

## ВЛИЯНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ, УДОБРЕНИЙ И ГЕРБИЦИДОВ НА ДИНАМИКУ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В ПОСЕВАХ ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ВИКО-ОВСЯНОЙ СМЕСИ

С.В. ЩУКИН, Е.А. ГОРНИЧ, А.М. ТРУФАНОВ, А.Н. ВОРОНИН, Н.В. ВАГАНОВА

(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА)

*Минимальная обработка почвы является неотъемлемым элементом ресурсосберегающих технологий, которая наряду с удобрениями и средствами защиты растения формирует условия устойчивого функционирования всей агроэкосистемы. В статье представлены данные, полученные в ходе многолетнего трехфакторного опыта за 2015–2018 гг. в посевах яровых зерновых культур (2015, 2017) и однолетних трав (2016, 2018). Опыт включал в себя четыре градации системы обработки: отвальная (От), поверхностная с рыхлением (ПР), поверхностно-отвальная (ПОт) и поверхностная (П); шесть градаций по системам удобрений: без удобрений (V0), N30 (N), солома (Сл), солома + N30 (СлN), солома + NPK (СлNPK) и NPK (NPK); две градации по гербицидам: без гербицидов (Г0) и с гербицидами (СГ). Применение поверхностной обработки почвы (П) вело к подкислению верхнего слоя на 0,08 (НСР<sub>05</sub> = 0,05) ед. при выращивании яровых зерновых культур (2015, 2017). SP способствовала увеличению содержания подвижного фосфора на 16,5 мг/кг (НСР<sub>05</sub> = 11,9) в слое 10–20 см при возделывании однолетних трав (2016, 2018). Применение ПР, ПОт и П способствовало увеличению содержания обменного калия в слое 0–10 см на 15,7–18,9 мг/кг (НСР<sub>05</sub> = 11,5). ПОт обуславливала увеличение урожайности по сравнению с системой отвальной обработки (ОТ). ПР вела к снижению урожайности однолетних трав в 2018 г. на 30,8 ц/га (НСР<sub>05</sub> = 25,2). Применение NPK и СлNPK способствовало наибольшему увеличению содержания органического вещества, подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), обменного калия (K<sub>2</sub>O) и урожайности яровых зерновых культур и однолетних трав. Применение гербицида в посевах ячменя сопровождалось увеличением урожайности культуры на 2,53 ц/га (НСР<sub>05</sub> = 1,11).*

**Ключевые слова:** обработка почвы, удобрения, гербициды, органическое вещество почвы, обменная кислотность, подвижный фосфор, обменный калий, урожайность.

### Введение

Обработка почвы является одним из важнейших элементов системы земледелия. Она существенно влияет на различные характеристики почвы, в том числе на водоудерживающую способность, скорость инфильтрации [1], температуру [2] и плотность слоения [3].

Грамотно построенная система обработки почвы может быть эффективным методом борьбы с сорняками, что создает благоприятные условия для роста и развития культурных растений [4]. Вместе с тем интенсивное механическое воздействие на почву в последнее время рассматривается как основной фактор, способствующий ее деградации [5, 6]. Альтернативой традиционным методам обработки, включающим в себя отвальную вспашку, выступают минимальные обработки, которые рассматриваются как потенциальная мера улучшения качественных характеристик почвы и сохранения органического вещества, обеспечивая тем самым смягчение последствий глобального потепления [7–11]. Однако ряд исследований указывает, что минимальные обработки почвы не всегда ведут к накоплению органического

вещества [8, 12], а лишь обеспечивают его перераспределение в пределах пахотного горизонта – с увеличением в верхнем и со снижением в нижнем слоях [13, 14]. Дифференция пахотного слоя при минимальных обработках наблюдается и по элементам питания [15, 16]. При этом можно отметить положительные стороны такого перераспределения, поскольку улучшаются структура и аэрация верхнего слоя почвы, что способствует лучшему проникновению осадков [17–19]. С другой стороны, концентрация элементов питания в верхнем слое и более высокие значения плотности и твердости нижнего слоя при минимальных обработках ограничивают рост корней культурных растений вглубь [20]. В засушливые годы это может стать серьезной проблемой, поскольку пересыхание верхнего слоя и невозможность получить воду из более глубоких слоев [21] могут привести к снижению урожайности культурных растений [22].

Концентрация органического вещества и его разложение почве в верхнем слое при минимальных обработках со временем приводят к большему накоплению ионов водорода и подкислению почвы [23, 24]. Этому также способствуют повышенная экссудация корней и нитрификация, что увеличивает кислотность в верхнем слое [25, 26]. Вместе с тем в отдельных исследованиях отмечается лишь временное подкисление почвы при снижении интенсивности ее обработки [27, 28].

Удобрения являются наиболее эффективным, доступным и быстродействующим средством, способным регулировать агрохимические свойства почвы и повысить урожайность культурных растений. При этом действие органических удобрений – таких, как навоз и торфонавозные компосты, большинство исследователей оценивают положительно в плане накопления в почве органического вещества и повышения его качества [29], а также создания благоприятного питательного режима [30]. Однако применение навоза не всегда является экономически эффективным, и в условиях современного земледелия, с целью поддержания баланса органического вещества почвы следует более пристальное внимание уделять использованию в качестве органического удобрения соломы зерновых культур.

По состоянию на 2020 г. общее количество произведенной соломы оценивается в более чем 5 млрд т [31], что делает данное удобрение наиболее доступным средством управления балансом почвенного углерода. Однако внесение соломы может стать причиной временного дефицита азота [31] и фосфора [32] вследствие иммобилизации. Данный дефицит можно устранить за счет совместного использования соломы и минеральных удобрений, что повышает ее эффективность [34, 35].

Внесение же одних минеральных удобрений наряду с улучшением питательного режима может неоднозначно влиять на реакцию почвенной среды и содержание органического вещества. Ряд исследователей отмечает, что при внесении повышенных доз минеральных удобрений наблюдалось подкисление почвенного раствора [36] и ускорялась минерализация органического вещества [37]. С другой стороны, сбалансированное минеральное питание растений способствует лучшему росту и развитию культурных растений, а следовательно, формированию большего количества пожнивных и коневых остатков, возвращаемых в почву [3, 39].

Неоднозначность выводов и оценок влияния разных систем основной обработки почвы и удобрений на динамику ее агрохимических характеристик, а также недостаточное освещение данных вопросов на фоне использования гербицидов требуют их более глубокого рассмотрения в системе чередования зерновых культур и однолетних трав. В связи с этим целью исследований было изучение влияния минимальной обработки, удобрений и гербицидов на содержание в почве органического вещества и элементов питания, обменную кислотность, урожайность яровых зерновых культур и однолетних трав.

## Методика исследований

Многолетний полевой эксперимент проводился на дерново-подзолистой глееватой среднесуглинистой почве Ярославской области. Опыт был заложен в 1995 г. В статье представлены исследования с 2015 по 2018 гг. Чередувание культур в годы исследований: 2015 (ячмень) – 2016 (однолетние травы – вико-овсяная смесь) – 2017 (яровая пшеница) – 2018 (однолетние травы – вико-овсяная смесь).

Схема трехфакторного опыта включала в себя 48 вариантов.

**А. Система обработки почвы.** 1. Отвальная: дискование на 8–10 см и вспашка на 20...22 см – От. 2. Поверхностная с рыхлением: дискование на 8–10 см и рыхление на 25–27 см 1 раз в 4 года + дискование на глубину 6–8 см в остальные 3 года – Пр. 3. Поверхностно-отвальная: дискование на 8–10 см и вспашка на 20–22 см 1 раз в 4 года + дискование на 6–8 см в остальные 3 года – Пот. 4. Поверхностная: дискование на 6...8 см, ежегодно – П.

**В. Система удобрений.** 1. Без внесения удобрений – У0. 2. Азотные удобрения (30 кг д.в.) – N. 3. Солома (доза 3 т/га) – Сл. 4. Солома (3 т/га) с азотными удобрениями (10 кг д.в. на 1 т соломы), Сл N. 5. Солома (доза – 3 т/га) с минеральными удобрениями – СлNPK. 6. Минеральные удобрения – NPK.

Расчет минеральных удобрений производился на планируемую прибавку урожая.

**С. Система гербицидов.** 1. Без гербицидов – Г0. 2. С гербицидами (в 2015 – Линтур; в 2016, 2017, 2018 гербициды не вносились – изучалось их последствие) – СГ.

Метеорологические данные за время проведения исследований значительно варьировали и характеризовались низкими температурами в мае и июне при возделывании яровой пшеницы (2017) и недобором осадков в течение всего периода вегетации однолетних трав (2018).

Данные обрабатывались с помощью дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа с использованием программ Disant и Statistica 12.

## Результаты и их обсуждение

*Органическое вещество почвы.* Применение систем минимальной обработки (Пр, Пот, П) вело к незначительному ( $F_f < F_{05}$ ) увеличению содержания органического вещества в почве на 0,08–0,15 п.п. в посевах яровых зерновых культур (2015, 2017) и на 0,07–0,09 п.п. в посевах однолетних трав (2016, 2018).

Наши исследования свидетельствуют о том, что минимальные обработки почвы (Пр, Пот, П) вели к перераспределению содержания органического вещества почвы с увеличением значений в верхнем и со снижением в нижнем слоях, что согласуется с данными Z. Du et al. [13], Q. Gao et al. [14].

Действие удобрений носило неоднозначный характер и зависело как от вида удобрения, так и от исследуемой группы культур. Так, в посевах яровых зерновых (2015, 2017) наблюдалось увеличение содержания органического вещества по всем фоновым питанием при наибольших значениях при внесении СлNPK и NPK (3,00 и 2,99% соответственно). Это объясняется прямым действием соломы как органического удобрения на вариантах Сл, СлN, СлNPK, и косвенным – на варианте NPK, где сбалансированный фон питания обеспечил формирование более высокой урожайности ячменя и яровой пшеницы, а следовательно, и больший объем пожнивных и коневых остатков, поступающих в почву [39].

Сбалансированные фоны питания (СлNPK, NPK) способствовали существенному увеличению содержания органического вещества при возделывании однолетних трав (2016, 2018) на 0,63 и 0,42 п.п. ( $HCP_{05} = 0,11$ ) соответственно. Внесение

отдельно азотных удобрений (N) вело к снижению значений изучаемого показателя на 0,21 п.п. ( $HCP_{05} = 0,11$ ), что связано с усилением микробиологической активности почвы [40]. Заделка соломы (Сл) также способствовала снижению содержания органического вещества 0,15 п.п. ( $HCP_{05} = 0,11$ ), что, вероятно, связано с иммобилизацией азота микроорганизмами [33]. По данным И.Г. Широких и др. [41], дефицит минерального азота может способствовать увеличению численности аммонифицирующей микрофлоры и скорости микробного разложения органического вещества. Солома, заделанная в почву с азотными удобрениями, снижала риск иммобилизации и, следовательно, минерализации органического вещества [31].

Следует отметить, что снижение содержания органического вещества почвы при внесении отдельно соломы (Сл) и азотных (N) удобрений носило временный характер и проявлялось лишь при возделывании однолетних трав (2016, 2018), то есть на следующий год после выращивания зерновых культур (2015, 2017), солома и растительные остатки которых заделывалась в почву. Последствие соломы (Сл) в посевах яровых зерновых (2015, 2017) обуславливало увеличение содержания органического вещества в почве.

Действие и последствие гербицидов в среднем по группам культур яровые зерновые (2015, 2017) и однолетние травы (2016, 2018) характеризовались незначительным ( $F_f < F_{05}$ ) снижением содержания органического вещества. Вместе с тем в посевах ячменя (2015) наблюдалось существенное снижение изучаемого показателя на 0,12 п.п. в слое 0–10 см ( $HCP_{05} = 0,11$ ) и 0,15 п.п. в слое 10–20 см ( $HCP_{05} = 0,06$ ). Как показывают исследования, это было связано с изменением динамики однолетних сорных растений, заделываемых в почву при обработке, что свидетельствует об определенной экологической роли сорняков [42] и требует отдельного рассмотрения.

*Обменная кислотность почвы.* Проведение ежегодной поверхностной обработки (П) обуславливало достоверное увеличение кислотности верхнего слоя почвы (0–10 см) на 0,08 ед. ( $HCP_{05} = 0,05$ ) при выращивании яровых зерновых культур (2015, 2017). Это объясняется повышенной концентрацией органического вещества и его разложением с выделением ионов водорода, которые были связаны органическими анионами, что ведет к подкислению почвы [23, 24]. Чередование поверхностных обработок с глубоким рыхлением в системе ПР и с отвальной обработкой в системе ПОТ обеспечило формирование реакции почвенной среды на уровне системы ОТ.

Внесение азотных (N) и полной нормы минеральных (NPK) удобрений способствовало достоверному увеличению кислотности почвы в посевах яровых зерновых культур (2015, 2017) на 0,09 и 0,06 ед. ( $HCP_{05} = 0,04$ ) соответственно. Это может быть связано с увеличением подвижности кальция и вытеснением его из почвенно-поглощающего комплекса [43], а также отчуждением оснований кальция и магния с товарной частью получаемой продукции при увеличении урожайности [44]. Последнее можно было наблюдать при внесении NPK под яровые зерновые (2015, 2017) и СлNPK под однолетние травы (2016, 2018), однако данные изменения носили временный характер. Внесение одной соломы (Сл) под посев однолетних трав способствовало увеличению  $pH_{KCl}$  почвы на 0,10 ед. ( $HCP_{05} = 0,07$ ). Это согласуется с исследованиями В.И. Макарова и др. [45], которые отмечали нейтрализующее влияние данного удобрения за счет накопления карбонатов кальция и магния в минерализате соломы.

В результате исследований установлена средняя отрицательная связь между содержанием в почве органического вещества и  $pH_{KCl}$  в годы возделывания однолетних трав (2016:  $r = -0,37$ ,  $p = 0,009$ ; 2018:  $r = -0,66$ ,  $p < 0,001$ ), а также отсутствие данной связи в посевах яровых зерновых (2015:  $r = 0,03$ ,  $p = 0,820$ ; 2017:  $r = 0,04$ ,  $p = 0,770$ ), что указывает на определенную роль времени заделки растительных остатков и соломы в динамике  $pH_{KCl}$  почвы.

Использование гербицидов не оказало влияния на  $pH_{KCl}$  почвы.

Таблица 1

**Содержание органического вещества и агрохимические свойства почвы  
за период 2015–2018 гг.**

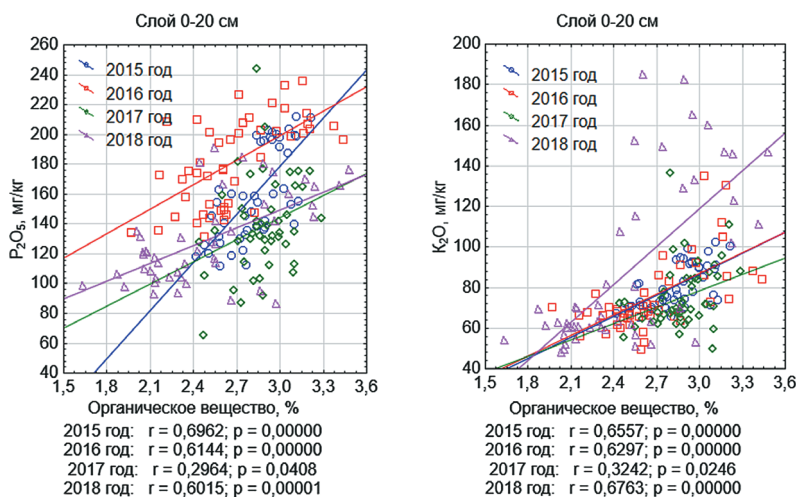
Группа культур	Вариант	Органическое вещество, %			рН КCl			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг			K <sub>2</sub> O, мг/кг		
		слой почвы, см											
		0–10	10–20	0–20	0–10	10–20	0–20	0–10	10–20	0–20	0–10	10–20	0–20
<b>А. Система обработки почвы</b>													
Яровые зерновые	ОТ	2,78	2,77	2,77	5,62	5,62	5,62	154,3	151,3	152,8	75,3	74,2	74,8
	ПР	2,93	2,77	2,85	5,58	5,59	5,58	145,0	143,6	146,8	77,5	72,3	74,9
	ПОТ	2,98	2,87	2,92	5,61	5,59	5,60	158,8	139,9	149,4	<b>84,7a</b>	80,5	82,6
	П	2,95	2,77	2,86	<b>5,54a</b>	5,58	5,56	158,2	137,3	147,8	<b>82,3a</b>	77,0	79,7
Однолетние травы	ОТ	2,55	2,51	2,53	5,66	5,66	5,66	159,6	147,5	153,5	73,3	74,4	73,8
	ПР	2,61	2,59	2,60	5,65	5,66	5,66	157,6	151,1	154,4	<b>89,0a</b>	74,7	81,9
	ПОТ	2,66	2,53	2,60	5,61	5,69	5,65	164,1	<b>164,0a</b>	164,0	<b>92,2a</b>	82,9	87,5
	П	2,70	2,53	2,62	5,62	5,67	5,64	152,4	145,2	148,8	<b>90,6a</b>	76,8	83,7
<b>В. Система удобрения</b>													
Яровые зерновые	У0	2,63	2,63	2,63	5,61	5,62	5,62	115,2	109,8	112,5	71,1	70,9	71,0
	N	2,82	2,68	2,75	5,55	<b>5,51b</b>	<b>5,53b</b>	134,3	125,8	<b>130,0b</b>	70,6	65,7	68,1
	Сл	<b>2,86b</b>	2,82	2,83	5,61	5,62	5,61	152,5	<b>142,2b</b>	<b>147,3b</b>	74,5	67,0	70,7
	СлN	<b>2,98b</b>	2,82	<b>2,90b</b>	5,61	5,59	5,60	156,3	<b>140,4b</b>	<b>148,3b</b>	75,7	69,6	72,6
	СлNPK	<b>3,08b</b>	<b>2,93b</b>	<b>3,00b</b>	5,57	5,64	5,61	188,6	<b>173,1b</b>	<b>180,8b</b>	<b>96,6b</b>	<b>93,9b</b>	<b>95,3b</b>
	NPK	<b>3,08b</b>	<b>2,90b</b>	<b>2,99b</b>	5,55	5,58	<b>5,56b</b>	185,1	<b>167,0b</b>	<b>176,1b</b>	<b>91,3b</b>	<b>88,9b</b>	<b>90,1b</b>
Однолетние травы	У0	2,48	2,49	2,48	5,64	5,64	5,64	133,6	123,3	128,5	64,4	61,8	63,1
	N	<b>2,32b</b>	<b>2,23b</b>	<b>2,27b</b>	5,62	5,66	5,64	137,1	<b>138,7b</b>	137,9	64,5	60,1	62,3
	Сл	2,40	<b>2,25b</b>	<b>2,33b</b>	<b>5,75b</b>	<b>5,74b</b>	<b>5,74b</b>	154,9b	<b>143,0b</b>	<b>148,9b</b>	69,1	60,0	64,5
	СлN	2,43	2,40	2,42	5,66	5,72	5,69	140,4b	<b>139,0b</b>	<b>139,7b</b>	70,0	58,9	64,4
	СлNPK	<b>3,18b</b>	<b>3,04b</b>	<b>3,11b</b>	<b>5,55b</b>	5,57	<b>5,56b</b>	190,2b	<b>181,6b</b>	<b>185,9b</b>	<b>119,7b</b>	<b>107,3b</b>	<b>113,5b</b>
	NPK	<b>2,96b</b>	<b>2,84b</b>	<b>2,90b</b>	5,58	5,68	5,63	194,3b	<b>186,1b</b>	<b>190,2b</b>	<b>130,1b</b>	<b>115,1b</b>	<b>122,6b</b>
<b>С. Система гербицидов</b>													
Яровые зерновые	Г0	2,98	2,84	2,90	5,59	5,60	5,59	158,0	143,4	150,7	80,1	76,6	78,4
	СГ	2,84	2,76	2,80	5,58	5,59	5,59	152,7	142,7	147,7	79,8	75,4	77,6
Однолетние травы	Г0	2,66	2,54	2,60	5,64	5,66	5,65	154,9	148,9	151,9	85,8	78,0	81,9
	СГ	2,60	2,55	2,57	5,63	5,68	5,66	161,9	154,9	<b>158,4c</b>	86,8	76,3	81,5

**Примечание.** Значения существенны на 0,05%-ном уровне значимости: **a** – для систем обработки почвы; **b** – для систем удобрения; **c** – для систем гербицидов.

*Подвижный фосфор и обменный калий почвы.* Исследованиями установлена средняя положительная связь содержания органического вещества в почве с элементами питания растений (рис. 1).

Изучаемые системы обработки не оказали существенного влияния на содержание подвижного фосфора в почве при выращивании яровых зерновых культур (2015, 2017) (табл. 1). Применение поверхностно-отвальной обработки (ПОт) в посевах однолетних трав (2016, 2018) способствовало увеличению подвижного фосфора в слое 10–20 см на 16,5 мг/кг ( $HCP_{05} = 11,9$ ).

Применение систем поверхностной (П) и поверхностно-отвальной обработки (ПОт) в посевах яровых зерновых культур (2015, 2017) способствовало существенному увеличению содержания обменного калия в верхнем слое почвы (0–10 см) на 7,0 мг/кг и 9,4 мг/кг ( $HCP_{05} = 4,9$ ) соответственно (табл. 1). В посевах однолетних трав (2016, 2018) системы минимальной обработки (ПР, ПОт, П) обуславливали достоверное увеличение содержания обменного калия в верхнем слое почвы (0–10 см) на 15,7–18,9 мг/кг ( $HCP_{05} = 11,5$ ). Система поверхностно-отвальной обработки (ПОт) вела к формированию наибольших значений по изучаемому элементу питания в течение всего периода исследований 2015–2018 гг.



**Рис. 1.** Связь содержания в почве органического вещества и элементов питания ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ )

Перераспределение элементов питания ( $P_2O_5$  и  $K_2O$ ) по слоям зависело от системы обработки и вносимых удобрений. Достоверное увеличение содержания подвижного фосфора при минимизации обработки наблюдалось лишь при применении ПОт в посевах однолетних трав (2016, 2018). Отсутствие достоверных изменений в посевах яровых зерновых (2015, 2017) и более выраженная дифференциация пахотного горизонта объясняются более прочной связью фосфора с органическим веществом, поступающим с соломой и растительными остатками зерновых культур. Переход фосфора в минеральные формы происходил по мере разложения мортмассы на следующий год, что согласуется с данными О.А. Власенко [15]. При этом сочетание поверхностных и отвальных обработок в системе ПОт определяло лучшие условия трансформации органических соединений в плане увеличения содержания подвижного фосфора в почве.

Минимальные обработки (ПР, ПОт, П) обуславливали накопление обменного калия в верхнем слое (0–10 см), тогда как ежегодная вспашка в системе отвальной обработки (ОТ) формировала гомогенное строение пахотного горизонта, что согласуется

с данными других исследователей [15, 46]. При этом растительные остатки и удобрения, заделанные в верхний слой, обеспечивали их лучшую трансформацию и достоверное увеличение содержания  $K_2O$  по сравнению с отвальной обработкой (ОТ).

Применяемые удобрения способствовали росту содержания  $P_2O_5$  в почве при возделывании яровых зерновых (2015, 2017) в слое 10–20 см на 16,0–63,3 мг/кг ( $HCP_{05}=20,9$ ). Максимальное значение (173,06 мг/кг) было получено при внесении СлНПК. Аналогичная динамика наблюдалась в посевах однолетних трав (2016, 2018).

Все изучаемые удобрения обуславливали увеличение обменного калия в почве пахотного слоя при наибольших значениях на вариантах СлНПК и НПК. Применение НПК и СлНПК способствовало увеличению  $K_2O$  в почве в посевах как яровых зерновых культур (2015, 2017) на 18,0–20,2 мг/кг ( $HCP_{05}=7,1$ ), так и однолетних трав (2016, 2018) на 53,3–65,7 мг/кг ( $HCP_{05}=22,6$ ).

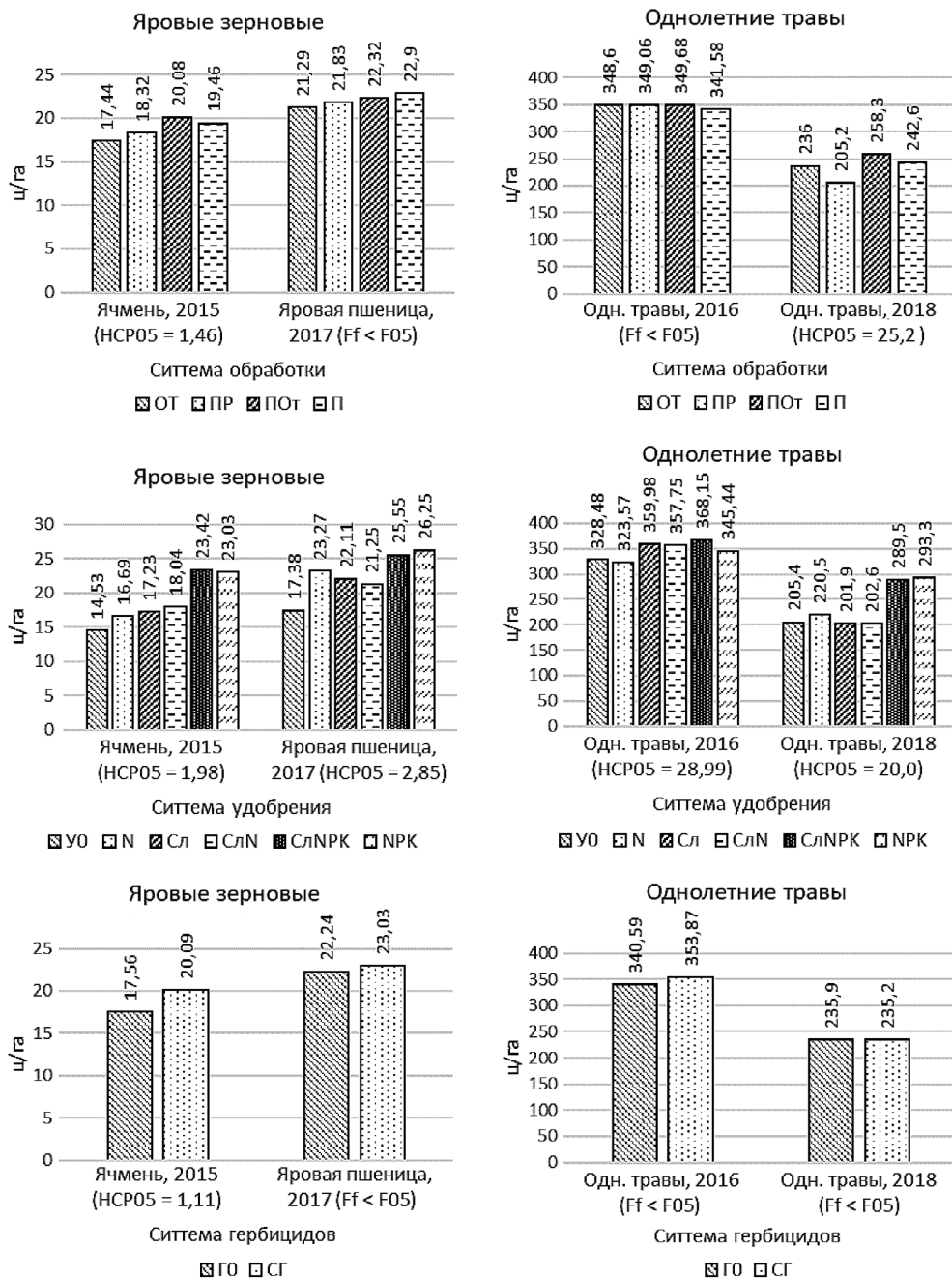
Внесение азотных удобрений (N) приводило к увеличению содержания подвижного фосфора и не влияло на динамику обменного калия. Это может быть связано с усилением микробиологической активности почвы и сопутствующей ей минерализацией органического вещества почвы, которое наблюдалось при внесении азотных удобрений (N), на что указывают исследования J. Wang et al. [40]. Внесение Сл и СлN также вело к увеличению содержания  $P_2O_5$  в почве пахотного слоя.

Гербициды не влияли на динамику обменного калия в почве. Действие и последствие гербицидов в посевах яровых зерновых культур (2015, 2017) не оказали существенного влияния на накопление подвижного фосфора в почве пахотного слоя, тогда как в посевах однолетних трав (2016, 2018), наоборот, последствие гербицидов способствовало достоверному увеличению содержания подвижного фосфора на 6,50 мг/кг (4,28%). Это может быть связано с динамикой показателей обилия многолетних видов сорных растений, которые при общем снижении численности характеризовались более высокой биомассой, что требует отдельного рассмотрения.

*Урожайность культурных растений.* Системы обработки ПОт и П способствовали существенному увеличению урожайности ярового ячменя (2015) на 2,64 и 2,02 ц/га соответственно (рис. 2). Аналогичная тенденция наблюдалась в посевах яровой пшеницы (2017) и однолетних трав (2018). Это связано с большим содержанием элементов питания в почве по данным системам обработки. Была установлена тесная связь между урожайностью культуры и содержанием подвижного фосфора ( $r=0,80$ ;  $p<0,001$ ) и обменного калия ( $r=0,83$ ;  $p<0,001$ ).

Применение поверхностной с рыхлением обработки (ПР) сопровождалось существенным снижением урожайности однолетних трав (2018) на 30,8 ц/га ( $HCP_{05}=25,2$ ). Такая динамика в основном наблюдалась по низким фонам питания (У0, N, Сл и СлN), что, вероятно, объясняется более низким содержанием фосфора на данных вариантах. Кроме того, в условиях засушливого года дифференциация пахотного горизонта по содержанию обменного калия также могла повлиять на рост и развитие однолетних трав (2018). На это косвенно указывает то, что сильная положительная связь между содержанием изучаемых элементов питания и урожайностью наблюдалась только на делянках с ресурсосберегающими обработками (ПР, ПОт, П), а на делянках с отвальной она была несущественной ( $p<0,05$ ) (рис. 3). Однако данный вопрос требует дальнейшего изучения.

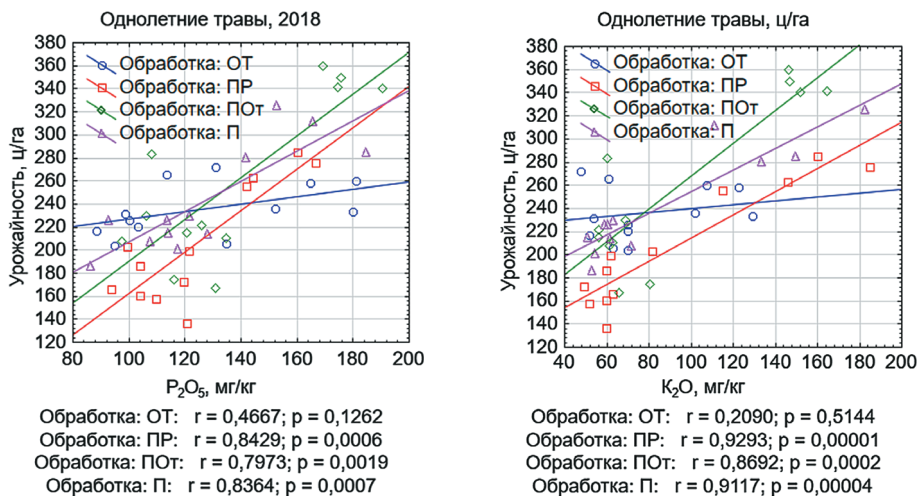
Внесение удобрений, и особенно СлНПК, НПК, способствовало росту урожайности культурных растений за счет лучшей обеспеченности элементами питания. Прибавка относительно фона без удобрений (У0) составила соответственно для ячменя (2015) 8,89 и 8,5 ц/га; однолетних трав (2016) – 39,67 и 16,98 ц/га; яровой пшеницы (2017) – 8,17 и 8,87 ц/га; однолетних трав (2018) – 84,1 и 87,9 ц/га.



**Рис. 2.** Урожайность культурных растений за период 2015–2018 гг.

Применение в 2015 г. гербицида способствовало увеличению урожайности ячменя (2015) на 2,53 ц/га (НСР<sub>05</sub> = 1,11). В последующие годы наблюдалось опосредованное влияние препарата, связанное с изменением показателей обилия сорных растений. Однако данный вопрос требует отдельного рассмотрения. Вместе с тем можно отметить, что наиболее высокая урожайность ячменя (27,4 ц/га) в 2015 г. и однолетних трав (461,6 ц/га) в 2016 г. была получена при применении системы обработки (ПОт) по фону СлNPK с гербицидами.





**Рис. 3.** Связь содержания элементов питания с урожайностью однолетних трав (2018) по разным системам обработки почвы

### Выводы

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что минимальные системы обработки (ПР, ПОТ и П) вели к перераспределению содержания органического вещества и элементов питания ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) в почве с увеличением значений в верхнем и со снижением в нижнем слоях. При этом в посевах однолетних трав система ПОТ обеспечивала увеличение содержания  $P_2O_5$  в нижнем слое на 16,5 мг/кг ( $HCP_{05} = 11,9$ ), а системы ПР, ПОТ и П – увеличение содержания  $K_2O$  в верхнем слое на 15,7–18,9 мг/кг ( $HCP_{05} = 11,5$ ). Применение поверхностной обработки почвы (П) при выращивании яровых зерновых культур вело к подкислению верхнего слоя на 0,08 ( $HCP_{05} = 0,05$ ) ед. Системы ПОТ и П обуславливали увеличение урожайности ячменя (2015) на 2,64 и 2,02 ц/га соответственно. Применение ПР приводило к снижению урожайности однолетних трав (2018) на 30,8 ц/га ( $HCP_{05} = 25,2$ ).

Действие N и NPK способствовало увеличению кислотности почвы в посевах яровых зерновых культур на 0,09 и 0,06 ед. ( $HCP_{05} = 0,04$ ). Соответственно внесение Сл под посев однолетних трав способствовало увеличению  $pH_{KCl}$  почвы на 0,10 ед. ( $HCP_{05} = 0,07$ ). Однако подкисление почвы носило временный характер. Применение NPK и СлNPK способствовало увеличению содержания элементов питания в почве, что вело к формированию и большей урожайности культурных растений.

Применение гербицида в посевах ячменя сопровождалось увеличением урожайности культуры на 2,53 ц/га ( $HCP_{05} = 1,11$ ).

### Библиографический список

1. Das A. Tillage and cropping sequence effect on physico-chemical and biological properties of soil in Eastern Himalayas, India / A. Das, D. Lyngdoh, P.K. Ghosh, R. Lal, J. Layek, R.G. Idapuganti // Soil and Tillage Research. – 2018. – Vol. 180. – Pp. 182–193.
2. Kladviko E.J. Tillage systems and soil ecology / E.J. Kladviko // Soil and Tillage Research. – 2001. – Vol. 61. – Iss. 1–2. – Pp. 61–76.
3. Swanepoel P.A. Tillage effects, soil quality and production potential of kikuyu-ryegrass pastures in South Africa / P.A. Swanepoel, J. Habig C.C. du Preez H.A. Snyman, P.R. Botha // Grass Forage Science. – 2017. – Vol. 72. – Pp. 308–321.

4. *Lal R.* Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming / R. Lal, D.C. Reicosky, J.D. Hanson // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – Vol. 93. – Iss. 1. – Pp. 1–12.
5. *Dendooven L.* Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico / L. Dendooven, V.F. Gutiérrez-Oliva L. Patiño-Zúñiga D.A. Ramírez-Villanueva N. Verhulst, M. Luna-Guido R. Marsch, J. Montes-Molina F.A. Gutiérrez-Miceli S. Vásquez-Murrieta B. Govaerts // *Science of The Total Environment*. – 2012. – Vol. 431. – Pp. 237–244.
6. *Swanepoel P.A.* Managing cultivated pastures for improving soil quality in South Africa: challenges and opportunities / P.A. Swanepoel, P.R. Botha C.C. du Preez H.A. Snyman, J. Labuschagne // *African J. Range Forage Sci.* – 2015. – Vol. 32. – Pp. 91–96.
7. *Lal R.* Challenges and opportunities in soil organic matter research / R. Lal // *European Journal of Soil Science*. – 2009. – Vol. 60. – Pp. 158–169.
8. *Palm C.* Conservation agriculture and ecosystem services: an overview / C. Palm H. Blanco-Canqui F. DeClerck L. Gatere, P. Grace // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2014. – Vol. 187. – Pp. 87–105.
9. *Bai X.* Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: a meta-analysis / X. Bai, Y. Huang, W. Ren, M. Coyne, P.A. Jacinthe, B. Tao, D. Hui, J. Yang, C. Matocha // *Glob Change Biol.* – 2019. – Vol. 25. – Pp. 2591–2606.
10. *Gao L.* Effects of different long-term tillage systems on the composition of organic matter by <sup>13</sup>C CP/TOSS NMR in physical fractions in the Loess Plateau of China / L. Gao, B. Wang, S. Li, Y. Han, X. Zhang, D. Gong, M. Ma, G. Liang, H. Wu, X. Wu, D. Cai, A. Degré // *Soil and Tillage Research*. – 2019. – Vol. 194. – P. 104321.
11. *Wang H.* No tillage increases soil organic carbon storage and decreases carbon dioxide emission in the crop residue-returned farming system / H. Wang, S. Wang, Q. Yu, Y. Zhang, R. Wang, J. Li, X. Wang // *Journal of Environmental Management*. – 2020. – Vol. 261. – P. 110261.
12. *Li, Y.* Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: implications for conservation agriculture / Y. Li, Z. Li, S.X. Chang, S. Cui, S. Jagadamma, Q. Zhang, Y. Cai // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 740. – P. 140147.
13. *Du, Z.* The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: a meta-analysis / Z. Du, D.A. Angers, T. Ren, Q. Zhang, G. Li // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2017. – Vol. 236. – Pp. 1–11.
14. *Gao Q.* Conservation tillage for 17 years alters the molecular composition of organic matter in soil profile / Q. Gao, L. Ma, Y. Fang, A. Zhang, G. Li, J. Wang, D. Wu, W. Wu, Z. Du // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 762. – P. 143116.
15. *Власенко О.А.* Режим питания растений в агрочерноземах в зависимости от приемов основной обработки // *Вестник КрасГАУ*. – 2020. – № 6 (159). – С. 11–19.
16. *Kirkegaard J.A.* Sense and nonsense in conservation agriculture: principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems / J.A. Kirkegaard, M.K. Conyers, J.R. Hunt, C.A. Kirkby, M. Watt, G.J. Rebetzke // *Agric. Ecosyst. Environ.* – 2014. – Vol. 187. – Pp. 133–145.
17. *Franzluebbbers A.J.* Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality // *Soil and Tillage Research*. – 2002. – Vol. 66. – Pp. 95–106.
18. *Franzluebbbers A.J.* Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA / A.J. Franzluebbbers, H.H. Schomberg, D.M. Endale // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – Vol. 96. – Pp. 303–315.
19. *Zhao X.* Stratification and storage of soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage practices in the North China Plain / X. Zhao, J.F. Xue, X.Q. Zhang, F.L. Kong, F. Chen, R. Lal, H.L. Zhang // *PLoS One*. – 2015. – Vol. 10. – Pp. 0128873.
20. *Hamza M.A.* Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions / M.A. Hamza, W.K. Anderson // *Soil and Tillage Research*. – 2005. – Vol. 82. – Pp. 121–145.

21. *Nunes M.R.* Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage / M.R. Nunes, J.E. Denardin, E.A. Pauletto, A. Faganello L.F.S. Pinto // *Soil and Tillage Research* – 2015. – Vol. 148. – Pp. 119–126.
22. *Лустонадов И.Н.* Минимализация, а не упрощение // *Земледелие*. – 2007. – № 1. – С. 25–27.
23. *Limousin D.* Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification / D. Limousin, D. Tessier // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – Vol. 92. – Pp. 167–174.
24. *Li, Y.* Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture / Y. Li, Z. Li, S. Cui, Q. Zhang // *Geoderma*. – 2020. – Vol. 361. – P. 114099.
25. *Sithole N.J.* Conservation Agriculture and its impact on soil quality and maize yield: A South African perspective / N.J. Sithole, L.S. Magwaza, P.L. Mafongoya // *Soil and Tillage Research*. – 2016. – Vol. 162. – Pp. 55–67.
26. *Malik A.A.* Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes / A.A. Malik, J. Puissant, K.M. Buckeridge, T. Goodall, N. Jehmlich, S. Chowdhury, H.S. Gweon, J.M. Peyton, K.E. Mason, M. van Agtmaal A. Blaud, I.M. Clark, J. Whitaker, R.F. Pywell, N. Ostle, G. Gleixner, R.I. Griffiths // *Nat Commun*. – 2018. – Vol. 9. – P. 3591.
27. *Салишев Л.П.* Минимальная обработка и воспроизводство плодородия типичного чернозема / Л.П. Салишев, Н.Р. Бахтизин, Р.Я. Рамазанов, Х.Ф. Фаизов и др. // – Уфа, 1993. – 111 с.
28. *Шукула Н.К.* Минимальная обработка черноземов и воспроизводство плодородия / Н.К. Шукула, Г.В. Назаренко. – Агропромиздат, 1990. – С. 320.
29. *Пигорев И.Я.* Элементы биологизации в технологии возделывания озимой пшеницы / И.Я. Пигорев, С.А. Тарасов // *Вестник ОрелГАУ*. – 2014. – № 5 (50). – С. 102–108.
30. *Нещадим Н.Н.* Длительное 32-летнее применение удобрений на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность сахарной свеклы / Н.Н. Нещадим, С.И. Бершатская, С.В. Гаркуша, А.А. Квашин, Ф.И. Дереча // *Полиматематический сетевой электронный журнал Кубанского ГАУ*. – 2016. – № 117. – С. 1338–1353.
31. *Chen X.* Structural composition of immobilized fertilizer N associated with decomposed wheat straw residues using advanced nuclear magnetic resonance spectroscopy combined with  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  labeling / X. Chen, M. Jin, P. Duan, J. Mejia, W. Chu, X. Ye, X. Cao, K. Schmidt-Rohr M.L. Thompson, H. Gao, J. Mao // *Geoderma*. – Vol. 398. – P. 115110.
32. *Пегова Н.А.* Влияние систем обработки и биоресурсов на агрохимические свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2017. – № 6. – С. 31–35.
33. *Колсанов Г.В.* Солома как удобрение в зернопропашном севообороте на черноземе лесостепи Поволжья // *Агрохимия*. – 2006. – № 5. – С. 30–40.
34. *Шукин С.В.* Оценка действия энергосберегающих технологий основной обработки почвы на содержание органического вещества и агрофизические показатели плодородия / С.В. Шукин, Е.А. Горнич, А.М. Труфанов, А.Н. Воронин // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. – 2019. – № 4 (56). – С. 119–126.
35. *Liang Y.* Effect of chemical fertilizer and straw-derived organic amendments on continuous maize yield, soil carbon sequestration and soil quality in a Chinese Mollisol / Y. Liang, M. Al-Kaisi J. Yuan, J. Liu, H. Zhang, L. Wang, H. Cai, J. Ren // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2021. – Vol. 314. – P. 107403.
36. *Agbede T.M.* Effect of tillage, biochar, poultry manure and NPK 15–15–15 fertilizer, and their mixture on soil properties, growth and carrot (*Daucus carota* L.) yield under tropical conditions // *Heliyon*. – 2021. – Vol. 7 (6). – e07391.
37. *Chen Y.* Carbon and nitrogen pools in different aggregates of a Chinese mollisol as influenced by longterm fertilization / Y. Chen, X. Zhang, H. He, H. Xie, Y. Yan, P. Zhu, J. Ren, L. Wang // *J. Soils Sediments*. – 2010. – № 10. – Pp. 1018–1026.

38. *Rasool R.* Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system / R. Rasool, S.S. Kukul, G.S. Hira // *Soil and Tillage Research.* – 2007. – Vol. 96. – Pp. 64–72.
39. *Celik I.* Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions / I. Celik, H. Gunal, M. Budak, C. Akpinar // *Geoderma.* – 2010. – Vol. 160 (2). – Pp. 236–243.
40. *Wang J.* Effects of synthetic nitrogen fertilizer and manure on fungal and bacterial contributions to N<sub>2</sub>O production along a soil acidity gradient / J. Wang, W. Cui, Z. Che, F. Liang, Y. Wen, M. Zhan, X. Dong, W. Jin, Z. Dong, H. Song // *Science of The Total Environment.* – 2021. – Vol. 753. – 142011.
41. *Широких И.Г.* Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений / И.Г. Широких, А.И. Косолапова, А.А. Широких, Н.Е. Завьялова // *Теоретическая и прикладная экология.* – 2019. – № 1. – С. 102–110.
42. *Щукин С.В.* Экологическая роль сорных растений при применении систем энергосберегающей обработки почвы / С.В. Щукин, Р.Е. Казнин, А.М. Труфанов, Е.В. Чебыкина // *Вестник АПК Верхневолжья.* – 2012. – № 3 (19). – С. 30–33.
43. *Плотников А.М.* Продуктивность севооборота и показатели кислотности почвы при использовании различных удобрений // *Вестник Курганской ГСХА.* – 2019. – № 3 (31). – С. 13–17.
44. *Суков А.А.* Особенности системы удобрения сельскохозяйственных культур на европейском севере России: Учебное пособие / А.А. Суков, О.В. Чухина, Н.В. Токарева, А.Н. Налиухин. – Вологда: ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2018. – 207 с.
45. *Макаров В.И.* Биохимическая щелочность органических удобрений // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* – 2016. – № 6 (140). – С. 48–54.
46. *Deubel A.* Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem / A. Deubel, B. Hofmann, D. Orzessek // *Soil and Tillage Research.* – 2011. – Vol. 117. – Pp. 85–92.

EFFECTS OF MINIMUM TILLAGE, FERTILIZERS  
AND HERBICIDES ON THE DYNAMICS OF ORGANIC MATTER  
AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SOIL  
WHEN GROWING SPRING GRAIN CROPS AND OAT-VETCH MIXTURES

S.V. SHCHUKIN, E.A. GORNICH, A.M. TRUFANOV, A.N. VORONIN, N.V. VAGANOVA

(Yaroslavl State Agricultural Academy)

*Minimum tillage is an integral element of resource-saving technologies, which, along with fertilizers and plant protection products, forms the conditions for the sustainable functioning of the entire agroecosystem. This paper presents data for 2015–2018, obtained during a multi-year three-factor experiment in the sowings of spring grain crops (2015, 2017) and oat-vetch mixtures (2016, 2018). The experience included four gradations of the tillage system: moldboard plowing (MP), surface tillage with deep loosening (STDL), surface-ploughing tillage (SPT) and surface tillage (ST); six gradations for fertilizer systems: no fertilizer (F0), N30 (N), straw (St), straw + N30 (StN), straw + NPK (StNPK) and NPK (NPK); two herbicide grades: without herbicides (H0) and with herbicides (H). Application of surface tillage (SP) led to acidification of the top layer by 0.08 (NSR<sub>05</sub>=0.05) units when growing spring grain crops (2015, 2017). SP increased mobile phosphorus content by 16.5 mg/kg (LSD<sub>05</sub>=11.9) in the 10–20 cm layer when cultivating annual grasses (2016, 2018). Application of STDL, SPT and ST increased the content of exchangeable*

potassium by 15.7–18.9 mg/kg ( $LSD_{05}=11.5$ ) in the 0–10 cm layer. SPT led to an increased yield compared to the MP. STDL decreased the yield of oat-vetch mixtures in 2018 by 30.8 cwt/ha ( $LSD_{05}=25.2$ ). The introduction of NPK and StNPK contributed to the greatest increase in the content of organic matter, available phosphorus, exchangeable potassium, and the yield of spring grain crops and oat-vetch mixtures. The use of the herbicide in barley crops was accompanied by an increase in crop yield by 2.53 cwt/ha ( $LSD_{05}=1.11$ ).

**Key words:** tillage, fertilizers, herbicides, soil organic matter, exchangeable acidity, available phosphorus, exchangeable potassium, crop yield.

## References

1. Das A., Lyngdoh D., Ghosh P.K., Lal R., Layek J., Idapuganti R.G. Tillage and cropping sequence effect on physico-chemical and biological properties of soil in Eastern Himalayas, India. *Soil and Tillage Research*. 2018; 180: 182–193.
2. Kladivko E.J. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*. 2001; 61 (1–2): 61–76.
3. Swanepoel P.A. Habig J., du Preez C.C., Snyman H.A., Botha P.R. Tillage effects, soil quality and production potential of kikuyu-ryegrass pastures in South Africa. *Grass Forage Science*. 2017; 72: 308–321.
4. Lal R., Reicosky D.C., Hanson J.D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*. 2007; 93: 1–12.
5. Dendooven L., Gutiérrez-Oliva V.F., Patiño-Zúñiga L., et al. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. *Science of The Total Environment*. 2012; 431: 237–244.
6. Swanepoel P.A., Botha P.R., du Preez C.C., Snyman H.A., Labuschagne J. Managing cultivated pastures for improving soil quality in South Africa: challenges and opportunities. *African J. Range Forage Sci*. 2015; 32: 91–96.
7. Lal R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*. 2009; 60: 158–169.
8. Palm C., Blanco-Canqui H., DeClerck F., Gatere L., Grace P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014; 187: 87–105.
9. Bai X., Huang Y., Ren W. Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: a meta-analysis. *Glob Change Biol*. 2019; 25: 2591–2606.
10. Gao L., Wang B., Li S., Han Y., et al. Effects of different long-term tillage systems on the composition of organic matter by  $^{13}C$  CP/TOSS NMR in physical fractions in the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*. 2019; 194: 104321.
11. Wang H., Wang S., Yu Q., Zhang Y., Wang R., Li J. Wang No tillage increases soil organic carbon storage and decreases carbon dioxide emission in the crop residue-returned farming system. *Journal of Environmental Management*. 2020; 261: 110261.
12. Li Y., Li Z., Chang S.X., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q., Cai Y. Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: implications for conservation agriculture. *Science of the Total Environment*. 2020; 740: 140147.
13. Du Z., Angers D.A., Ren T., Zhang Q., Li G. The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017; 236: 1–11.
14. Gao Q., Ma L., Fang Y., Zhang A., et al. Conservation tillage for 17 years alters the molecular composition of organic matter in soil profile. *Science of The Total Environment*. 2021; 762: 143116.

15. *Vlasenko O.A.* Rezhim pitaniya rasteniy v agrochernozemakh v zavisimosti ot priemov osnovnoy obrabotki [Mode of nutrition of plants in agro chernozems depending on the methods of primary tillage]. *Vestnik KrasGAU*. 2020; 6 (159): 11–19. (In Rus.)
16. *Kirkegaard J.A., Conyers M.K., Hunt J.R., Kirkby C.A., Watt M., Rebetzke G.J.* Sense and nonsense in conservation agriculture: principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014; 187: 133–145.
17. *Franzluebbers A.J.* Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*. 2002; 66: 95–106.
18. *Franzluebbers A.J., Schomberg H.H., Endale D.M.* Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*. 2007; 96: 303–315.
19. *Zhao X., Xue J.F., Zhang X.Q., Kong F.L., Chen F., Lal R., Zhang H.L.* Stratification and storage of soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage practices in the North China Plain. *PLoS One*. 2015; 10: e0128873.
20. *Hamza M.A., Anderson W.K.* Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. 2005; 82: 121–145.
21. *Nunes M.R., Denardin J.E., Pauletto E.A., Faganello A., Pinto L.F.S.* Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. *Soil and Tillage Research*. 2015; 148: 119–126.
22. *Listopadov I.N.* Minimalizatsiya, a ne uprosichenie [Minimization, not simplification]. *Zemledelie*. 2007; 1: 25–27. (in Rus.)
23. *Limousin D., Tessier D.* Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil and Tillage Research*. 2007; 92: 167–174.
24. *Li Y., Li Z., Cui S., Zhang Q.* Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*. 2020; 361: 114099.
25. *Sithole N.J., Magwaza L.S., Mafongoya P.L.* Conservation Agriculture and its impact on soil quality and maize yield: A South African perspective. *Soil and Tillage Research*. 2016; 162: 55–67.
26. *Malik A.A., Puissant J., Buckeridge K.M., Goodall T., Jehmlich N., Chowdhury S., Gweon H.S., Peyton J.M., Mason K.E., Blaud A., Clark I.M., Whitaker J., Pywell R.F., Ostle N., Gleixner G., Griffiths R.I.* Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. *Nat Commun*. 2018; 9: 3591.
27. *Salishev L.P., Bakhtizin N.R., Ramazanov R. Ya, Faizov Kh.F.* Minimal'naya obrabotka i vosproizvodstvo plodorodiya tipichnogo chernozema [Minimum tillage and reproduction of soil fertility of typical chernozem]. Ufa. 1993: 111. (In Rus.)
28. *Shikula N.K., Nazarenko G.V.* Minimal'naya obrabotka chernozemov i vosproizvodstvo plodorodiya [Minimum tillage of chernozems and reproduction of soil fertility]. M.: Agropromizdat. 1990: 320. (In Rus.)
29. *Pigorev I.Ya., Tarasov S.A.* Elementy biologizatsii v tekhnologii vozdeleyvaniya ozimoy pshenitsy [Elements of biologization in cultivation Technology of Winter Wheat]. *Vestnik OrelGAU*. 2014; 5 (50): 102–108. (In Rus.)
30. *Neshchadim N.N., Bershatskaya S.I., Garkusha S.V., Kvashin A.A., Dereka F.I.* Dlitel'noye 32-letnee primeneniye udobreniy na plodorodie chernozema obyknovenno-go i produktivnost' sakharnoy svekly [Long Term 32-Yearold Application of Fertilizers for the ordinary black Soil and productivity of Sugar beet]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy zhurnal Kubanskogo GAU*. 2016; 117: 1338–1353. (In Rus.)
31. *Chen X., Jin M., Duan P., Mejia J., Chu W., Ye X., Cao X., Schmidt-Rohr K., Thompson M.L., Gao H., Mao J.* Structural composition of immobilized fertilizer N associated with decomposed wheat straw residues using advanced nuclear magnetic resonance spectroscopy combined with <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N labeling. *Geoderma*. 2021; 398: 115110.

32. *Pegova N.A.* Vliyanie sistem obrabotki i bioresursov na agrokhimicheskie svoystva dernovo-podzolistoy suglinistoy pochvy [Influence of tillage systems and biological resources on the agrochemical properties of soddy-podzolic loamy soil]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki.* 2017; 6: 31–35. (In Rus.)
33. *Kolsanov G.V.* Soloma kak udobrenie v zernopropashnom sevooborote na chernozeme lesostepi Povolzhia [Straw as a Fertilizer in a Grain-Row Crop Rotation on Forest-Steppe Chernozem of the Volga Region]. *Agrokhimiya.* 2006; 5: 30–40. (In Rus.)
34. *Shchukin S.V., Gornich E.A., Trufanov A.M., Voronin A.N.* Otsenka deystviya energosberegayushchikh tekhnologiy osnovnoy obrabotki pochvy na sodержanie organicheskogo veshchestva i agrofizicheskiye pokazateli plodorodiya [Assessment of the Effect of Energysaving Primary Tillage Technologies on Organic Matter Content and Agrophysical Properties of the Soil]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie.* 2019; 4 (56): 119–126. (In Rus.)
35. *Liang Y., Al-Kaisi M., Yuan J., Liu J., Zhang H., Wang L., Cai H., Ren J.* Effect of chemical fertilizer and straw-derived organic amendments on continuous maize yield, soil carbon sequestration and soil quality in a Chinese Mollisol. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 2021; 314: 107403.
36. *Agbede T.M.* Effect of tillage, biochar, poultry manure and NPK 15–15–15 fertilizer, and their mixture on soil properties, growth and carrot (*Daucus carota* L.) yield under tropical conditions. *Heliyon.* 2021; 7 (6): 07391.
37. *Chen Y., Zhang X., He H., Xie H., Yan Y., Zhu P., Ren J., Wang L.* Carbon and nitrogen pools in different aggregates of a Chinese mollisol as influenced by longterm fertilization. *J. Soils Sediments.* 2010; 10: 1018–1026.
38. *Rasool R., Kukul S.S., Hira G.S.* Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. *Soil and Tillage Research.* 2007; 96: 64–72.
39. *Celik I., Gunal H., Budak M., Akpinar C.* Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma.* 2010; 160 (2): 236–243.
40. *Wang J.* Effects of synthetic nitrogen fertilizer and manure on fungal and bacterial contributions to N<sub>2</sub>O production along a soil acidity gradient. *Science of The Total Environment.* 2021; 753: 142011.
41. *Shirokikh I.G., Kosolapova A.I., Shirokikh A.A., Zav'yalova N.E.* Mikrobnaya transformatsiya organicheskogo veshchestva dernovopodzolistoy pochvy Predural'ya pri razlichnom ispol'zovanii i vnesenii mineral'nykh udobreniy [Microbial Transformation of Organic Matter of Sodpodzolic Soils in the Preurals under conditions of different use and application of mineral fertilizers]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya.* 2019; 1: 102–110. (In Rus.)
42. *Shchukin S.V., Kaznin R.E., Trufanov A.M., Chebykina E.V.* Ekologicheskaya rol' sornykh rasteniy pri primenenii sistem energosberegayushchey obrabotki pochvy [Ecological Role of Annual and Biennial Weed Plants at Application of Energy-Saving Systems of Tillage]. *Vestnik APK Verkhnevolzhia.* 2012; 3(19): 30–33. (In Rus.)
43. *Plotnikov A.M.* Produktivnost' sevooborota i pokazateli kislotnosti pochvy pri ispol'zovanii razlichnykh udobreniy [Crop productivity and soil acidity indicators using various fertilizers]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA.* 2019; 3(31): 13–17. (In Rus.)
44. *Sukov A.A., Chukhina O.V., Tokareva N.V., Naliukhin A.N.* Osobennosti sistemy udobreniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na evropeyskom severe Rossii: uchebnoe posobie [Features of the crop fertilization system in the European North of Russia]. *Vologda: VGMKhA im. N.V. Vereshchagina.* 2018: 207. (In Rus.)
45. *Makarov V.I.* Biokhimicheskaya shchelochnost' organicheskikh udobreniy [Biochemical alkalinity of organic Fertilizers]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2016; 6 (140): 48–54. (In Rus.)

46. *Deube A., Hofmann B., Orzessek D.* Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem. *Soil and Tillage Research*. 2011; 117: 85–92.

**Щукин Сергей Владимирович**, заведующий кафедрой «Агрономия», канд. с.-х. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, Россия; e-mail: s.shhukin@yarcx.ru; тел.: (485) 257–89–58).

**Горнич Екатерина Андреевна**, старший преподаватель кафедры «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, Россия; e-mail: gornich@yarcx.ru; тел.: (485) 257–89–58).

**Труфанов Александр Михайлович**, профессор кафедры «Агрономия», канд. с.-х. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, Россия; e-mail: a.trufanov@yarcx.ru; тел.: (485) 257–89–58).

**Воронин Александр Николаевич**, доцент кафедры «Агрономия», канд. с.-х. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, Россия; e-mail: voronin@yarcx.ru; тел.: (485) 257–89–58).

**Ваганова Наталья Васильевна**, декан агротехнологического факультета, канд. с.-х. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» (150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, Россия; e-mail: vaganova@yarcx.ru; тел.: (485) 257–89–58).

**Sergey V. Shhukin**, PhD (Ag), Associate Professor, Head of the Department of Agronomy, Yaroslavl State Agricultural Academy (58 Tutaevskoe shosse, Yaroslavl (150042, Russian Federation; phone: (485) 257–89–58; E-mail: s.shhukin@yarcx.ru).

**Ekaterina A. Gornich**, Senior Lecturer, the Department of Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Yaroslavl State Agricultural Academy (58 Tutaevskoe shosse, Yaroslavl (150042, Russian Federation; phone: (485) 257–89–58; E-mail: gornich@yarcx.ru).

**Aleksandr M. Trufanov**, PhD (Ag), Associate Professor, Professor, the Department of Agronomy, Yaroslavl State Agricultural Academy (58 Tutaevskoe shosse, Yaroslavl (150042, Russian Federation; phone: (485) 257–89–58; E-mail: a.trufanov@yarcx.ru).

**Alexandr N. Voronin**, PhD (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agronomy, Yaroslavl State Agricultural Academy (58 Tutaevskoe shosse, Yaroslavl (150042, Russian Federation; phone: (485) 257–89–58; E-mail: voronin@yarcx.ru).

**Natalya V. Vaganova**, Ph D. (Ag), Associate Professor, Dean of the Faculty of Agrotechnology, Yaroslavl State Agricultural Academy (58 Tutaevskoe shosse, Yaroslavl (150042, Russian Federation; phone: (485) 257–89–58; E-mail: vaganova@yarcx.ru).