

## СТЕПЕНЬ АГРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ ЛУГОВОЙ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ

*Е.Т. Наумченко, к.с.-х.н, К.Ю. Разумова,  
ФГБНУ ФНЦ "Всероссийский научно-исследовательский институт сои"  
Игнатьевское шоссе, 19, Благовещенск, 675027, Российская Федерация  
e-mail: krazumova855@gmail.com*

*Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, в пятипольном севообороте длительного стационарного опыта. Цель исследований – изучить влияние длительного применения удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора в луговой черноземовидной почве.*

*Установлено, что содержание минеральных фосфатов в слое почвы 0-20 см контрольного варианта не зависело от степени агрогенной нагрузки (10, 45 и 50 лет возделывания зерновых культур и сои в севообороте), оставаясь на уровне 320-390 мг/кг почвы. Длительное систематическое внесение минеральных и органических удобрений с ежегодной нагрузкой  $N_{42}P_{48}$  и  $N_{24}P_{30}$  + 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 удобрениями способствовало перераспределению фракций фосфатного фонда луговой черноземовидной почвы в сторону увеличения его наиболее активных фракций. Так, 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. Под влиянием систематического применения органических и минеральных удобрений интенсивность перехода фосфат-иона в почвенный раствор повысилась от 0,9 до 0,22-0,26 мг/л, что соответствует высокой степени их подвижности. В результате корреляционного анализа установлено, что первые три фракции минерального фосфора служат ближайшим резервом питания растений этим элементом.*

*Ключевые слова:* луговая черноземовидная почва, длительный полевой опыт, системы удобрения, фракционный состав минеральных фосфатов, подвижный фосфор.

Для цитирования: Наумченко Е.Т., Разумова К.Ю. Степень агрогенного воздействия на фосфатный режим луговой черноземовидной почвы// Плодородие. – 2022. – №2. – С. 40-43. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.10.

Одним из основных условий воспроизводства почвенного плодородия является оптимизация фосфатного режима почв агроценозов, так как значительная их часть (около 80%) характеризуется недостаточным содержанием подвижного фосфора [1]. Соединения фосфора в почве представлены минеральными и органическими веществами, степень доступности которых тесно связана с преобразованием почв под влиянием различных факторов. Фосфатный фонд почвы формируется за счет постоянных процессов мобилизации и иммобилизации фосфора и является основным резервом минерального питания растений [2, 3].

Общеизвестно, что питание культурных растений происходит за счет поглощения фосфорных соединений в виде анионов ( $H_2PO_4^-$  и  $HPO_4^{2-}$ ) из почвы и солей полифосфорных кислот (после их гидролиза). На кислых почвах фосфат-анионы, вступая в химическую связь с положительно заряженными атомами металлов ( $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ ) почвенных соединений, удерживаются на их поверхностях, теряя способность к поглощению. Установлено, что в результате дальнейшей трансформации фосфатов алюминия и железа образуются растворимые фосфорсодержащие соединения, доступные для минерального питания растений [4-6]. Для выявления эффективности использования удобрений в севообороте важно знать не только содержание подвижного фосфора, но и характеристику фосфатного режима почвы в свете распределения фосфатов по фракциям. Так, при длительном систематическом внесении минеральных и

органических удобрений структура фосфатного фонда почвы изменяется в результате как связывания фосфат-ионов частицами почвы, так и минерализации органических соединений [7, 8]. Поглощенный почвой фосфор удобрений переходит в I – IV фракции минеральных фосфатов и в течение длительного времени может использоваться для питания растений, доказывая, что сорбционные процессы не являются помехой для усвоения фосфора почвы алюмопирофосфатных комплексов [9].

Основные площади посева сои в Амурской области расположены в южной части Зейско-Буреинской равнины, на луговых черноземовидных почвах, сформировавшихся под воздействием лугового и элювиального процессов, обусловленных муссонно-континентальным климатом и сохраняющейся до конца июля сезонной мерзлотой. Частая смена дождливой и засушливой погоды негативно влияет на фосфатный режим почв, поскольку при переувлажнении доступный растениям фосфор закрепляется, сорбируясь в почвенные соединения полутвердых оксидов, а при доступе воздуха (подсыхании) переходит в труднорастворимые формы. В связи с этим, при содержании в слое 0-20 см валового  $P_2O_5$  4,1-5,2 т/га, обеспеченность подвижным фосфором луговых черноземовидных почв низкая [10]. Кроме того, следует отметить, что на почвах Амурской области общепринятая градация обеспеченности почв подвижным  $P_2O_5$  (метод А.Т. Кирсанова) не соответствует показателю эффективности внесения фосфорных удобрений

ний под возделываемые культуры. Ранее проведенными исследованиями установлено, что к мало обеспеченным подвижным фосфором относятся почвы с содержанием его менее 35 мг/кг, среднеобеспеченным – 35-55 и высокообеспеченным – свыше 55 мг/кг [11]. Немаловажное значение имеет рациональное использования фосфатного фонда луговых черноземовидных почв, так как на них сосредоточена большая часть посевов сои в Амурской области. В этой связи наибольший интерес представляют формы минеральных фосфатов (природных и накапливаемых в результате внесения удобрений) первых трех фракций (рыхлосвязанные фосфаты, фосфаты алюминия и фосфаты железа), различающиеся по степени подвижности.

**Цель исследований** – оценить влияние длительной агрогенной нагрузки удобрениями на состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора в луговой черноземовидной почве.

**Методика.** Исследования проводили на опытном поле ФБГНУ ФНЦ ВНИИ сои, в полевом пятипольном севообороте длительного стационарного опыта по изучению системы удобрения. Опыт заложен в 3-кратном повторении во времени с последовательным (по одному полю в 1962, 1963 и 1964 г.) вхождением в севооборот и развернут тремя полями в пространстве. Расположение делянок систематическое в три яруса, общая площадь делянки 180 м<sup>2</sup>, учетная – 72 м<sup>2</sup>. В конце 2, 9 и 11-й ротаций (соответственно 10, 45, и 55 лет) провели оценку фосфатного состояния почвы при длительном применении минеральных и органических удобрений со среднегодовой нагрузкой на 1 га севооборотной площади P<sub>30</sub>, N<sub>42</sub> P<sub>48</sub> и N<sub>24</sub> P<sub>30</sub> + 4,8 т навоза в сравнении с контролем (без внесения удобрений). Агрохимическая характеристика слоя 0-20 см среднесуглинистой луговой черноземовидной почвы перед закладкой опыта следующая: рН<sub>KCl</sub> 5,1 ед., гидролитическая кислотность – 3,82, сумма поглощенных оснований – 26,8 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса – 4,20%, подвижного фосфора – 28-32 мг/кг, калия – 170-240 мг/кг. Севооборот зерносовый с чередованием культур: 1 – овес; 2 – соя; 3 – пшеница; 4 – соя и 5 – пшеница. Из минеральных удобрений применяли двойной суперфосфат и аммиачную селитру, из органических – полуперепревший навоз крупного рогатого скота с содержанием влаги 60%, азота (N) 0,5%, фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0,25 и калия (K<sub>2</sub>O) 0,6%, рН<sub>вод.</sub> 6,8 ед. Почвенные образцы в длительном опыте отбирали со всех повторностей в 15 точках на каждой делянке. Смешанный почвенный образец составляли квартованием из индивидуальных проб. Лабораторные исследования проводили в воздушно-сухих образцах почвы. Подвижные формы фосфора определяли по методу А. Т. Кирсанова (ГОСТ 2389-98), степень подвижности фосфатов – Н.П. Карпинского и В.Б. Замятиной, фракционный состав минеральных фосфатов – Гинзбург-Лебедевой. Обработку результатов проводили методом дисперсионного анализа с использованием пакетов программ MicrosoftOffice.

**Результаты и их обсуждение.** Содержание минеральных фосфатов в слое 0-20 см варианта без внесения удобрений не зависело от степени агрогенной нагрузки (возделывание и уход за посевами зерновых культур и сои), оставаясь на уровне 320-390 мг/кг почвы (табл.1).

# **1. Изменение структуры минеральных фосфатов луговой черноземовидной почвы под действием длительного внесения удобрений, в среднем по 3-м закладкам**

Внесено удобрений, кг д.в./га		Минеральный фосфор, мг/кг	Фракционный состав минеральных фосфатов, % от суммы			
Нагрузка на 1 га с/о площади	Всего за период исследований		Рыхлосвязанные	Al-P	Fe-P	Ca-P
Конец второй ротации севооборота (10 лет)						
0	0	390	0,8	7,2	67,0	25,0
P <sub>30</sub>	P <sub>300</sub>	440	0,9	9,1	66,0	24,0
N <sub>42</sub> P <sub>48</sub>	N <sub>420</sub> P <sub>480</sub>	480	1,0	11,0	63,0	25,0
N <sub>24</sub> P <sub>30</sub> +4,8 т навоза	N <sub>240</sub> P <sub>300</sub> + 48 т/га навоза	470	1,0	13,0	61,0	25,0
Конец девятой ротации севооборота (45 лет)						
0	0	320	1,0	16,0	55,0	28,0
P <sub>30</sub>	P <sub>1350</sub>	380				
N <sub>42</sub> P <sub>48</sub>	N <sub>1890</sub> P <sub>2160</sub>	540	1,0	19,0	56,0	24,0
N <sub>24</sub> P <sub>30</sub> +4,8 т навоза	N <sub>1080</sub> P <sub>1350</sub> + 216 т/га навоза	550	2,0	22,0	54,0	22,0
Конец одиннадцатой ротации севооборота (55 лет)						
0	0	390	1,0	21,0	54,0	24,0
P <sub>30</sub>	P <sub>1650</sub>	420	1,0	24,0	51,0	24,0
N <sub>42</sub> P <sub>48</sub>	N <sub>2310</sub> P <sub>2640</sub>	620	1,2	26,0	53,8	19,0
N <sub>24</sub> P <sub>30</sub> +4,8 т навоза	N <sub>1320</sub> P <sub>1650</sub> +264 т/га навоза	560	2,5	26,0	52,5	19,0

Фракция рыхлосвязанных фосфатов составляла очень незначительную часть (0,4-0,9 %), труднорастворимых фосфатов кальция – 24-28% от общего содержания минеральных соединений фосфора. По истечении 45-ти лет возделывания с.-х. культур, в контрольном варианте отмечено увеличение доли алюмофосфатов в 2,3, а 55-ти лет – в 3 раза относительно показателя конца 2-й ротации (10-летнего периода), одновременно доля железифосфатов снизилась на 13 %. По-видимому, между фосфатами железа и алюминия произошла перегруппировка, связанная с изменяющимися почвенными условиями под действием химических, физико-химических и биологических процессов [13].

Длительное внесение минеральных и органических удобрений повышало содержание минерального фосфора. При внесении только фосфорных удобрений, независимо от дозы, содержание минеральных фосфатов оставалось на уровне 380-440 мг/кг почвы. Длительное (55 лет) использование минеральной и органоминеральной систем удобрения с ежегодной нагрузкой на 1 га севооборотной площади, соответственно, N<sub>42</sub>P<sub>48</sub> и N<sub>24</sub>P<sub>30</sub> + 4,8 т навоза, сопровождалось увеличением количества минеральных форм фосфора до 230 мг/кг относительно контроля и на 60-140 мг/кг в сравнении с содержанием в конце 2-й ротации севооборота. Рост количества минерального фосфора происходил за счет повышения доли его наиболее активных (доступных) групп рыхлосвязанных и алюмофосфатов с одновременным снижением фракций фосфатов железа и кальция. 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 %, а труднорастворимых фосфатов кальция – на 6,0%. Таким образом, увеличение степени агрогенной нагрузки удобрениями способствует перераспределению фракций фосфатного фонда луговой черноземовидной почвы в сторону увеличения его наиболее активных фракций.

Известно, что слабокислотные (0,2 н. HCl) вытяжки, имитирующие воздействие корневой системы на почву, извлекают из почвы ту часть фосфатов, которые называются подвижным фосфором. Исследованиями установлено, что после 10-летнего возделывания сельскохозяй-

ственных культур в 5-польном севообороте (вариант без внесения удобрений) содержание подвижных соединений фосфора увеличилось почти вдвое и в дальнейшем оставалось на уровне 33-34 мг/кг почвы (рис.).

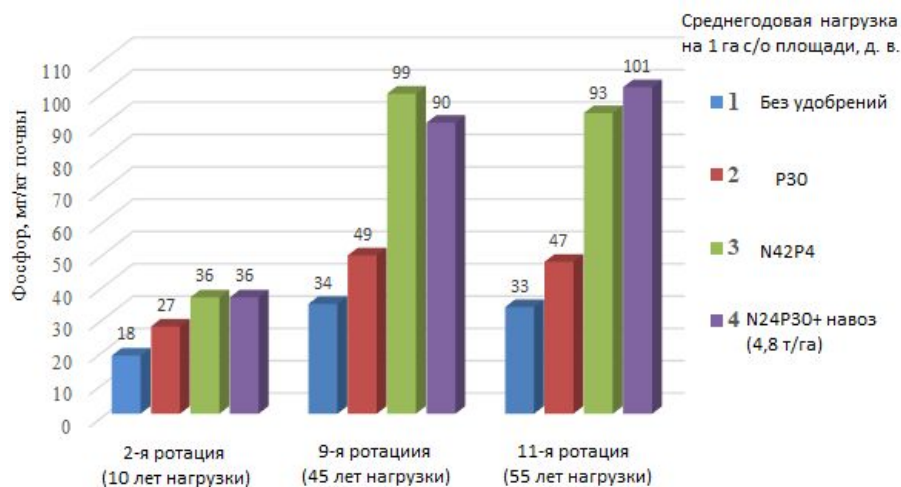


Рис. Влияние степени агрогенной нагрузки удобрениями на содержание  $P_2O_5$  в слое почвы 0-20 см

Длительное внесение азотно-фосфорных минеральных удобрений и навоза увеличило почти в 3 раза содержание подвижных форм фосфора в почве как относительно контроля, так и по сравнению с первым десятилетием. Для характеристики доступности фосфора вносимых удобрений необходимо знать не только запас подвижных фосфатов, но и степень их доступности, которая обеспечивает восполнение концентрации  $P_2O_5$  в почвенном растворе по мере использования его растениями. Фосфаты почвенного раствора, полностью доступные растениям, определяют фактор интенсивности, выявляющий степень их подвижности. Количественно этот показатель выражается величиной концентрации фосфат-ионов в слабосолевой (0,03 н.  $K_2SO_4$ ) вытяжке из почвы. В почве контрольного варианта длительного опыта к концу 11-й ротации количество фосфат-ионов, перешедших в почвенный раствор составило 0,09 мг/л, что соответствует средней степени интенсивности. Применение азотно-фосфорных минеральных удобрений и навоза обеспечило увеличение степени подвижности фосфатов до 0,22 – 0,26 мг/л.

Содержание в почве растворимых (подвижных) фосфатов всегда соответствует и взаимосвязано с содержанием в ней усвояемых (доступных) растениями фосфатов (табл. 2).

## 2. Коэффициенты парной корреляционной зависимости показателей фосфатного фонда луговой черноземовидной почвы ( $R_{\text{спит.}} = 0,811$ )

Показатель	Р-рыхлосвяз.	Al-P	Fe-P	Ca-P	$P_2O_5$	
					0,2н. HCl	0,03н. $K_2SO_4$
Р-рыхлосвяз.	-	0,836	0,782	0,209	0,868	0,905
P-Al	0,836	-	0,949	0,408	0,989	0,987
P-Fe	0,782	0,949	-	-0,441	0,897	0,911
P-Ca	0,209	0,408	-0,441	-	-0,205	-0,163

В результате сопоставления установлена тесная зависимость содержания подвижных фосфатов и степени их подвижности с количеством рыхлосвязанных фос-

фатов, фосфатов алюминия и фосфатов железа, подтверждая предположение о том, что первые три фракции минерального фосфора служат ближайшим резервом растений этим элементом.

**Выводы.** Содержание минеральных фосфатов в слое луговой черноземовидной почвы 0-20 см варианта без внесения удобрений по истечении 55 лет агрогенной нагрузки оставалось на уровне 320-390 мг/кг почвы. Ежегодная нагрузка удобрениями в дозах  $N_{42}P_{48}$  и  $N_{24}P_{30} + 4,8$  т навоза на 1 га севооборотной площади увеличивала количество минеральных форм фосфора на 170-230 мг/кг почвы относительно контроля и на 80-140 мг/кг в сравнении с показателем в конце 2-й ротации севооборота.

Увеличение степени агрогенной нагрузки (55 лет применения азотно-фосфорных удобрений и навоза) удобрениями способствует перераспределению фракций, входящих в состав минеральных фосфатов в сторону увеличения их наиболее активных фракций. Доля фракции рыхлосвязанных фосфатов увеличилась по сравнению с 10-летним периодом в 2,1 раза, фосфатов алюминия – на 13,5-15,5 %, доля Fe-P снизилась на 8,5-9,2, а труднорастворимых фосфатов кальция – на 6,0%.

Длительное внесение минеральной и органоминеральной систем удобрения увеличило почти в 3 раза содержание подвижных форм фосфора в почве как относительно контроля, так и по сравнению с первым десятилетием. Фракции активных фосфатов, входящих в состав минерального фосфора, являются ближайшим резервом питания растений этим элементом, что подтверждается их тесной корреляционной зависимостью от содержания подвижных фосфатов и степени их подвижности.

## Литература

1. Сычев В. Г., Шафран С. А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
2. Ahmed A. Relations hip between phosphorus fractions of some selected sudanese soil order stop hosphate availability // Eurasian Journal of Soil Science. – 2018. – Vol. 7. – No. 3. – P. 224–229.

3. Wang Y. Soil Inorganic Phosphorus Fractionation and Availability under Greenhouse Subsurface Irrigation // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2012. – Vol. 43. – No. 3. – P. 519–532.
4. Кудярова А. Ю. Направленность и механизмы трансформации природных сорбционных барьеров в кислых почвах при нагрузке фосфатами // *Геохимия*. – 2013. – № 4. – С. 326–343.
5. Ahmed A., Elsheikh M., Mahi Y. Relationship between phosphorus fractions of some selected sudanese soil orders to phosphate availability // *Eurasian Journal of Soil Science*. – 2018. – Vol. 7. – No. 3. – P. 224–229.
6. Dutta A. K., Tamuly D., Effect of Soil Nutrient Management on P transformation under Protected Cultivation // *Indian Journal of Agricultural Research*. – 2021. – Vol. 55. – No. 3. – P. 257–264.
7. Завьялова Н. Е., Сторожева А. Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // *Агрохимия*. – 2015. – №9. – С. 33–40.
8. Fresne M., Jordan P., Fenton O., Mellander P. E., Daly K. Soil chemical and fertilizer influences on soluble and medium-sized colloidal phosphorus in agricultural soils // *Science of the total environment*. – 2021. – Vol. 754. – No. 142112. DOI: 10.1016/j.scitotenv. 2020.142112.
9. Li C. L., Zhang P., Zhang J. J., Zhu P., Wang L., Forms C. Transformations and availability of phosphorus after 32 years of manure and mineral fertilization in a Mollisol under continuous maize cropping // *Archives of Agronomy and Soil Science*. – 2020. DOI: 10.1080/03650340.2020.1787385.
10. Прокопчук В. Ф. Фосфатный фонд Зейско-Буреинской равнины и его изменение при применении удобрений // *Почвоведение*. – 2003. – № 7. – С. 835–841.
11. Ковшик И. Г., Наумченко Е. Т. Фосфор в почвах Амурской области и эффективность удобрений // *Фосфор в почвах Сибири*. – Новосибирск, 1983. – С. 139–147.
12. Стёпкина Р. Н. Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на луговых черноземовидных почвах Приамурья. – Благовещенск: изд-во ДальГАУ, 2001. – 274 с.
13. Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С. Влияние длительного применения систем удобрения на фракционный состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2021. – № 2. – С. 43–48.

## INFLUENCE OF THE AGROGENIC IMPACT DEGREE ON THE PHOSPHATE CONDITION OF THE MEADOW CHERNOZEMIC SOIL

*E. T. Naumchenko, K. Yu. Razumova*

*Federal State Budget Scientific Institution Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean»,  
Russia. 675027, Amur region, Blagoveshchensk, Ignatevsky highway, 19. e-mail: [krazumova855@gmail.com](mailto:krazumova855@gmail.com)*

*Studies were carried out on the experimental field of the Federal Budget State Scientific Institution Federal scientific Center pan-Russian Research Institute of Soya, in the process of a field five-course rotation of long stationary experience. The aim of the research was to study the impact of continuous application of fertilizers on the fractional composition of mineral phosphates and the content of mobile phosphorus in meadow chernozemic soil.*

*It was established that the content of mineral phosphates in a soil layer of 0 to 20 cm of the control version did not depend on the degree of agrogenic impact (10, 45 and 50 years of cultivation of cereals and soya using rotation system), remaining at the level of 320-390 mg/kg of soil. Continuous and systematic application of mineral and organic fertilizers with an annual load of  $N_{42} P_{48}$  and  $N_{24} P_{30} + 4.8$  tons of manure per hectare of the rotation area was accompanied by an increase in the number of mineral forms of phosphorus to 230 compared with the control version, and by 80-140 mg/kg of soil compared with the content at the end of the 2nd phase of the five-course rotation. The increase in the degree of agrogenic loading with fertilizers contributed to the redistribution of the phosphate fractions of the meadow chernozemic soil increasing its most active fractions. So, after 55 years of combined application of nitrogen-phosphate fertilizers and manure, the part of the fraction of friable phosphates increased 2.1 times, of aluminum phosphates – by 13.5-15.5% compared with a 10 years period, the part of Fe-P decreased by 8.5-9.2%, of poorly soluble calcium phosphates – by 6.0%. At the same time, the content of mobile forms of phosphorus in soil increased 3 times compared both with the control version and with the first ten years. Influenced by systematic use of organic and mineral fertilizers, the intensity of transition of phosphate ion into soil solution increased from 0.9 to 0.22-0.26 mg/l, which corresponds to a high level of their mobility. As a result of correlation analysis, it was found that the first three fractions of mineral phosphorus were the nearest resource of plant nutrition with this element.*

*Key words: meadow chernozemic soil, long field experience, fertilization systems, fractional composition of mineral phosphates, mobile phosphorus.*