

УДК 631.8:633.34:631.455

UDC 631.8:633.34:631.455

**ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОДВИЖНЫМИ
ФОРМАМИ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМ МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ ВНОСИМЫХ ПОД СОЮ****ENRICHMENT OF LEACHED CHERNOZEM
WITH MOVABLE FORMS OF NITROGEN,
PHOSPHOR AND POTASSIUM IN
DEPENDENCE ON RATES OF MINERAL
FERTILIZERS APPLIED UNDER SOY-BEANS**

Онищенко Людмила Михайловна
к. с.-х. н., доцент

Onishenko Lydmila Mikhailovna
Cand. Agr. Sci., associate professor

*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье приводятся сведения о влиянии макроудобрений на динамику содержания наиболее дефицитных элементов минерального питания в черноземе выщелоченном на посевах сои в условиях многолетнего стационарного опыта кафедры агрохимии. Содержание аммонийного азота в почве зависит в большей степени от азотных и фосфорных удобрений. Содержание нитратного азота значительно выше, чем аммонийного. Высокие коэффициенты корреляции ($R = 0,822 - 0,912$) говорят о достоверной эффективности вносимых удобрений в норме $N_{60}P_{120}K_{20}$; $N_{60}P_{120}K_{60}$. Повышается содержание подвижных фосфатов в почве при применении двойной и тройной норм фосфорных удобрений отдельно и в сочетании с азотными и калийными удобрениями. Среди трех вносимых макроудобрений обеспеченность почвы обменным калием определяют калийные.
УДК 631.8:633.34:631.455.

Data on influence of macro fertilizers on dynamics of content of more deficit elements of mineral nutrition in leached chernozem on sowings of soy-beans in conditions of perennial stationary experience of the chair of agrochemisrty are casted in the article. Content of ammonium nitrogen in soil depends in great extent on nitric and phosphoric fertilizers. Content of nitric nitrogen is higher than ammonium one. High coefficients of correlation ($R = 0,822 - 0,912$) speak about authentic effectiveness of applied fertilizers in the rate $N_{60}P_{120}K_{20}$; $N_{60}P_{120}K_{60}$. Content of movable phosphates in soil under application of duplex and triplicate rates of phosphor fertilizers separately and in combination with nitric and potassic fertilizers is increased. Potassic fertilizers determine soil enrichment with metabolic potassium among three applied macro fertilizers.

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМ
ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ,
АЗОТ, ФОСФОР, КАЛИЙ, МИНЕРАЛЬНЫЕ
УДОБРЕНИЯ, СОЯ.

Key words: LEACHED CHERNOZEM, MOVABLE
FORMS, NITROGEN, PHOSPHOR, POTASSIUM,
MINERAL FERTILIZERS, SOY-BEANS.

Соя по площади посевов в России является второй масличной культурой после подсолнечника. Широкое ее распространение обусловлено высоким содержанием биологически полноценного белка и высококачественного пищевого масла. На продуктивность и качество семян сои большое влияние оказывают почвенно-климатические условия, уровень агротехники, в том числе важное значение принадлежит применяемым удобрениям.

Почва, на которой возделывалась соя, характеризуется сравнительно высоким потенциальным плодородием, что обусловлено мощностью гумусового горизонта (148 см), высокой поглотительной способностью почвы (3,0–3,7 ммоль-эк/кг почвы), содержанием гумуса (2,5–2,9), преобладанием поглощенного кальция (390 ммоль-эк/кг), легкоглинистым, геловато-пылеватым гранулометрическим составом, со слабокислой – нейтральной реакцией почвенной среды (рН 6,3–6,8), благоприятными водно-физическими свойствами.

Эффективное плодородие чернозема выщелоченного слабо гумусного сверхмощного зависит от содержания валовых и подвижных форм элементов минерального питания. Решающее значение в регулировании почвенного плодородия придается рациональному, научно обоснованному применению минеральных удобрений, как важному способу повышения содержания азота, фосфора и калия в почве.

Целью наших исследований является изучение влияния различных норм и сочетаний азотных, фосфорных и калийных удобрений на содержание наиболее дефицитных элементов минерального питания в выщелоченном черноземе, в значительной степени определяющих продуктивность сои.

Поглощенный аммоний – один из источников азотного питания растений, и его определение имеет большое значение. С целью установления динамики содержания обменно-поглощенного аммония в почве проводили определение $N-NH_4$ по методике В. Т. Куркаева. Анализу подвергались свежие почвенные образцы в фазе всходов, цветения и начала бобообразования, полной спелости. Содержание поглощенного аммония в почве зависит от влажности почвы, поэтому перед анализом определяли влажность почвы.

Аммонийная форма азота, ближе стоящее соединение к синтезируемым веществам в растениях, доступна и быстрее усваивается

растениями, в связи с тем, что меньше затрачивается энергии на ее усвоение, способствует лучшему накоплению белковых веществ. Аммонийный азот не накапливается в заметных количествах в почве, так как потребляется растениями, микроорганизмами или подвергается дальнейшему превращению в почве. Содержится он преимущественно в верхних слоях почвы и гораздо сложнее перемещается по профилю пахотного горизонта, чем нитратный, так как хорошо удерживается почвенно-поглощающим комплексом, поэтому исключены его потери за счет вымывания. Из поглощенного почвой состояния $N-NH_4$ вытесняется в почвенный раствор в результате обменных реакций и усваивается растениями. Образуется $N-NH_4$ в результате процессов аммонификации благодаря аэробным и анаэробным бактериям, актиномицетам и плесневым грибам, идет этот процесс при разных значениях (рН) в условиях достаточной влажности и оптимальной температуры (Петербургский А. В., 1964;. Прянишников Д. Н, 1965;. Симакин А. И, 1988).

В опытах по выявлению действия норм и сочетаний минеральных удобрений на урожай и качество сои установлено, что вносимые минеральные удобрения под основную обработку почвы оказывали существенное влияние на содержание аммонийной формы азота в начале вегетации сои. По результатам математического анализа (дисперсионный) существенные различия по содержанию аммонийного азота в почве между вариантами опыта наблюдаются при внесении двойных и тройных норм полного удобрения. При внесении одинарной нормы полного минерального удобрения и отдельного внесения двойной дозы фосфора и калия наблюдается незначительная разница между вариантами в повышении содержания аммонийного азота в почве.

Уравнения производственных функций свидетельствуют о том, что в течение вегетации растений сои в большей степени на количество аммония

в почве влияло внесение азотных и фосфорных удобрений. В фазу всходов, цветения и начала бобообразования и полной спелости каждые внесенные 20 кг/га азотных удобрений увеличивали его количество соответственно в среднем на 0,9; 1,3; 0,7 мг/кг почвы по сравнению с контролем. Фосфорные удобрения в количестве 40 кг/га в эти же фазы способствовали увеличению содержания аммония в почве соответственно по фазам на 0,15; 0,01; 0,23 мг/кг почвы. Эффект от внесенных калийных удобрений наблюдался только в начале и конце вегетации сои. В фазу цветения и начала бобообразования положительного действия калийных удобрений на определяемый показатель не наблюдалось.

О достоверности увеличения аммония в почве под влиянием внесенных удобрений свидетельствуют средние и высокие коэффициенты корреляции (R), которые составили 0,730–0,864 (табл. 1).

Результаты регрессионного анализа говорят о большой степени влияние азотных удобрений, на содержание аммония в почве во все исследуемые фазы развития растений сои. Доля их влияния колеблется от 47,1 % до 55,8 %. Доля фосфорных значительно ниже и составляет 8 % в начале развития и 16 % к фазе полной спелости. Калийные удобрения снизили долю влияния с 10 % в фазе всходов до 3 % к концу вегетации.

Аммонийная форма азота хотя и имеет ряд преимуществ, но не может полностью обеспечить азотом питание растений. Имеется много подтверждений тому, что во многих случаях необходимо сочетать питание растений аммонийным и нитратным азотом (Симакин А. И., 1988).

Нитратный азот в почве не образует малорастворимых соединений и не поглощается почвенными коллоидами, он находится, в основном, в почвенном растворе и является основным источником азотного питания растений. Его содержание в почве зависит от обеспеченности почвы органическим веществом, влажности почвы, температуры и реакции почвенного раствора (В. Т. Куркаев, А. Х. Шеуджен, 2000).

Нитратный азот, по мнению Б. А. Ягодина (1985) является своеобразным показателем плодородия почвы. Протекает процесс нитрификации интенсивно, при благоприятной влажности почвы, 60–70 % от капиллярной влагоемкости, хорошей аэрации, оптимальной температуре 25–32°С, при реакции почвенного раствора, близкой к нейтральной 6,2–8,1. Если процесс нитрификации протекает интенсивно, то основная масса аммонийного азота быстро окисляется до нитратов.

Таблица 1 – Результаты регрессионного анализа данных содержания N-NH₄ в почве, мг/ кг

Год	Уравнение производственной функции	R
Всходы		
1998	$N=1,1+1,5N+0,7P+0,01K$	0,830
1999	$N=4,4+1,10N+0,09P+0,63K$	0,763
2000	$N=0,92-0,10N+0,12P+0,12K$	0,665
среднее	$N=2,6+0,9N+0,15P+ 0,17K$	0,864
Цветение-начало бобообразования		
1998	$N=6,8+0,82N-0,33P+0,43K$	0,562
1999	$N=9,3+1,54N+0,74P- 0,45K$	0,513
2000	$N=2,08+3,20N+0,88P+3,24K$	0,805
среднее	$N=6,3+1,3N+0,01P- 0,17K$	0,730
Полная спелость		
1998	$N=4,1-0,39N-0,1P-0,45K$	0,760
1999	$N=4,8-0,27N+0,99P- 0,13K$	0,541
2000	$N=3,94-0,28N-0,14P-0,19K$	0,839
среднее	$N=2,9+0,7N+0,23P+0,04K$	0,834

В среднем за годы исследований, в зоне неустойчивого увлажнения минеральные удобрения, вносимые под сою, способствовали увеличению

содержания нитратного азота по сравнению с естественным его содержанием в почве. Высокие коэффициенты корреляции говорят о достоверной эффективности вносимых удобрений в фазу всходов, цветения и начала бобообразования ($R=0,822-0,912$) и несколько меньшей в фазу полной спелости - $R=0,731$ (табл. 2).

Наблюдалась значительная доля влияния на содержание нитратов в почве азотных удобрений (52,3–53,1 %) в первую половину вегетации растений сои. Доля влияния фосфорных удобрений на исследуемый показатель увеличивалась к фазе цветения и начала бобообразования с 18,3 % до 22,2 %. Калийные удобрения на протяжении всего вегетационного периода растений сои долю влияния на содержание нитратов в почве практически не изменяли, и она составляла 5,1–7,2 %.

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа данных содержания $N-NO_3$ в почве, мг/кг почвы

Год	Уравнение производственной функции	R
Всходы		
1998	$N=6,90+1,81N+0,51P-0,45K$	0,858
1999	$N=3,20+1,58N-0,31P-0,06K$	0,886
2000	$N=2,50-0,02N-0,08P-0,11K$	0,380
среднее	$N=4,09+0,95N+0,13P-0,13K$	0,822
Цветение-начало бобообразования		
1998	$N=8,35+2,13N+1,00P-0,40K$	0,857
1999	$N=9,02+0,33N+0,43P+0,49K$	0,560
2000	$N=3,30+0,46N-0,04P-0,22K$	0,643
среднее	$N=6,5+1,03N+0,43P+0,15K$	0,912
Полная спелость		
1998	$N=0,57+0,30N-0,04P+0,02K$	0,664
1999	$N=9,59+0,33N+0,02P+0,33K$	0,597
2000	$N=3,3+0,46N-0,04P-0,22K$	0,643

среднее	$N=4,4+0,38N-0,05P+0,10K$	0,731
---------	---------------------------	-------

Из уравнений производственных функций, представленных в таблице 2, следует, что в отличие от азотных и фосфорных удобрений, калийные удобрения не оказывали положительного влияния на содержание нитратов в почве.

На протяжении всей вегетации сои содержание нитратного азота в 0–40 см слое почвы значительно выше, чем содержание аммонийного и даже к концу вегетации отмечается накопление этой формы азота в почве под соей. Накопление нитратного азота обнаруживаемое в почве, по мнению М. В. Федорова (1952), происходит вследствие преимущественного использования растениями сои аммонийной формы азота.

Динамика содержания нитратов в почве за все годы исследований имеет определенную закономерность по фазам роста и развития сои. Зафиксированное количество нитратов в фазу всходов повышалось к фазе цветения начала бобообразования. Такое увеличение объясняется повышением температуры и влажности почвы до оптимальной, улучшением аэрации почвы вследствие ее рыхления (проводили дважды культивацию). По мнению А. И. Симакина (1988), почвы Кубани имеют высокую способность продуцировать нитраты до июня, затем эта способность заметно снижается. Это мнение подтвердилось и в наших исследованиях.

К фазе полной спелости количество нитратов в почве заметно снижалось. Это уменьшение, по-видимому, связано не только с поглощением их растениями сои, но и с наличием дефицита влаги в почве к этому времени и установлением аномально жаркой температуры воздуха в этот период до 40°C.

Динамика содержания подвижных фосфатов под посевами сои является важнейшим фактором, определяющим уровень пищевого режима

почвы. А. И. Симакин (1988) отмечал, что количество подвижных фосфатов в почве изменяется в течение вегетации растений и зависит от влажности почвы, температуры, что внесенные удобрения значительно улучшают фосфорный режим почвы.

Для условий черноземных почв П. Е. Простаков и П. В. Носов (1964) считали, что с увеличением влажности почвы до оптимального уровня подвижность фосфатов увеличивается. С течением времени, по мере уменьшения влаги почвы, потребления растениями, количество подвижных фосфатов в почве постепенно уменьшается.

Результатами математического анализа (регрессионный) данных полевого опыта по содержанию подвижного фосфора в почве установлено, что главную роль в увеличении определяемого показателя сыграли внесенные фосфорные удобрения. Доля влияния фосфорных удобрений в фазу всходов на содержание фосфора в почве составляет 69,9 %, к последующей фазе - цветению и началу бобообразования она снизилась и составила 33,2 %, к фазе полной спелости произошло незначительное увеличение доли влияния фосфорных удобрений на содержание подвижного фосфора в почве, и она равна 38,1 %. Доли влияния азотных и калийных удобрений были незначительными.

Из уравнений производственных функций, представленных в таблице 3, видно, что каждые вносимые 40 кг фосфорных удобрений в фазы всходов, цветения и начала бобообразования, полной спелости увеличивали содержание подвижного фосфора в почве на 21,1; 7,4; и 8,5 мг/кг почвы соответственно. В фазу цветения и начала бобообразования содержание подвижного фосфора в почве изменялось также и под действием внесенных калийных удобрений. Выявлено положительное влияние вносимых азотных и калийных удобрений на содержание подвижных форм фосфора в почве в фазу полной спелости. В начале вегетации ни азотные, ни фосфорные удобрения на определяемый

показатель влияния не оказывали. Достоверное увеличение подвижных фосфатов под действием всех применяемых минеральных удобрений в фазу полной спелости подтверждается уравнением производственной функции:

$$P = 119,02 + 0,27N + 8,5P + 5,8K.$$

Степень совпадения фактических и расчетных данных в этом случае достаточно высока, так как коэффициент корреляции $R=0,808$. Причем с увеличением доз вносимых удобрений подвижность фосфатов возрастает на 0,27; 8,5; и 5,8 мг/кг почвы соответственно при внесении 20 кг азота, 40 кг фосфора и 20 кг калия.

Таблица 3 – Результаты регрессионного анализа данных содержания подвижного фосфора в почве, мг/кг

Годы	Уравнение производственной функции	R
Всходы		
1998	$P=99,52+8,92N+19,80P-0,85K$	0,757
1999	$P=114,76+0,32N+19,80P-4,02K$	0,821
2000	$P=128,70-4,4N+10,40P-5,65K$	0,664
среднее	$P=107,49-0,97N+21,07P-21,07K$	0,887
Цветение-начало бобообразования		
1998	$P=58,7+5,98N+7,92P-1,82K$	0,446
1999	$P=42,43+0,84N+8,10P+2,28K$	0,594
2000	$P=60,60+0,38N+2,0P+2,15K$	0,443
среднее	$P=57,4-1,08N+7,4P+2,25K$	0,694
Полная спелость		
1998	$P=145,22+6,47N+120,1P+5,63K$	0,604
1999	$P=85,26+0,94N+5,98P+11,53K$	0,678
2000	$P=96,10-1,24N+12,9P+5,61K$	0,835
среднее	$P=119,02+0,27N+8,5P+5,80K$	0,808

Высокая обеспеченность чернозема выщелоченного обменным калием не исключает применение калийных удобрений, так как для создания оптимальных условий калийного питания и на фоне высоких доз азотно-фосфорных удобрений необходимо вносить в почву калийные удобрения. Исследованиями Ю. Г. Погорелова (1969) установлено, что внесенные в почву калийные удобрения повышали содержание обменного калия только в первое время после их внесения, а затем количество калия в почве по вариантам мало отличалось.

Запасы обменного калия в черноземе выщелоченном увеличиваются по мере увеличения влажности почвы и уменьшаются по мере подсушивания. На динамику обменного калия влияет вынос его с урожаем (А. И. Симакин, 1988).

В начале развития сои в наших опытах на основе математического анализа данных (дисперсионный анализ) по содержанию обменного калия в почве выявлены существенные различия между всеми вариантами опыта, за исключением варианта с применением двойной дозы азотного удобрения. В последующие периоды роста и развития растений сои существенные различия по содержанию обменного калия в почве между вариантами сохранились только на варианте, где были применены калийные удобрения в тройной дозе в сочетании с азотно-фосфорными удобрениями.

Регрессионный анализ результатов опыта по содержанию в почве обменного калия в зависимости от количества и сочетаний минеральных удобрений показывает, что именно калийные удобрения оказывали положительное влияние на определяемый показатель. Из уравнений производственной функции следует, что в начальный период роста и развития сои достоверное влияние на содержание в почве обменного калия оказывали калийные и азотные удобрения. В фазу цветения и начала бобообразования, полной спелости количество обменного калия в почве повышалось под влиянием фосфорно-калийных удобрений.

Положительное действие на определяемый показатель в фазу полной спелости оказывали все применяемые минеральные удобрения в опыте.

Доминирующее влияние оказали калийные, затем фосфорные и лишь только потом азотные удобрения. О достоверности увеличения обменного калия в почве под влиянием внесенных удобрений свидетельствует средний показатель коэффициентов корреляции (R), который соответственно изменялся от 0,418 до 0,737.

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа данных содержания обменного калия в почве, мг/кг

Годы	Уравнение производственной функции	R
Всходы		
1998	$K=273,5+17,3N+6,8P+21,1K$	0,568
1999	-	-
2000	$K=104,00-1,9N-10,9P-4,03K$	0,633
среднее	$K=197,33+7,0N-3,1P+6,8K$	0,418
Цветение-начало бобообразования		
1998	$K=291,07+18,3N+7,3P+18,3K$	0,569
1999	$K=72,35+0,58N-14,5P+15,4K$	0,596
2000	-	-
среднее	$K=138,2-2,8N+7,2P+8,5K$	0,676
Полная спелость		
1998	$K=325,4-0,69N+12,05P+21,4K$	0,508
1999	$K=360,99+18,3N+14,4P+24,6K$	0,689
2000	$K=192,5+5,2N+1,21P+1,91K$	0,504
среднее	$K=292,33+5,7N+9,3P+16,1K$	0,737

Таким образом, обеспеченность чернозема выщелоченного в 0–40 см слое усвояемыми формами азота, фосфора и калия улучшается под посевами сои при внесении минеральных удобрений в течение всего периода ее вегетации. Содержание аммонийного азота в почве зависит в

большей степени от азотных и фосфорных удобрений. Содержание нитратного азота в почве под посевами сои значительно выше, чем аммонийного на протяжении всей вегетации сои. Прослеживается закономерность по всем годам: зафиксированное количество N-NO₃ в фазу всходов повышается к цветению и началу бобообразования, к фазе полной спелости снижается. К концу вегетации сои отмечается накопление этой формы азота в почве. Высокие коэффициенты корреляции (R= 0,822–0,912) говорят о достоверной эффективности вносимых удобрений в дозе N₆₀P₁₂₀K₂₀ ; N₆₀P₁₂₀K₆₀.

В среднем за годы исследований к фазе полной спелости повышается содержание подвижных фосфатов в почве по всем вариантам опыта, но больше всего их наблюдаем при применении двойной и тройной норм фосфорных удобрений отдельно и в сочетании с азотными и калийными удобрениями.

Содержание подвижных фосфатов в почве согласно уравнению производственной функции в начале вегетации зависит только от норм фосфорных и азотных удобрений, а в фазу полной спелости еще и от калийных удобрений.

Среди трех вносимых макроудобрений обеспеченность почвы обменным калием определяют калийные. Повышение содержания обменного калия в пахотном слое к фазе полной спелости в среднем за три года при внесении N₄₀ P₈₀K₄₀, и N₆₀P₁₂₀K₆₀.

Литература

1. Куркаев В.Т., Шеуджен А.К. Учебник Агрохимия. – Майкоп, ГУРИПП Адыгея, 2000. – 552 с.
2. Петербургский А.В. Корневое питание растений. – М.: Россельхозиздат. – 1964. – С. 253.
3. Погорелов Ю.Г. Формы калия в выщелоченном черноземе и использование калийных удобрений.: Автореф дис. канд. с.-х. наук. – Краснодар, 1969. – 24 с.
4. Прянишников Д.Н. Избр. Сочинения. 2 т.: М. - Колос. – 1965. – С. 93-108.

5. Симакин А.И. Удобрения, плодородие почв и урожай в условиях интенсивного земледелия. Краснодар. Кн. Изд-во.- 1988.