

УДК 631.8:631.51

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

© 2020 г. В. И. Турусов<sup>1</sup>, В. М. Гармашов<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева  
Каменная Степь 397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева,  
квартал 5, 81, Россия

\*E-mail: garmashov.63@mail.ru

Поступила в редакцию 23.03.2019 г.

После доработки 15.06.2020 г.

Принята к публикации 11.09.2020 г.

Анализ результатов многолетних исследований и модельных опытов, проведенных с целью изучения эффективности минеральных удобрений при различных способах обработки почвы (размещении удобрений в обрабатываемом слое) в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР показал, что наибольший эффект от применения минеральных удобрений N60P60K60 достигался при равномерном распределении удобрений в слое почвы 7–21...0–21 см при вспашке на глубину 20–22 см и комбинированной (сочетании различных обработок) системе обработки почвы в севообороте, построенной с учетом биологических особенностей выращиваемых культур. При таких обработках почвы средневегетационное превышение содержания нитратного азота в слое почвы 0–40 см над удобренным фоном составляло 1.9–2.5 мг/кг абсолютно сухой почвы, превышение содержания подвижного фосфора – 4.3–2.8 мг/100 г почвы, обменного калия – на 34.8 и 32.8%. Такое размещение минеральных удобрений в обрабатываемом слое обеспечило лучшее качество полученной продукции. Содержание азота в зерне ячменя было максимальным и составляло 2.20–2.18%, белка – 12.5–12.4%.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий, способ обработки почвы, глубина.

**DOI:** 10.31857/S0002188120120121

### ВВЕДЕНИЕ

Стратегическим направлением повышения эффективности земледелия и сельскохозяйственного производства является рациональное использование средств интенсификации. По оценкам ученых, использование минеральных удобрений обеспечивает от 41 до 50% прироста урожая культурных растений [1–3]. По данным ФАО, корреляция стоимости собранного урожая с объемами применения минеральных удобрений в 40 странах мира составляет в последние годы 0.85 [4]. В то же время, в силу разных причин эффективность применения удобрений в нашей стране довольно низкая. Окупаемость 1 кг NPK в хозяйствах составляет 4–6 кг зерна, тогда как оптимальным считается соотношение 10–12 кг зерна/кг NPK [5]. В связи с этим зачастую стоимость прибавки урожая от применения удобрений не окупает тех денежных затрат, которые пошли на приобретение и внесение минеральных удобрений. Поэтому поиск путей повышения эффек-

тивности применения удобрений имеет большое теоретическое и практическое значение.

Важную роль в повышении эффективности использования минеральных удобрений, наряду с другими приемами (дозы, сроки внесения и др.), играют способы их заделки, определяемые приемом обработки почвы [6–9], т.к. усвояемость питательных веществ из удобрений и почвы зависит от концентрации гранул удобрений в различных по увлажнению слоях почвы. Эффективность использования питательных веществ из почвы снижается при попадании их в слои почвы с дефицитом влаги или недостаточно увлажненные. Поэтому совершенствование технологии внесения удобрений должно осуществляться на адаптивной основе с максимальным учетом почвенно-климатических и ландшафтных условий, особенностей каждого конкретного землепользования. Такой подход обеспечит комплексное решение проблем повышения плодородия почвы, эффек-

тивности удобрений и продуктивности выращиваемых культур.

В зависимости от приема и глубины обработки почвы минеральные удобрения по-разному распределяются в пахотном слое, попадая в разные его прослойки. В модельных опытах установлено, что при вспашке в слой 0–10 см попадает 15% удобрений, в слой 10–20 см – 38, в слой 20–30 см – 47, при безотвальной обработке – соответственно 55, 31, 14% [10].

В научной литературе нет единой точки зрения относительно влияния различных приемов обработки почвы на эффективность использования минеральных удобрений. По данным [11], наибольшую эффективность имело внесение НРК на глубину 10 см и перемешивание их в слое 0–10 см. Поверхностное внесение удобрений или же перемешивание в слое почвы 5 см снижало эффект действия удобрений на 5–7%. К тому же безотвальная обработка усиливает неблагоприятную дифференциацию корнеобитаемого слоя по плодородию и снижает действие удобрений [6].

Результаты других исследований показали, что наибольший эффект от удобрений достигается при переменной по глубине и способам системе основной обработки в севообороте, формирующей мощный культурный пахотный слой [12]. В ряде работ [13, 14] отмечено, что минеральные удобрения равнозначно действуют при различных способах основной обработки почвы.

Есть исследования, где показано, что эффективность удобрений зависит как от различного размещения их в пахотном слое почвы, так и от погодных условий вегетационного периода [11].

Противоречивость мнений и выводов, существующих в научной литературе, о влиянии различных технологий основной обработки на эффективность вносимых удобрений, а также недостаточность экспериментальных данных на черноземных почвах послужили основанием для анализа собственных исследований. Цель работы – изучить влияние способов и систем механической обработки почвы на эффективность минеральных удобрений на черноземе обыкновенном (сегрегационном) в условиях юго-востока ЦЧР.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования был чернозем обыкновенный (сегрегационный) среднегумусный среднемощный, тяжелосуглинистый, с благоприятными физико-химическими и агрохимическими показателями, и агрохимической характеристикой слоя 0–30 см почвы: содержание гумуса

(по Тюрину в модификации В.Н. Симакова, ГОСТ 2613-91) – 6.48%, общего азота (по Гинзбургу) – 0.346%, общего фосфора (по Гинзбургу–Щегловой) – 0.208%, общего калия (по Ожигову) – 1.85%, азота гидролизующего (по Тюрину–Кононовой) – 61.2 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88) – 66.4 мг/кг почвы,  $pH_{KCl}$  6.99, гидролитическая кислотность – 0.57 мг-экв/100 г почвы. Обработку экспериментальных данных осуществляли дисперсионным методом математического анализа с использованием программного обеспечения ПК.

Наблюдения, анализы и учет проводили согласно действующим методикам, принятым в полевых и лабораторных исследованиях по земледелию [15–17].

В статье проанализированы результаты исследований, полученные в многолетнем полевом стационарном опыте, краткосрочном и модельных микрополевых опытах, в которых изучали различные способы и глубину основной обработки почвы с применением минеральных удобрений при ежегодном внесении N60P60K60 в виде АФК и без применения удобрений. Схема многолетнего стационарного опыта, варианты: ежегодная вспашка на глубину 20–22 см (контроль); то же на глубину 25–27 см; то же на глубину 30–32 см; то же на глубину 35–37 см; разноглубинная вспашка в севообороте двухъярусным плугом; разноглубинная вспашка в севообороте; комбинированная разноглубинная обработка в севообороте (30% – плоскорезная); комбинированная разноглубинная обработка в севообороте (60% – плоскорезная); разноглубинная плоскорезная обработка; ежегодное рыление плугом без отвалов на глубину 25–27 см. Обработки почвы изучали в 10-польном зернопропашном севообороте с чередованием культур: кукуруза на зеленый корм – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы – озимая пшеница – кукуруза на зерно – горох – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень. Повторность в опыте трехкратная, площадь делянки по обработке почвы (фактор А) – 720 м<sup>2</sup>, удобрениям (фактор В) – 360 м<sup>2</sup>, учетной – 200 м<sup>2</sup>. Исследования проводили во 2-й и начале 3-й ротациях севооборота (1988–1994 гг.). В опыте высевали сорта культур, районированных в годы проведения исследований.

Схема краткосрочного опыта: вспашка на глубину 20–22 см (контроль); вспашка ступенчатым плугом на глубину 20–30 см; вспашка двухъярусным плугом на глубину 20–22 см; вспашка на глубину 20–22 см + чизелевание на глубину 45 см; чизелевание на глубину 20–22 см; чизелевание на

глубину 45 см; обработка параплау на глубину 20–22 см; обработка плоскорезом на глубину 20–22 см; обработка стойками СибИМЭ на глубину 20–22 см; без основной обработки почвы. Повторность в опыте трехкратная, площадь делянки по обработке почвы (фактор *A*) – 720 м<sup>2</sup>, удобрениям (фактор *B*) – 360 м<sup>2</sup>, учетной – 200 м<sup>2</sup>. В опыте высевали ячмень сорта Одесский 100. Годы исследований – 1988–1991 гг.

Вспашку делянок на глубину 20–35 см проводили плугом ПН-4-35, двухъярусную вспашку – ПЯ-3-40; чизельную обработку – ПЧ-2,5; плоскорезную обработку – КПГ-250; безотвальное рыхление почвы – плугом ПН-4-35 со снятыми отвалами и плугом ПН-4-35 со стойками СибИМЭ. При посеве зерновых и зернобобовых культур использовали сеялку СЗ-3,6, пропашных культур – СУПН-8. Уборку проводили комбайном “Сампо-500”.

Изучение способов обработки почвы вели на удобренном и неудобренном фонах. На удобренном фоне удобрения вносили из расчета N60P60K60 ежегодно под основную обработку почвы, под все культуры севооборота. Удобрения на делянках вносили вручную, в разброс.

Отбор почвенных образцов производили по слоям 0–10, 10–20, 20–30, 30–40 см на первом и третьем повторениях опыта из 5-ти скважин на делянке.

Для более детального изучения эффективности минеральных удобрений в зависимости от глубины заделки и распределения в обрабатываемом слое был заложен микрополевой опыт. Схема опыта: на фоне вспашки на глубину 20–22 см удобрения N60P60K60 в виде АФК заделывали в слой почвы: 1 – 0–7 см, 2 – 7–14 см, 3 – 14–21 см, 4 – 0–14 см, 5 – 7–21 см, 6 – 0–21 см. Повторность в опыте шестикратная. Размер делянки 1.2 м × 1.2 м, площадь посевной делянки – 1.44 м<sup>2</sup>, учетной – 1.0 м<sup>2</sup>. Учет урожая проводили вручную взятием снопов. В опыте высевали ячмень сорта Одесский 100. Исследования проводили в 2007–2009 гг. Удобрения на делянках вносили вручную, с выемкой слоев почвы и смешиванием удобрений в изучаемом слое.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении различных приемов обработки почвы отвальных и безотвальных, с различным формированием обрабатываемого слоя, установлено, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР с недостаточным увлажнением наибольшая эффективность от внесенных мине-

ральных удобрений в повышении содержания нитратного азота в почве была при вспашке на глубину 20–22 см, где средневегетационное превышение содержания нитратного азота в слое почвы 0–40 см при внесении минеральных удобрений в виде АФК в дозе N60P60K60 было максимальным и составило 1.9 мг/кг абсолютно-сухой почвы по сравнению с неудобренным фоном (табл. 1).

Отсутствие перемешивания обрабатываемого слоя с минеральными удобрениями и концентрация их в верхних слоях при применении безотвальной обработки почвы приводило к снижению эффективности удобрений в повышении обеспеченности почвы нитратным азотом. При чизелевании на глубину 45 см превышение содержания нитратного азота в почве при внесении удобрений над неудобренным вариантом составило 1.5 мг/кг абсолютно-сухой почвы (а.с.), при плоскорезной обработке на глубину 20–22 см – 0.9 мг/кг а.с. почвы. При сосредоточении минеральных удобрений на поверхности почвы при нулевой обработке, эффект от их внесения был минимальным, содержание нитратного азота в слое почвы 0–40 см повысилось лишь на 0.7 мг/кг а.с. почвы.

Аналогичная закономерность прослежена и в многолетнем стационарном опыте. Наряду с тем, что при систематическом ежегодном применении способы обработки почвы оказывали большее влияние на питательный режим чернозема обыкновенного, наибольшее содержание нитратного азота в слое 0–40 см почвы также было при вспашке на глубину 20–22 см (рис. 1).

В этом же случае был и наибольший эффект от внесения удобрений. Превышение содержания нитратного азота в слое 0–40 см почвы над неудобренным фоном составило 2.5 мг/кг а.с. почвы. Систематическое применение обработки почвы без оборота пласта плоскорезной разнотравной и рыхления плугом без отвалов на глубину 25–27 см приводило к снижению содержания нитратного азота в сравнении со вспашкой на глубину 20–22 см и уменьшению эффекта от применения удобрений в повышении его содержания в почве. Сосредоточение гранул минеральных удобрений преимущественно в поверхностном слое почвы при безотвальной обработке снижало эффект от внесения удобрений. При таких агротехнических условиях превышение содержания нитратного азота в почве при внесении удобрений над естественным фоном составляло 1.3–1.2 мг/кг а.с. почвы в слое 0–40 см.

**Таблица 1.** Влияние приемов и глубины основной обработки почвы в сочетании с удобрениями под ячмень на средневегетационное содержание элементов минерального питания в слое почвы 0–40 см (1988–1991 гг.)

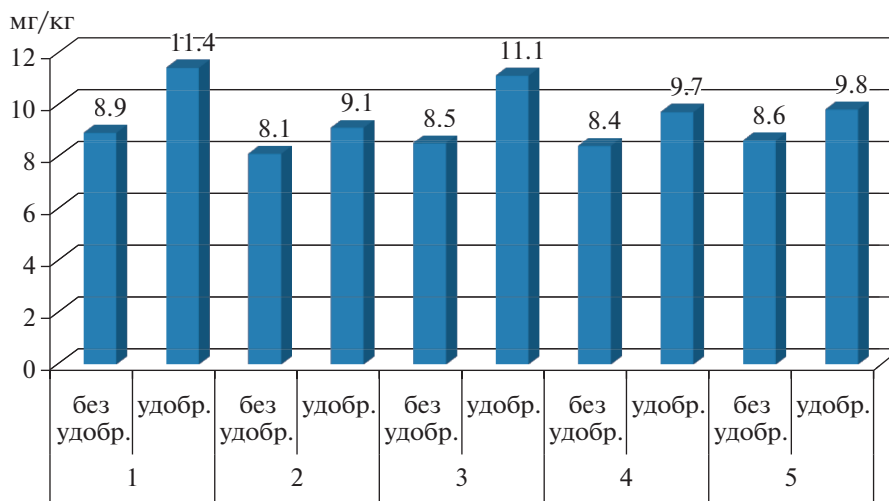
Обработка почвы и глубина	Фон	Содержание		
		N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			мг/100 г	
Вспашка на 20–22 см (контроль)	<i>A</i>	13.2	13.6	9.2
	<i>B</i>	15.1/1.9*	14.4/0.8	10.3/1.1
Чизелевание на 45 см	<i>A</i>	11.8	14.1	9.8
	<i>B</i>	13.3/1.5	15.4/1.3	10.8/1.0
Плоскорезная на 20–22 см	<i>A</i>	12.7	14.0	9.4
	<i>B</i>	13.6/0.9	15.7/1.7	10.1/0.7
Без основной обработки почвы	<i>A</i>	11.8	13.9	9.6
	<i>B</i>	12.5/0.7	15.3/1.4	10.3/0.7
<i>HCP</i> <sub>05</sub> обработка	частный эффект	2.1	1.2	1.1
	главный эффект	1.5	0.9	0.8
<i>HCP</i> <sub>05</sub> удобрение	частный эффект	1.4	0.8	0.7
	главный эффект	0.5	0.3	0.2

\*Увеличение содержания элемента в почве при внесении удобрений.

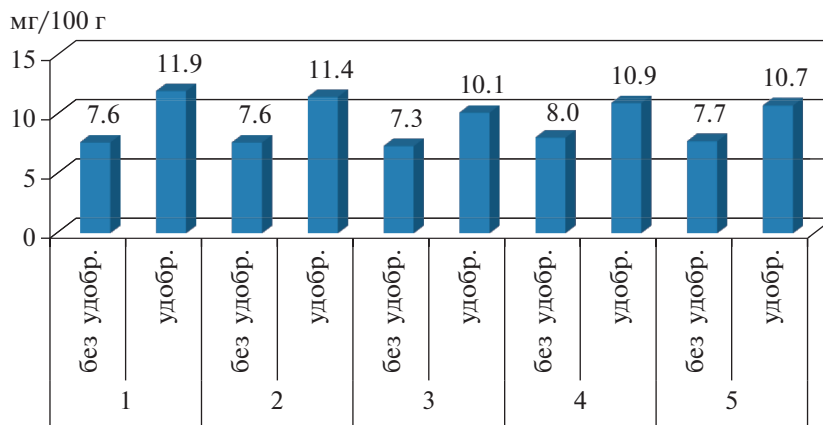
Увеличение глубины отвальной обработки почвы свыше 25–27 см с перемещением удобрений в более глубокие слои также приводит к существенному снижению содержания нитратного азота и эффективности применяемых удобрений в повышении обеспеченности чернозема обыкновенного азотом. При таком формировании обрабатываемого слоя часть нитратного азота смещается в более глубокие горизонты корнеобитаемого

слоя, и, как считают некоторые исследователи, нитратный азот, мигрировавший на глубину более 60 см, считается неэффективным в продукционных процессах для зерновых культур [18].

Применение ежегодной вспашки на глубину 25–27 см, так же как и комбинированной обработки почвы в севообороте (чередование отвальной обработки с безотвальной) с 30%-ным насыщением плоскорезной обработкой на глубину



**Рис. 1.** Содержание нитратного азота в слое 0–40 см при различных способах обработки почвы на неудобренном и удобренном фонах (средние за вегетационный период во 2-й ротации севооборота, 1988–1994 гг.): 1 – ежегодная вспашка на глубину 20–22 см, 2 – ежегодная вспашка на глубину 30–32 см, 3 – комбинированная в севообороте, 4 – плоскорезная разноглубинная, 5 – ежегодная безотвальная на глубину 25–27 см. То же на рис. 2, 3. *HCP*<sub>05</sub> частных эффектов: фактор *A* = 0.5, фактор *B* = 0.8 мг/кг.



**Рис. 2.** Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0–40 см в среднем за вегетационный период при различных системах обработки почвы во 2-й ротации 10-польного севооборота на удобренном и удобренном фонах (1988–1994 гг.).  $HCPO_5$  частных эффектов: фактор  $A = 0.7$ , фактор  $B = 0.9$  мг/100 г почвы.

10–12 см под озимые, обеспечивало нитратный режим чернозема обыкновенного в слое 0–40 см и эффект от внесения удобрений на уровне контрольного варианта – систематической вспашки на глубину 20–22 см.

Фосфор является одним из важнейших элементов минерального питания растений [19]. На данный период более 70% пахотных земель недостаточно обеспечены подвижными фосфатами и нуждаются в кардинальном улучшении фосфатного режима. В настоящее время на поля нашей страны вносят в среднем не более 2 кг  $P_2O_5$ , что в 50 раз меньше, чем в странах Европы [20].

Наряду с тем, что фосфор мало передвигается по профилю почвы, эффект от внесения фосфора с удобрениями в повышении его содержания в почве в краткосрочном опыте был несколько больше при безотвальной и нулевой обработках, где внесенные удобрения концентрировались в поверхностном слое почвы (табл. 1).

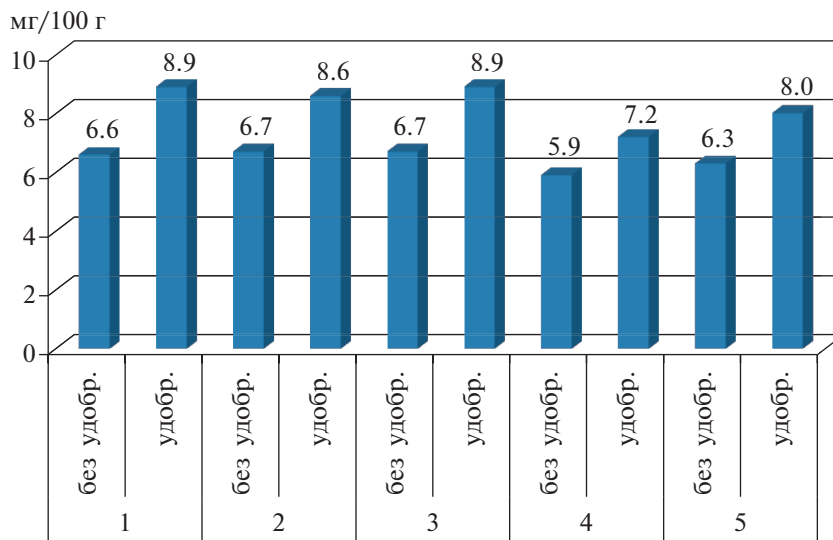
По результатам исследований, полученным в многолетнем стационарном опыте при применении удобрений, наиболее высокое содержание подвижного фосфора в слое 0–40 см почвы и наибольший эффект от применения удобрений отмечены при отвальной системе обработки – ежегодной вспашке на глубину 20–22 см, где происходило равномерное распределение гранул минеральных удобрений в слое 0–22 см почвы (рис. 2).

Систематическая безотвальная обработка почвы в севообороте не снижала содержание доступного фосфора в черноземе обыкновенном в сравнении со вспашкой на глубину 20–22 см, но уменьшила эффект от применения удобрений, как и увеличение глубины вспашки.

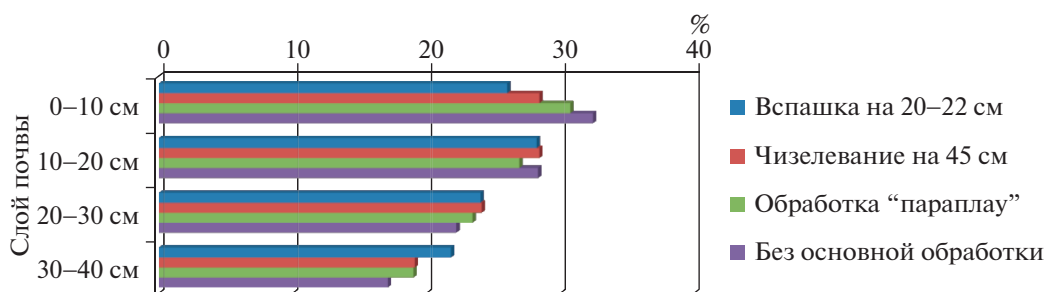
При отвальной системе обработки почвы на глубину 20–22 см отмечена большая эффективность в повышении обеспеченности почвы обменным калием при внесении удобрений (рис. 3). Превышение содержания обменного калия в слое 0–40 см почвы на удобренном фоне над неудобренным составило 34.8%, при ежегодной вспашке на глубину 25–27 см – 28.4, в системе комбинированной обработки почвы в севообороте – 32.8, плоскорезной разноглубинной – 22.0, систематической обработке почвы плугом без отвалов на глубину 25–27 см – 27.0%.

Способы и глубина основной обработки почвы определяют размещение органических остатков и вносимых удобрений в обрабатываемом слое почвы, что сказывается на уровне содержания и распределении элементов минерального питания в почвенном профиле и, соответственно, доступности их корням растений. Безотвальные способы обработки почвы (без оборачивания и перемешивания обрабатываемого слоя) приводили к сосредоточению подвижных фосфатов преимущественно в верхней (0–10 см) части пахотного слоя (рис. 4).

Безотвальные приемы обработки параплау (аналогично плоскорезом и стойками СибИМЭ) на удобренном фоне приводили к увеличению содержания подвижного фосфора в слое почвы 0–10 см по отношению к слою 0–40 см – до 30.7%, а исключение основной обработки – до 32.4%, тогда как при вспашке на глубину 20–22 см количество фосфора в этом слое почвы составляло 26.0% (к слою 0–40 см). Исключение основной обработки, а также безотвальная обработка почвы приводили к уменьшению содержания доступного фосфора в слоях 20–30 и 30–40 см. Аналогич-



**Рис. 3.** Содержание обменного калия в слое почвы 0–40 см в среднем за вегетационный период при различных системах обработки почвы во 2-й ротации 10-польного зернопропашного севооборота на неудобренном и удобренном фоне (1988–1994 гг.).  $HCP_{05}$  частных эффектов: фактор  $A = 0.6$ , фактор  $B = 0.8$  мг/100 г почвы.



**Рис. 4.** Дифференциация почвенного профиля по содержанию подвижного фосфора при различных приемах обработки почвы под ячмень на удобренном фоне (1988–1991 гг.), % к слою 0–40 см.

ная закономерность прослежена и в содержании обменного калия в почвенном профиле.

Результаты проведенных исследований в модельных микрополевых опытах по изучению влияния глубины заделки и различного распределения минеральных удобрений в пахотном слое на плодородие почвы и урожайность ячменя подтвердили результаты, полученные в краткосрочных и многолетнем стационарном опытах. В почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР наибольший эффект в повышении содержания элементов минерального питания в почве в течение вегетации от применения минеральных удобрений отмечен при их заделке в слой 7–14 см и при равномерном распределении в слое 0–21 см. Как более глубокая, так и более мелкая заделка удобрений приводили к снижению их эффективности в повышении содержания элементов минерального питания в почве (табл. 2).

При таком размещении удобрений в обрабатываемом слое отмечена и наибольшая урожайность ячменя 2.60 и 2.62 т/га (табл. 3). Наименьшая эффективность от применения минеральных удобрений показана при сосредоточении их в поверхностном слое 0–7 см почвы, в этих условиях получена и наименьшая урожайность ячменя. В среднем за 3 года она составила 2.39 т/га.

Результаты исследований по изучению влияния глубины размещения удобрений в обрабатываемом слое на продуктивность ячменя, полученные в модельном микрополевом опыте, подтвердили основные положения, установленные в предыдущих опытах.

Изучение качества получаемой продукции показало, что наибольшее содержание азота, фосфора, калия и белка в зерне ячменя отмечено при заделке минеральных удобрений в слой 0–14...7–14 см, как это происходило при отвалных спосо-

**Таблица 2.** Содержание элементов минерального питания в слое почвы 0–30 см в течение вегетационного периода ячменя при различном распределении минеральных удобрений (N60P60K60) в обрабатываемом слое почвы (2007–2009 гг.)

Слой размещения минеральных удобрений	Кушение			Колошение			Созревание		
	N-NO <sub>3</sub> *	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
0–7 см	13.7	14.6	19.0	13.9	14.9	18.6	11.1	11.8	14.7
7–14 см	14.2	14.1	19.9	14.4	15.8	21.4	13.7	13.6	17.3
14–21 см	11.8	11.6	15.9	11.7	11.8	15.7	11.5	11.5	15.9
0–21 см	13.6	13.5	17.6	13.6	11.8	15.8	13.1	12.5	16.6
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	1.9	2.5	2.7	1.9	2.4	2.4	2.1	1.9	2.3

бах обработки почвы, где содержание азота в зерне ячменя было максимальным и составляло 2.20%, а также при равномерном распределении их в слое 0–21 см, для которого этот показатель составлял 2.18% (табл. 4).

Более мелкая заделка минеральных удобрений (в слой 0–7 см), так же как и более глубокая (в слой 14–21 см) заделка, при внесении под основную обработку почвы снижали их эффективность в продукционных процессах в почвенно-клима-

тических условиях юго-востока ЦЧЗ. При заделке минеральных удобрений в слой 0–7 см содержание азота и белка в зерне ячменя снижалось на 1.8%, в слой 14–21 см – на 3.6%. При увеличении глубины заделки удобрений отмечено и снижение содержания калия в зерне ячменя – 6.1%. Снижение содержания белка в зерне на 1–2% может показаться несущественным, но увеличение белка в зерне на 1% равнозначно (по сбору белка) повышению урожайности на 6–7 ц/га [21].

**Таблица 3.** Урожайность ячменя при различной глубине заделки минеральных удобрений в обрабатываемый слой почвы (N60P60K60, 2007–2009 гг.), т/га

Вариант	Годы			Средние за 3 года
	2007	2008	2009	
Вспашка на глубину 20–22 см + N60P60K60 в слой 0–7 см	2.03	2.86	2.28	2.39
То же + N60P60K60 в слой 7–14 см	2.22	3.11	2.47	2.60
То же + N60P60K60 в слой 14–21 см	2.08	2.91	2.31	2.43
То же + N60P60K60 в слой 0–14 см	2.19	2.98	2.47	2.55
То же + N60P60K60 в слой 7–21 см	2.20	3.09	2.45	2.58
То же + N60P60K60 в слой 0–21 см	2.24	3.13	2.50	2.62
Вспашка на глубину 20–22 см без удобрений	1.82	2.69	2.21	2.24
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	0.17	–	0.18	

**Таблица 4.** Химический состав и качество зерна ячменя при различной глубине заделки минеральных удобрений (2007–2009 гг.), %

Вариант	Содержание, %			
	N	P	K	белок
Вспашка на 20–22 см без удобрений	2.04	0.36	0.47	11.6
Вспашка на глубину 20–22 см + N60P60K60 в слой 0–7 см	2.16	0.36	0.49	12.3
То же + N60P60K60 в слой 7–14 см	2.20	0.36	0.49	12.5
То же + N60P60K60 в слой 14–21 см	2.12	0.35	0.46	12.1
То же + N60P60K60 в слой 0–14 см	2.20	0.35	0.48	12.5
То же + N60P60K60 в слой 7–21 см	2.13	0.35	0.46	12.1
То же + N60P60K60 в слой 0–21 см	2.18	0.35	0.46	12.4
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	0.19	0.02	0.03	1.1

Учитывая, что возможность и эффективность потребления элементов минерального питания из почвы связана и с обеспеченностью почвы влагой, размещение гранул минеральных удобрений в более глубоких и влажных слоях пахотного горизонта обеспечивает и лучшее использование элементов минерального питания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что эффективность применения удобрений зависела от их размещения в корнеобитаемом слое. Способы и глубина основной обработки почвы определяли размещение вносимых удобрений в обрабатываемом слое почвы, что сказалось на уровне содержания и распределении элементов минерального питания в почвенном профиле и доступности их корням растений.

В почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР наибольший эффект от применения минеральных удобрений N60P60K60 получался при равномерном распределении гранул удобрений в слое 7–21...0–21 см почвы, как это происходит при вспашке на глубину 20–22 см и комбинированной системе обработки почвы в севообороте, построенной с учетом биологических особенностей выращиваемых культур. При таких обработках почвы средневегетационное повышение содержания нитратного азота в слое 0–40 см над неудобренным фоном составляло 1.9–2.5 мг/кг абсолютно сухой почвы, превышение содержания подвижного фосфора – 4.3–2.8 мг/100 г почвы, обменного калия – на 34.8 и 32.8%. Такое размещение минеральных удобрений в обрабатываемом слое обеспечивало наибольший эффект от их применения с получением максимальной урожайности и наилучшего качества продукции при содержании азота в зерне ячменя 2.20–2.18%, белка – 12.5–12.4%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прянишников Д.Н.* Об удобрении полей и севооборотах. М.: Изд-во МСХ РСФСР, 1962. 255 с.
2. *Кореньков Д.А., Синагин И.И., Петербургский А.В., Авдонин Н.С.* Удобрения, их свойства и способы использования. М.: Колос, 1982. 415 с.
3. *Ефимов В.Н., Донских И.Н., Сеницын Г.И.* Система применения удобрений. М.: Колос, 1984. 272 с.
4. Эффективность применения удобрений. URL: <http://www.activestudy.info/effektivnost-primeneniya-udobrenij/> (дата обращения 4.12.2018).
5. Движение к точности. URL: <http://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/stat/dvizhenit-k-tochhosti.htm> (дата обращения 11.12.2018).
6. *Медведев В.В.* Оптимизация агрофизических свойств черноземов. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.
7. *Сдобников С.С.* Пахать или не пахать? М., 1994. 288 с.
8. *Минакова О.А., Александрова Л.В., Тамбовцева Л.В.* Влияние 70-летнего применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного лесостепи ЦЧР и урожайность культур зерно-свекловичного севооборота // *Агрохимия*. 2009. № 4. С. 31–37.
9. *Никитин В.В., Акинчин А.В.* Биологизация земледелия в Центрально-Черноземном регионе: проблемы и решения // Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды: Мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. Белгород. НИИСХ РАСХН 12–13 июля 2012 г. Белгород, 2012. С. 192–202.
10. *Кондратенко В.Н., Хмельницкий А.А.* Какому способу основной обработки отдать предпочтение // Сахарная свекла. 2002. № 12. С. 28.
11. *Тюлин В.А., Сулягин В.П.* Повышение эффективности удобрений в условиях экологизации земледелия // Усп. совр. естествознания. 2016. № 11. С. 91–95. URL: <https://natural-sciences.ru/pdf/2016/11/36191.pdf>. (дата обращения 11.12.2018).
12. *Ильина Л.В.* Действие удобрений при разных системах обработки почвы // Ресурсосберегающие технологии обработки почвы: сб. науч. тр. ВНИИ-ЗиЗПЭ. Курск, 1989. С. 63–73.
13. Почвоохранное земледелие на склонах / сост. Мильчевская Л.Я. Киев: Урожай, 1988. 128 с.
14. *Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е.* Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
15. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. Изд. 5-е доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. *Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М.* Практикум по земледелию. Изд. 2-е доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
17. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
18. *Никитишен В.И.* Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. М.: Наука, 1984. 136 с.
19. *Минеев В.Г.* Агрохимические и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
20. *Сушеница Б.А.* Состояние проблемы фосфора в земледелии // Плодородие. 2006. № 2. С. 11–13.
21. *Артюшин А.М., Крищенко В.П.* Роль химизации в увеличении производства зерна пшеницы // Химия в сел. хоз-ве. 1984. Т. XXII. № 5. С. 8–13.



## Efficiency of Mineral Fertilizers in Various Methods of Soil Treatment

V. I. Turusov<sup>a</sup> and V. M. Garmashov<sup>a,#</sup>

<sup>a</sup> *V.V. Dokuchaev Research Institute of Agriculture of the Central Chernozem Strip  
Stone Steppe Settlement of the 2nd section of the V.V. Dokuchaev Institute, quarter 5, 81, Voronezh region, Talovsky district  
397463, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: garmashov.63@mail.ru*

The analysis of the results of long-term studies and model experiments conducted to study the effectiveness of mineral fertilizers in various methods of soil treatment (fertilizer placement in the treated layer) in the soil and climatic conditions of the South-East of the Central Asian region showed that the greatest effect of the use of fertilizers N60P60K60 is obtained with a uniform distribution of fertilizers in the soil layer 7–21...0–21 cm when plowing to a depth of 20–22 cm and a combined (combination of different treatments) soil treatment system in crop rotation, built taking into account the biological characteristics of cultivated crops. With such tillage, the average increase in nitrate nitrogen content in the soil layer of 0–40 cm above the inconvenient background is 1.9–2.5 mg/kg of completely dry soil. Excess content of mobile phosphorus is 4.3–2.8 mg 100 g of soil, exchangeable potassium-by 34.8 and 32.8%. This placement of mineral fertilizers in the treated layer provides the best quality of the products. The nitrogen content in barley grain was maximum and amounted to 2.20–2.18%, protein – 12.5–12.4%.

*Key words:* mineral fertilizers, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, exchange potassium, soil treatment method, depth.