail.com*

*The assessment of long-term use of fertilizers on the phosphate regime of sod-podzolic heavy loamy soil of Cis-Urals was carried out. The effect of the use of organic (saturation of a hectare of arable land with manure 10 and 20 t/ha per year), mineral (equivalent to the content of NPK in manure 10 and 20 t/ha) and organo-mineral (manure 5, 10 and 20 t/ha and mineral fertilizers equivalent to the NPK content in manure) of fertilization systems for the fractional composition of mineral phosphates (the Ginzburg-Lebedeva method) and the content of mobile phosphorus in soil. The research was carried out under the conditions of a long-term stationary experiment in a field eight-field crop rotation, established in 1968, in a meter layer of soil. It was noted that Fe-P (45 %) and Ca-P (42 %) predominated in the composition of mineral phosphates of sod-podzolic soil. The use of all fertilizer systems influenced the change in the composition of soil phosphates, the transition of compounds from one fraction to another, changes (reliable, trends) were observed in the meter layer of soil. Long-term systematic application of fertilizers led to a significant increase in the content of the most mobile fraction of calcium phosphates Ca – PI and Fe – P in the soil. There were trends of decreasing the Ca-PII and Al-P fractions. The use of organic, mineral and organo-mineral fertilization systems significantly increased the content of mobile phosphorus in the plow horizon of the soil from 125 to 192-368 mg/kg. The reserves of mobile phosphorus in the arable layer of the soil increased by 1.7-3.0 times, and in the meter layer by 1.1-1.6 times. The maximum effect on the parameters of the phosphate regime of the soil was noted when applying manure of 20 t/ha per year + NPK is equivalent equivalent to nutrient content of manure 20 t/ha. Changes in the fractional composition of phosphates and mobile phosphorus are consistent with the existing balance of this element in the soil.*

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, фракционный состав минеральных фосфатов, подвижный фосфор, системы удобрений, баланс фосфора

**Key words:** sod-podzolic soil, fractional composition of mineral phosphates, mobile phosphorus, fertilizer systems, phosphorus balance

Фосфор – один из основных элементов минерального питания растений. Он играет важную роль в процессах фотосинтеза и дыхания, служит регулятором энергетического баланса и основой передачи наследственных свойств, влияет на синтез белков. Обеспеченность доступным фосфором – один из показателей плодородия почвы [1, 2, 3]. На фоне его высокого содержания в почве наблюдается улучшение условий корневого питания растений азотом и калием, эффективность азотных и калийных удобрений возрастает в 2,0-2,5 раза [4, 5].

Дерново-подзолистые почвы, занимающие основную площадь пашни Пермского края, характеризуются

низкой обеспеченностью подвижными фосфатами. По данным центра агрохимической службы «Пермский» средневзвешенное содержание этого минерального элемента в почве края составляет 94 мг/кг. Низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора характеризуются 34 %, средней – 32 % почв пашни. Связано это с низкими объемами применения удобрений в крае: минеральных – 12,5 кг д.в./га, органических – 1,0 т/га [6]. В Российской Федерации в целом объемы внесения минеральных удобрений также находятся на низком уровне. Они меньше среднемировых показателей (около 100 кг/га) почти в 5 раз [7].

Фосфатный режим почвы зависит от её генетических особенностей, погодных условий, возделываемой культуры, обработки почвы, применения удобрений и других факторов. Наибольшее влияние на него оказывают удобрения [8, 9, 10]. Для полной характеристики фосфатного режима почвы при использовании удобрений в севообороте важно знать не только содержание подвижного фосфора, но и распределение фосфатов по фракциям.

Цель исследований – оценить влияние длительного применения удобрений на групповой состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы Предуралья.

**Методика.** Работу проводили в длительном стационарном полевом эксперименте, заложенном в 1968 г., в Пермском НИИСХ – филиале ПФИЦ УрО РАН. Почва опытного участка – дерново-мелкоподзолистая тяжелоуглинистая с содержанием гумуса 2,16-2,22 %, подвижных  $P_2O_5$  и  $K_2O$  (по Кирсанову) – 125-165 и 170-173 мг/кг соответственно,  $pH_{\text{сол.}}$  – 5,2-5,4 ед.

В опыте изучали следующие системы удобрений: органическая (насыщенность 1 га пашни навозом 10 и 20 т в год); минеральная (дозы удобрений эквивалентны содержанию питательных веществ в 10 и 20 т/га навоза); органо-минеральная (навоз 5, 10 и 20 т/га в год и минеральные удобрения эквивалентно содержанию питательных веществ соответственно в 5, 10 и 20 т навоза). Повторность вариантов четырехкратная, размещение рендомизированное. Опыт развернут всеми вариантами в двух последовательных во времени закладках. Общая площадь делянки 115,5 м<sup>2</sup>. Исследования проводили в полевом восьмипольном парозерно-пропашном севообороте со следующим чередованием культур: пар чистый, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г. п., клевер 2 г. п., ячмень, картофель, овес.

Навоз в севообороте вносили в двух полях: под рожь и картофель (разовые дозы 20, 40 и 80 т/га). Минеральные удобрения распределяли, в зависимости от количества, под озимую рожь, пшеницу, ячмень, картофель, овес. Клевер не удобряли. Для посева использовали семена высоких репродукций.

Отбор почвенных образцов проводили в начале V ротации севооборота послойно: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см. Результаты представлены в среднем по двум закладкам опыта. Групповой состав фосфатов почвы определяли по Гинзбург-Лебедевой [11], подвижный фосфор – по Кирсанову [12]. Лабораторные исследования проводили в воздушно-сухих образцах почвы. Результаты исследований обрабатывали методами корреляционного и дисперсионного анализа. За четыре ротации севооборота с навозом при насыщенности пашни 10 т/га в год в почву поступило N – 866, P – 655 и K – 1373 кг/га, 20 т/га – 1732, 1310 и 2746 кг/га соответственно.

**Результаты и обсуждения.** Метод Гинзбург-Лебедевой позволяет выделить пять фракций минеральных почвенных фосфатов [13]. Изучение дерново-подзолистой тяжелоуглинистой почвы показало, что наибольшая часть минеральных фосфатов в контроле в верхнем слое (0-20 см) приходилась на Fe-P – 45 %, что характерно для дерново-подзолистых почв (табл. 1) [1, 2, 13].

Доля высокоосновных фосфатов кальция  $Ca-P_{III}$  труднодоступных для растений составляла 21 %. На наиболее доступные для сельскохозяйственных культур  $Ca-P_I$  и  $Ca-P_{II}$  приходилось 14 и 8 % соответственно, на фосфаты алюминия – 13 %. Доля алюмо- и железосоединений с глубиной по профилю почвы снижалась в

1,1-1,4 раза, двух и трёхзамещённых фосфатов кальция – увеличивалась в 1,1-1,3 раза, однозамещённых фосфатов кальция не изменялась. Распределение фракций фосфора по профилю в первую очередь связано с почвообразующей породой – желто-бурая некарбонатная покровная глина. Характерная особенность почвы, сформированной на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, – высокое содержание обменных форм кальция и магния, которое, как и сумма поглощенных оснований, увеличивается с глубиной [14].

Длительное внесение удобрений существенно повышало содержание самой подвижной фракции фосфатов кальция в почве. Использование органической системы удобрений увеличивало количество  $Ca-P_I$  в пахотном слое (0-20 см) почвы в 1,7-1,8 раза, минеральной – в 1,3-1,4 раза, органо-минеральной – в 1,5-2,3 раза. Максимальное в опыте влияние на содержание фракции  $Ca-P_I$  наблюдали на фоне 20 т/га навоз в год и 20 т/га навоз в год в сочетании с NPK в эквивалентном этой дозе количестве. В этих вариантах отмечено достоверное увеличение  $Ca-P_I$  до глубины 60 см.

Содержание фракции  $Ca-P_{II}$  в пахотном слое почвы при внесении удобрений существенно не изменялось и находилось на уровне контроля. Исключение составил вариант навоз 10 т/га в год, в котором количество  $Ca-P_{II}$  возросло в 1,3 раза, что, возможно, связано с особенностями сложившихся почвенных условий, повлиявших на перегруппировку структуры фосфорных соединений. В большинстве вариантов с удобрениями отмечено снижение  $Ca-P_{II}$  с глубиной, наибольшие изменения наблюдали в слое почвы 60-80 см – до 40 % от величины этого показателя в контроле.

При использовании удобрений отмечена тенденция снижения фракции Al-P по всему метровому слою. Исключение составил вариант с NPK в дозе эквивалентной 20 т/га навоза в год, в котором она сохранилась на уровне контроля. Устойчивость различных минеральных соединений фосфора, в том числе Al-P, в значительной степени зависит от почвенных условий, в частности, от кислотности. В варианте с NPK в дозе эквивалентной 20 т/га навоза в год наблюдали существенное подкисление почвы, Нг была в 1,2-1,4 раза выше, чем в контрольном варианте, по всему метровому слою. Отмечено достоверное увеличение содержания железосоединений в почве при внесении 10 и 20 т/га навоз в год, NPK эквивалентно навозу 20 т/га в год и навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном навозу количестве. В этих вариантах содержание Fe-P в слоях почвы 0-20, 20-40 и 80-100 см возросло в 1,2-1,4 раза. Между фосфатами железа и алюминия часто наблюдается перегруппировка, в результате при снижении содержания алюмофосфатов, возможно увеличение количества железосоединений [2]. Это может быть связано с разрушением железогуматного комплекса почвы под влиянием больших доз удобрений [15], а также с высокой химической активностью оксидов железа [2]. Увеличение количества железосоединений также возможно в результате поступления в почву железа с удобрениями.

Содержание  $Ca-P_{III}$  достаточно сильно изменялось по вариантам опыта и профилю почвы, что затруднило выделение чётких закономерностей. Можно только отметить, что на фоне с максимальной в опыте насыщенностью удобрениями (навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве) оно увеличивалось в 1,1-1,4 раза по всему метровому слою почвы.

Применение всех систем удобрений оказало влияние на трансформацию соединений фосфора в почве, переход их из одной группы в другую. Изменения (до-

Табл. 1. Влияние различных систем удобрений на содержание фракций минеральных фосфатов дерново-подзолистой почвы, мг/100 г

| Вариант                    | Слой почвы, см |                                 |                                 |                                 |                                 |
|----------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                            | 0-20           | 20-40                           | 40-60                           | 60-80                           | 80-100                          |
| Ca-P <sub>I</sub>          |                |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Без удобрений (контроль)   | 9,7            | 9,8                             | 10,5                            | 10,9                            | 11,7                            |
| Навоз 10 т/га              | 17,3           | 13,5                            | 11,1                            | 11,7                            | 11,8                            |
| Навоз 20 т/га              | 16,7           | 19,3                            | 18,1                            | 14,5                            | 13,9                            |
| НРК экв. 10 т навоза       | 12,9           | 12,5                            | 11,9                            | 11,6                            | 10,4                            |
| НРК экв. 20 т навоза       | 13,7           | 10,6                            | 8,4                             | 7,9                             | 8,6                             |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 14,7           | 12,4                            | 11,9                            | 12,2                            | 10,2                            |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 14,3           | 11,0                            | 11,8                            | 9,7                             | 9,0                             |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 22,2           | 21,0                            | 13,8                            | 9,0                             | 9,1                             |
| НСП <sub>05</sub>          | 3,2            | 4,7                             | 3,3                             | 4,2                             | 2,9                             |
| Ca-P <sub>II</sub>         |                |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Без удобрений (контроль)   | 16,6           | 20,9                            | 21,5                            | 25,7                            | 23,0                            |
| Навоз 10 т/га              | 21,8           | 20,7                            | 20,0                            | 21,1                            | 22,0                            |
| Навоз 20 т/га              | 17,7           | 18,7                            | 17,4                            | 16,4                            | 17,3                            |
| НРК экв. 10 т навоза       | 15,4           | 19,2                            | 17,6                            | 17,9                            | 18,2                            |
| НРК экв. 20 т навоза       | 17,3           | 19,4                            | 18,1                            | 18,2                            | 18,1                            |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 15,1           | 17,4                            | 16,5                            | 15,7                            | 15,7                            |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 17,1           | 16,1                            | 15,2                            | 14,6                            | 15,6                            |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 17,8           | 18,4                            | 17,4                            | 15,8                            | 16,7                            |
| НСП <sub>05</sub>          | 2,7            | 2,0                             | 2,3                             | 1,8                             | 4,1                             |
| Al-P                       |                |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Без удобрений (контроль)   | 15,5           | 13,5                            | 13,3                            | 12,9                            | 13,0                            |
| Навоз 10 т/га              | 13,3           | 13,0                            | 9,4                             | 9,3                             | 10,7                            |
| Навоз 20 т/га              | 11,7           | 10,7                            | 9,8                             | 13,3                            | 11,6                            |
| НРК экв. 10 т навоза       | 9,6            | 9,8                             | 7,7                             | 7,3                             | 8,5                             |
| НРК экв. 20 т навоза       | 14,8           | 12,5                            | 13,6                            | 12,9                            | 13,5                            |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 8,1            | 11,1                            | 10,9                            | 7,5                             | 8,6                             |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 14,4           | 12,8                            | 8,9                             | 8,3                             | 8,9                             |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 16,7           | 12,8                            | 8,9                             | 7,0                             | 6,6                             |
| НСП <sub>05</sub>          | 2,0            | F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub> | 2,1                             | 1,4                             | 1,5                             |
| Fe-P                       |                |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Без удобрений (контроль)   | 54,2           | 52,3                            | 53,9                            | 54,0                            | 54,5                            |
| Навоз 10 т/га              | 66,4           | 63,1                            | 63,2                            | 61,8                            | 68,3                            |
| Навоз 20 т/га              | 65,3           | 65,0                            | 59,7                            | 61,0                            | 68,6                            |
| НРК экв. 10 т навоза       | 64,5           | 58,3                            | 58,4                            | 53,0                            | 64,0                            |
| НРК экв. 20 т навоза       | 71,5           | 63,8                            | 64,7                            | 56,5                            | 58,2                            |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 53,8           | 54,2                            | 52,6                            | 50,4                            | 67,3                            |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 53,6           | 55,7                            | 58,1                            | 57,1                            | 54,7                            |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 74,1           | 70,9                            | 61,8                            | 57,6                            | 55,6                            |
| НСП <sub>05</sub>          | 11,5           | 10,5                            | F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub> | F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub> | 7,7                             |
| Ca-P <sub>III</sub>        |                |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Без удобрений (контроль)   | 25,1           | 26,0                            | 29,1                            | 37,0                            | 40,4                            |
| Навоз 10 т/га              | 24,1           | 22,6                            | 25,2                            | 30,7                            | 32,8                            |
| Навоз 20 т/га              | 23,5           | 27,8                            | 34,7                            | 45,5                            | 43,2                            |
| НРК экв. 10 т навоза       | 29,3           | 17,6                            | 31,1                            | 39,0                            | 32,7                            |
| НРК экв. 20 т навоза       | 21,2           | 24,0                            | 34,1                            | 35,5                            | 36,8                            |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 23,7           | 27,2                            | 30,3                            | 35,2                            | 39,4                            |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 23,8           | 28,1                            | 38,6                            | 40,1                            | 38,1                            |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 28,1           | 30,4                            | 40,3                            | 51,3                            | 46,2                            |
| НСП <sub>05</sub>          | 4,0            | 4,2                             | 4,9                             | 4,6                             | 4,7                             |
| Сумма минеральных фосфатов |                |                                 |                                 |                                 |                                 |
| Без удобрений (контроль)   | 121,0          | 122,5                           | 128,3                           | 140,5                           | 142,6                           |
| Навоз 10 т/га              | 142,9          | 132,9                           | 128,8                           | 134,6                           | 145,6                           |
| Навоз 20 т/га              | 134,8          | 141,4                           | 139,7                           | 150,6                           | 154,6                           |
| НРК экв. 10 т навоза       | 131,7          | 117,4                           | 126,7                           | 128,7                           | 133,7                           |
| НРК экв. 20 т навоза       | 138,5          | 130,3                           | 138,9                           | 131,0                           | 135,1                           |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 115,4          | 122,3                           | 122,2                           | 121,0                           | 141,0                           |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 123,2          | 123,7                           | 132,6                           | 129,7                           | 126,2                           |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 158,8          | 153,5                           | 142,1                           | 140,6                           | 134,2                           |
| НСП <sub>05</sub>          | 12,9           | 16,5                            | 10,9                            | F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub> | F <sub>φ</sub> < F <sub>τ</sub> |

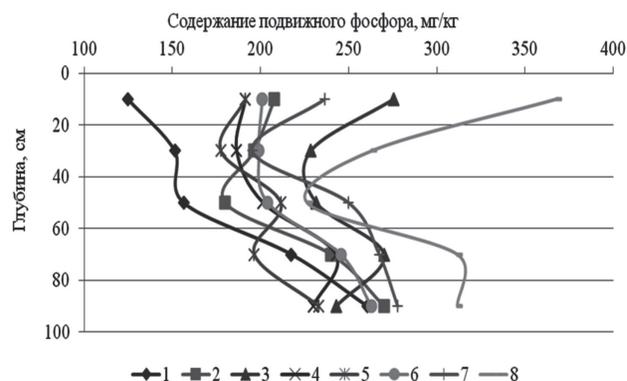
стоверные и тенденции) наблюдали до глубины 100 см. Однако сумма минеральных фосфатов достоверно возросла только в вариантах с органической системой удобрений, NPK эквивалентно навозу 20 т/га в год и навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве. Изменения в основном затронули пахотный слой почвы, отмечено увеличение суммы минеральных фосфатов, по сравнению с контролем, на 11-31 %. Максимальное в опыте повышение отмечено при внесении навоза 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве. В этом варианте, а также при внесении 20 т/га навоза в год увеличение суммы минеральных фосфатов наблюдали до глубины 60 см. Причем остаточный фосфор удобрения (расчёты проведены разностным методом, по сравнению с контролем) распределился в основном между фракциями Fe-P и Ca-P<sub>I</sub>.

Перемещение фосфора вниз по профилю в первую очередь связывают с интенсивным и систематическим применением удобрений [16, 17, 18]. Отмечено [19, 20], что в кислых почвах при повышенной фосфатной нагрузке образуются соединения этого элемента, связанные с железом и алюминием, обладающие повышенной миграционной способностью. По данным [21], анионы фосфорных удобрений (суперфосфата) оказывают разрушающее воздействие на находящиеся с ними в контакте глинистые минералы, происходит деструктирование слоистых силикатов и образование более мобильных металлоорганических соединений фосфора.

В пахотном слое почвы установлена достоверная сильная прямая связь количества Ca-P<sub>I</sub> с содержанием органического вещества ( $r=0,87$ ), средняя с величиной показателя  $r_{H_{KCl}}$  ( $r=0,48$ ) и суммой обменных оснований ( $r=0,58$ ). Отмечена средняя корреляция содержания Ca-P<sub>II</sub> с величиной  $r_{H_{KCl}}$  ( $r=0,62$ ) и количеством органического вещества ( $r=0,32$ ), а также между концентрацией Fe-P и содержанием органического вещества ( $r=0,56$ ). Для фракций Al-P и Ca-P<sub>III</sub> достоверные корреляционные связи с основными агрохимическими показателями не выявлены.

Считается, что соотношение суммы фосфатов кальция (Ca-P<sub>I</sub> + Ca-P<sub>II</sub>) и суммы фосфатов полуторных оксидов (Al-P + Fe-P) отражает особенности фосфатного режима почвы, чем оно больше, тем доступнее фосфор растениям [22]. По результатам наших исследований величина этого показателя в пахотном слое в контрольном варианте составляла 0,38 и увеличивалась вниз по профилю до 0,51 (80-100 см). Применение органической и органо-минеральной систем удобрения повышало соотношение фосфатов кальция к фосфатам полуторных оксидов в пахотном слое почвы до 0,44-0,49. При внесении только минеральных удобрений оно не изменилось. Внесение 20 т/га навоза в год привело к увеличению указанного соотношения в слоях почвы 20-40 и 40-60 см. В остальных вариантах с глубиной наблюдали снижение его величины, по сравнению с контрольным вариантом, до 0,34-0,43 (слой 80-100 см). Максимальным в опыте оно было при внесении NPK эквивалентно 20 т/га навоза в год.

Применение удобрений в первую очередь увеличивает содержание подвижных форм фосфора в почве. В опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Долгопрудной агрохимической опытной станции, проводимом с 1993 г., количество валового фосфора в неудобренной почве составило 780 мг/кг, подвижного (по Кирсанову) – 77 мг/кг. Систематическое внесение удобрений привело к росту величин этих показателей



**Влияние систем удобрения на содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве по профилю:**  
 1 – без удобрений (контроль), 2 – навоз 10 т/га в год, 3 – навоз 20 т/га в год, 4 – NPK эквивалентно навозу 10 т/га в год, 5 – NPK эквивалентно навозу 20 т/га в год, 6 – навоз 5 т/га в год + NPK эквивалентно навозу, 7 – навоз 10 т/га в год + NPK эквивалентно навозу, 8 – навоз 20 т/га в год + NPK эквивалентно навозу.

соответственно до 960 мг/кг и 190-240 мг/кг [23]. Таким образом, относительное повышение содержания подвижных форм элемента, по сравнению с увеличением валового количества, более значительно.

По результатам наших исследований применение органической, минеральной и органо-минеральной систем удобрения в течение четырёх ротаций полевого севооборота достоверно повышало содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы в 1,5-2,9 раза (см. рисунок). По обеспеченности подвижными формами этого элемента почва перешла из IV (повышенное содержание) в V и VI (высокое и очень высокое содержание) группы.

Увеличение содержания подвижного фосфора отмечали до глубины 60 см или 80 см в зависимости от системы и насыщенности пашни удобрениями. В варианте с максимальной в опыте насыщенностью удобрениями (навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве) повышение обеспеченности подвижным фосфором наблюдали по всему метровому слою. Длительное (в течение 30 лет) внесение удобрений увеличивало запасы подвижного фосфора в пахотном слое почвы на 0,2-0,6 т/га, в метровом слое – на 0,2-1,5 т/га (табл. 2).

**Табл. 2. Влияние систем удобрений на запасы подвижного фосфора дерново-подзолистой почвы, т/га**

| Вариант                    | Слой почвы, см |      |       |
|----------------------------|----------------|------|-------|
|                            | 0-20           | 0-40 | 0-100 |
| Без удобрений (контроль)   | 0,3            | 0,7  | 2,4   |
| Навоз 10 т/га              | 0,5            | 1,1  | 2,9   |
| Навоз 20 т/га              | 0,7            | 1,3  | 3,2   |
| NPK экв. 10 т навоза       | 0,5            | 1,0  | 2,7   |
| NPK экв. 20 т навоза       | 0,5            | 1,0  | 2,6   |
| Навоз 5 т + NPK экв. 5 т   | 0,5            | 1,0  | 2,9   |
| Навоз 10 т + NPK экв. 10 т | 0,6            | 1,1  | 3,2   |
| Навоз 20 т + NPK экв. 20 т | 0,9            | 1,6  | 3,9   |
| HCP <sub>05</sub>          | 0,1            | 0,1  | 0,1   |

**Табл. 3. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и баланс фосфора за I-IV ротации**

| Вариант                    | Продуктивность севооборота, тыс. корм. ед./га в год | Поступило с удобрениями P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/га | Вывос урожая, кг/га | Баланс, кг/га в год | Интенсивность баланса, % |
|----------------------------|---|---|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Без удобрений (контроль)   | 2,89  | 0   | 442                 | -55                 | -                        |
| Навоз 10 т/га              | 3,30  | 655   | 507                 | +18                 | 129                      |
| Навоз 20 т/га              | 3,32  | 1310  | 575                 | +92                 | 228                      |
| НРК экв. 10 т навоза       | 3,55  | 655   | 512                 | +18                 | 128                      |
| НРК экв. 20 т навоза       | 3,73  | 1310  | 544                 | +96                 | 241                      |
| Навоз 5 т + НРК экв. 5 т   | 3,46  | 655   | 530                 | +16                 | 124                      |
| Навоз 10 т + НРК экв. 10 т | 3,58  | 1310  | 558                 | +94                 | 235                      |
| Навоз 20 т + НРК экв. 20 т | 3,63  | 2620  | 575                 | +256                | 456                      |
| НСР <sub>05</sub>          | 0,17  | -   | -                   | -                   | -                        |

В пахотном слое почвы установлена достоверная сильная прямая корреляционная связь между содержанием подвижного фосфора и количеством органического вещества ( $r=0,78$ ), средняя с величиной показателя  $pH_{KCl}$  ( $r=0,37$ ) и суммой обменных оснований ( $r=0,45$ ).

Применение всех систем удобрения обеспечило достоверное увеличение продуктивности полевого севооборота на 17-39 % (табл. 3). При использовании минеральной и органо-минеральной систем она была выше, чем при органической. Во всех вариантах сложился близкий к нулевому или положительный баланс фосфора. Наиболее интенсивным он был при внесении 20 т/га навоз в год в сочетании с НРК в эквивалентном количестве. Показатели хозяйственного баланса согласуются с изменениями содержания подвижного фосфора и его фракционно-группового состава. В варианте с наибольшей интенсивностью баланса отмечено максимальное увеличение содержания подвижного фосфора, суммы минеральных фосфатов, Са-Р<sub>I</sub> и Fe-Р, как в верхнем слое почвы, так и на глубине 40-60, 60-80 и 80-100 см в зависимости от показателя.

Таким образом, в составе минеральных фосфатов в пахотном слое дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в контрольном варианте преобладали Fe-Р (45 %) и Са-Р (42 %). Среди фосфатов кальция половина приходилась на подвижные и более доступные для растений фракции Са-Р<sub>I</sub> и Са-Р<sub>II</sub>. Доля Al-Р и Fe-Р с глубиной по профилю почвы снижалась, Са-Р<sub>II</sub> и Са-Р<sub>III</sub> увеличивалась, Са-Р<sub>I</sub> не изменялась. Внесение навоза КРС (насыщенность пашни 10 и 20 т/га), НРК эквивалентно навозу 20 т/га в год и навоза 20 т/га в год в сочетании с эквивалентным количеством НРК достоверно повышало содержания минеральных фосфатов в почве. При высокой насыщенности пашни органическими и минеральными удобрениями (навоз 20 т/га в год, навоз 20 т/га в год + НРК в эквивалентном количестве) увеличение суммы минеральных фосфатов наблюдали до глубины 60 см. При использовании изучаемых систем удобрений отмечено достоверное увеличение содержания в почве самой подвижной фракции фосфатов кальция Са-Р<sub>I</sub> (до глубины 60 см) и Fe-Р (в метровом слое), наблюдали тенденции снижения Са-Р<sub>II</sub> и Al-Р (в метровом слое). Применение всех систем удобрения достоверно повышало содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы со 125 мг/кг до 192-368 мг/кг. Рост величины этого показателя отмечали до глубины 60, 80 и 100 см в зависимости от системы и насыщенности пашни удобрениями. Максимальное в опыте

влияние на показатели фосфатного режима почвы наблюдали при внесении навоза 20 т/га в год в сочетании с эквивалентным количеством НРК. Изменения фракционного состава фосфатов и содержания подвижного фосфора в почве согласуются со сложившимся балансом этого элемента.

**Литература.**

1. Андрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.
2. Титова В.И., Шафронов О.Д., Варламова Л.Д. Фосфор в земледелии Нижегородской области. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 219 с.
3. Сычёв В.Г., Кирпичников Н.А. Приёмы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА, 2009. 176 с.
4. Калинин А.И. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2004. 220 с.
5. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия / А.Л. Иванов, В.Г. Сычев, Л.М. Державин и др. // Плодородие 2009. №1. С.4-7.
6. Кайгородов А.Т., Пискунова Н.И. Современное состояние почвенного плодородия пахотных земель Пермского края // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т.31. №4. С. 22-26.
7. Сычёв В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почвы России и пути его регулирования // Плодородие. 2020. №6. С. 3-13.
8. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Влияние уровней применения фосфорных удобрений на фосфатный режим почвы в севообороте // Вестник АПК Ставрополя. 2016. №4. С. 152-156.
9. Лыскова И.В., Рылова О.Н., Веселкова Н.А., Лыскова Т.В. Влияние удобрений и извести на агрохимические показатели и фосфатный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. №2(45). С.27-32.
10. Володина Т.И., Макарова А.И. Влияние систем удобрения на содержание подвижного фосфора и обменного калия в дерново-слабоподзолистой почве // Агрехимия. 2010. №9. С. 31-35.
11. Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы // Агрехимия. 1971. №1. С.125-136.

12. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 639 с.
13. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
14. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. 130 с.
15. Кудеярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. М.: Наука, 1995. 288 с.
16. Ciapparelli I.C., de Iorio A.F., Garcia A.R. Phosphorus downward movement in soil highly charged with cattle manure // *Environmental earth sciences*. 2016. Vol. 75. No. 7. P. 568. doi: 10.1007/s12665-016-5284-3.
17. Фосфатный режим длительно орошаемой лугово-чернозёмной почвы в лесостепи Западной Сибири / В.С. Бойко, С.П. Гавар, Е.Н. Морозова и др. // *Агрохимия*. 2015. №3. С. 10–16.
18. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Азотный режим чернозема обыкновенного и продуктивность сельскохозяйственных культур в последствии различных доз азотных удобрений // *Агрохимия*. 2014. № 2. С. 20–25.
19. Кудеярова А.Ю., Алексеева Т.В. Трансформация соединений Al и Fe при зафосфачивании кислых почв как фактор, определяющий миграцию фосфора // *Агрохимия*. 2012. №2. С.25–36.
20. Kudeyarova A.Y. Changes in the system of chemical bonds in gibbsite under the impact of  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  solutions of different concentrations // *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol.49. P. 519–528.
21. Chizhikova N.P., Godunova E.I., Kubashev S.K. Changes in clay minerals of vertic chernozems under the impact of different ameliorants in a model experiment // *Eurasian Soil Science*. 2008. Vol.41. P. 1124–1134. doi: 10.1134/S1064229308100153.
22. Ubugunov L.L., Merkusheva M.G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. doi: 10.1134/S1064229315060113.
23. Гладкова К.Ф. Действие длительного внесения удобрений на накопление в дерново-подзолистой почве запасов усвояемых фосфора и калия // *Фосфорные удобрения и питание растений*. М.: Изд-во с. х. лит-ры, журналов и плакатов, 1963. С. 75–88.

Поступила в редакцию 25.11.2020  
После доработки 14.01.2021  
Принята к публикации 27.02.2021