

## ДИНАМИКА ТВЕРДОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ВЛИЯНИЕМ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ ПРИ БИОЛОГИЗАЦИИ СЕВООБОРОТОВ В ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

**Тойгильдин Александр Леонидович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие и растениеводство»

**Подсевалов Михаил Ильич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие и растениеводство»

**Тойгильдина Ирина Александровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и агроэкология»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец 1; тел. раб.: 8(8422)55-95-75; e-mail: atoigildin@yandex.ru

**Ключевые слова:** твердость почвы, сопротивление пенетрации, агрофизические показатели плодородия, севооборот, обработка почвы, биогенные ресурсы.

В длительных полевых опытах в течение двух ротаций 6-польных зернотравяных и зернопарового севооборотов изучена динамика твердости чернозема выщелоченного под влиянием обработки почвы и органо-минеральных систем удобрений с использованием биогенных ресурсов (навоз, сидераты, солома зерновых и зернобобовых культур). Выявлено, что чернозем выщелоченный обладает благоприятным для развития растений уровнем твердости почвы и его показатели в слое 0-50 см в период посева яровых зерновых культур не выходят за пределы оптимальных значений. Величина твердости варьировала от 20 кгс/см<sup>2</sup>, что благоприятно для сельскохозяйственных культур, до значений, затрудняющих их рост, - 30-40 кгс/см<sup>2</sup>. Наибольшая твердость почвы наблюдалась под озимой пшеницей и многолетними травами. Для оптимизации условий роста и развития растений в зернотравяных севооборотах рекомендуется проводить комбинированную обработку, которая подразумевает проведение вспашки (2 раза за ротацию) и безотвального рыхления плугами со стойками СиБИМЭ на 20-22 см под бобовые культуры. В зернопаровых севооборотах имеется возможность сократить проведение вспашки до 1 раза за 6 лет на глубину 20-22 см. На основании многолетних данных построены адекватные модели, отражающие изменение величины твердости почвы в зависимости от ее плотности и влажности, что дает возможность в полевых условиях установить агрофизические свойства почвы в зависимости от ее обработки и внесения органического сырья.

### Введение

Почва выполняет ряд глобальных биосферных функций, прежде всего, за счет уникального свойства – плодородия. Физические показатели оказывают большое влияние на плодородие и устойчивость почвы к деградации. По мнению В.И. Савича с соавторами [1], физические свойства почвы – это матрица ее плодородия, на которой протекают все физико-химические процессы, развитие корневых систем, поглощение питательных элементов. Исследования многих ученых подтверждают тот факт, что вовлечение целинных земель в длительное сельскохозяйственное использование приводит к ухудшению агрофизических свойств почвы [2, 3, 4].

На современном этапе развития агропроизводства интерес к агрофизическим свойствам почвы обусловлен, с одной стороны, тем, что интенсивные и высокоинтенсивные системы земледелия требуют создания благоприятных условий ее водно-воздушного режима. С другой стороны, освоение высокопроизводительной

тяжеловесной техники и новые технологические принципы обработки почвы предъявляют определенные требования к физическим ее свойствам.

Твердость почвы (сопротивление пенетрации) является важным производственным показателем, с помощью которого характеризуют физико-механические свойства - сопротивление почвы росту корней либо сопротивление, которое нужно преодолеть почвообрабатывающему рабочему органу в процессе ее обработки.

Изучением твердости почвы, как физического показателя, занимались многие отечественные и иностранные исследователи [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Авторы отмечают, что твердость почвы – незаменимый показатель для оценивания условий прорастания семян и их развития на первых этапах онтогенеза, в том числе способности корневых волосков осваивать не только межагрегатное, но и внутриагрегатное пространство. По мнению В.В. Медведева [3], показатель твердости позволяет установить не только прочность комка, но и качество

сложения, причем такую оценку практически нельзя получить, используя традиционный показатель - плотность сложения. Он же отмечает, что показатель твердости почвы можно будет широко использовать в точном земледелии.

Riedell W.E. [9] установил, что, если почва не обрабатывается (нулевая технология), твердость возрастает, особенно заметно в верхнем слое, при этом твердость не превышает критического уровня - 20-25 кгс/см<sup>2</sup> (для почв среднего гранулометрического состава в условиях Дакоты, США).

При минимальной технологии обработки в условиях Центрально-Черноземной зоны почва становится твердой, что создает большое сопротивление растущим корням растений, трудно пропускает влагу, в ней затруднен воздухообмен, отмечается недостаток кислорода и избыток углекислоты, в конечном итоге все это приводит к ухудшению условий питания и снижению урожайности возделываемых культур [17].

По сообщению Г.И. Казакова [20], твердость чернозема обыкновенного в Среднем Поволжье изменяется в большом диапазоне от 3-7 до 50 кгс/см<sup>2</sup>. П.У. Бахтин и др. [15] предлагают оптимальную величину твердости для начальных стадий развития зерновых культур при влажности, близкой к влажности физической спелости - 5-8 кгс/см<sup>2</sup>. В дальнейшем по мере развития растений и их корневых систем величина твердости в 20-25 кгс/см<sup>2</sup> рассматривается как вполне допустимая.

В Швеции ранее пестроту урожая в пределах поля чаще всего рассматривали как следствие перераспределения питательных элементов в почве, однако иногда чрезвычайно широкий разброс урожайных данных на поле (от 4,0 до 11,5 т/га зерна) объясняется вариабельностью твердости почвы [7].

Сморозин Г.С. [13] считает, что оптимальная твердость верхнего слоя черноземных почв для зерновых культур находится в пределах 6-16 кгс/см<sup>2</sup>, твердость выше 20 кгс/см<sup>2</sup> неблагоприятна для большинства растений.

По мнению В.Ю. Бондаревой [16], верхним пределом твердости почвы для большинства зерновых культур, после которого резко ухудшаются условия их развития, следует считать 15-19 кгс/см<sup>2</sup>, а с точки зрения усилий, затрачиваемых при вспашке, оптимальной является твердость 10-20 кгс/см<sup>2</sup>.

Определение твердости почвы в полевых условиях является доступным способом получения информации о состоянии пахотного и подпахотного горизонтов, тогда как изучение мно-

гих агрофизических свойств почвы трудоемко, а в производственных условиях невыполнимо. Поэтому актуальным является определение связей между основными агрофизическими показателями, в частности твердости почвы с традиционными и информативными показателями - плотностью почвы и ее влажностью.

Цель исследований: изучить динамику твердости чернозема выщелоченного под действием основной обработки почвы и органоминеральных систем удобрений в севооборотах с целью оптимизации продукционного процесса растений в условиях лесостепи Поволжья.

#### **Объекты и методы исследований**

Исследования проводились в стационарном трехфакторном полевом опыте в период двух ротаций (с 2006 по 2015 гг.) 6-польных зернопарового и зернотравяных севооборотов (Фактор А):

1) зернопаровой: чистый пар - озимая пшеница - яровая пшеница - горох - яровая пшеница - яровая пшеница;

2) зернотравяной с кострцом: горох - озимая пшеница - яровая пшеница + кострец - кострец - кострец - яровая пшеница;

3) зернотравяной с люцерной: вика (люпин) - озимая пшеница - яровая пшеница + люцерна - люцерна - люцерна - яровая пшеница;

4) зернотравяной: вика-овес на сидерат (смесь гороха и люпина на семена) - озимая пшеница - яровая пшеница + эспарцет (кострец + люцерна) - эспарцет (кострец + люцерна) - эспарцет (кострец + люцерна) - яровая пшеница. В скобках указаны культуры, возделываемые во второй ротации севооборотов.

Основная обработка почвы проводилась по двум технологиям (Фактор В). В качестве контроля выбрана комбинированная обработка почвы, сочетающая отвальные и безотвальные способы с элементами минимизации. При этом вспашка проводилась 2 раза за ротацию севооборота на 20-22 см (3 поле) и по пласту многолетних трав на 25-27 см (6 поле), кроме этого под зерновые бобовые применялось рыхление почвы плугами со стойками СибИМЭ на 20-22 см. Минимальная обработка отличалась меньшей глубиной и интенсивностью воздействия, вспашка проводилась 1 раз за ротацию после многолетних трав на 20-22 см, под остальные культуры применялось дискование и культивация на 12-14 см.

В севооборотах система органоминеральных удобрений предполагала 2 фона (Фактор С). В период первой ротации (2006-2008 гг.) в трех севооборотах: 1) навоз + N<sub>14-26</sub> P<sub>13-17</sub> K<sub>13-17</sub>; 2) солома + N<sub>16-30</sub> P<sub>13-17</sub> K<sub>13-17</sub>; в 4-м севообороте: 1) сидерат

Таблица 1

Твердость почвы в экспериментальных севооборотах в слое 0-50 см (2006-2015 гг.), кгс/см<sup>2</sup>

Севооборот	№ поля, культура												По севообороту	
	1 пары чистый, занятый		2 озимая пшеница		3 яровая пшеница		4 горох, мн. травы		5 яр. пшеница, мн. травы		6 яровая пшеница			
2006-2008 гг. (первая ротация)														
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
I. Зернопаровой	10,6	12,4	16,8	27,8	11,0	24,7	13,2	25,3	12,9	28,4	11,9	27,1	<b>12,7</b>	<b>24,3</b>
II. Зернотравяной с кострцом	11,9	20,2	18,1	28,6	11,6	25,9	17,9	34,3	20,7	39,5	13,8	28,6	<b>15,7</b>	<b>29,5</b>
III. Зернотравяной с люцерной	12,1	20,8	18,2	28,6	10,9	26,3	17,3	35,8	22,2	43,2	15,9	34,5	<b>16,1</b>	<b>31,5</b>
IV. Зернотравяной с эспарцетом (сидеральный)	10,9	20,7	16,8	28,1	12,0	24,3	18,2	35,0	21,0	40,1	15,1	31,5	<b>15,7</b>	<b>30,0</b>
HCP <sub>05</sub>	0,4	1,8	0,8	1,1	1,0	1,4	1,7	2,9	1,8	3,3	1,8	4,0	1,1	1,9
2012-2015 гг. (вторая ротация)														
I. Зернопаровой	9,4	13,4	15,2	27,8	13,1	26,0	12,5	23,8	11,1	24,7	11,4	25,7	<b>12,1</b>	<b>23,6</b>
II. Зернотравяной с кострцом	10,4	20,6	15,4	27,5	13,9	28,2	16,0	36,2	19,3	38,2	12,4	26,3	<b>14,6</b>	<b>29,5</b>
III. Зернотравяной с люцерной	10,4	23,2	15,9	28,2	13,7	27,7	15,7	36,9	19,5	38,9	12,0	25,5	<b>14,5</b>	<b>30,1</b>
IV. Зернотравяной с травосмесью	10,2	22,6	16,4	28,2	14,4	29,2	16,5	37,2	19,7	38,8	12,0	25,4	<b>14,9</b>	<b>30,2</b>
HCP <sub>05</sub>	1,1	2,3	1,2	2,2	1,2	2,4	3,1	4,5	3,0	4,4	0,8	2,4	1,6	2,6

1 - после посева (возобновление вегетации); 2- после уборки

+ N<sub>17</sub>P<sub>13</sub>K<sub>13</sub>; 2) сидерат + солома + N<sub>14</sub>P<sub>13</sub>K<sub>13</sub>. В период второй ротации севооборотов (2012-2015 гг.) поменялся набор зернобобовых культур (парозанимающих) и фоны удобрений: 1) солома + N<sub>20-27</sub>P<sub>23-27</sub>K<sub>23-27</sub>; 2) солома + N<sub>40-53</sub>P<sub>33-38</sub>K<sub>33-38</sub>.

Повторность опыта трехкратная, размещение систематическое, площадь делянок первого порядка – 560 м<sup>2</sup>, второго – 280 и третьего – 140 м<sup>2</sup>. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый. Исследования проводились по общепринятым методикам [20]. Твердость почвы определялась пенетрометром (твердомером), измеряющим сопротивление почвы, или усилие, необходимое для проникновения зонда в почву. Наблюдения проводились весной (перед посевом) и после уборки. Измерение производили послойно по глубинам 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 см равномерно по диагонали делянки в трехкратной повторности.

Годы исследований были разными по метеорологическим условиям, так 3 года характеризовались недостатком влаги при ГТК= 0,88-0,97 (2006, 2007, 2013 гг.), 2 года проявлялась средняя засуха с ГТК = 0,46-0,55 (2008, 2015 гг.) и

2 года была отмечена слабая засуха с ГТК = 0,62 (2012 и 2014 гг.). Анализ метеорологических условий показал их резкую контрастность с продолжительными почвенными и воздушными засухами в одни периоды и избыточным увлажнением в другие.

#### Результаты исследований

Наши многолетние исследования, проведенные в течение двух ротаций севооборотов, показали, что колебания твердости почвы определялись набором культур, биологическими особенностями их корневой системы, обработкой почвы и объемом поступающего органического вещества.

Обращает на себя внимание диапазон показателей твердости почвы, который изменялся от сравнительно невысокого оптимального значения (не более 20 кгс/см<sup>2</sup>) до значений, явно вредных, затрудняющих их рост и функционирование – в пределах 30-40 кгс/см<sup>2</sup> (табл. 1).

Оценка данного показателя по культурам показала, что наименьшие величины были отмечены в первых полях севооборотов – 10,6-12,1 кгс/см<sup>2</sup>.

Наибольшую твердость почва приобрета-

Таблица 2

Твердость почвы в зависимости от обработки почвы в севооборотах (в среднем за вегетацию), кгс/см<sup>2</sup>

Севооборот (фактор А)	Система обработки почвы (фактор В)*	Слой почвы, см					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-50
Первая ротация (2006-2008 гг.)							
Зернопаровой	B <sub>1</sub>	13,4	15,3	19,2	19,6	20,1	17,5
	B <sub>2</sub>	16,5	18,7	21,0	21,9	20,7	19,7
Зернотравяной с коострецом	B <sub>1</sub>	15,1	18,2	23,3	24,2	25,2	21,2
	B <sub>2</sub>	18,3	23,1	26,0	27,1	26,2	24,1
Зернотравяной с люцерной	B <sub>1</sub>	15,4	18,8	23,0	24,3	25,4	21,4
	B <sub>2</sub>	18,5	25,2	28,4	30,1	28,9	26,2
Зернотравяной с эспарцетом	B <sub>1</sub>	16,0	18,8	22,7	25,7	24,5	21,5
	B <sub>2</sub>	18,1	25,2	27,4	28,8	27,5	25,4
Вторая ротация (2012-2015 гг.)							
Зернопаровой	B <sub>1</sub>	14,2	16,5	17,9	19,7	19,0	17,4
	B <sub>2</sub>	16,0	19,3	19,9	21,3	20,0	19,3
Зернотравяной с коострецом	B <sub>1</sub>	17,9	20,4	22,0	24,2	24,7	21,8
	B <sub>2</sub>	19,7	24,4	24,5	24,1	25,1	23,5
Зернотравяной с люцерной	B <sub>1</sub>	17,5	19,7	23,4	24,0	22,6	21,4
	B <sub>2</sub>	19,0	23,1	26,2	26,3	25,8	24,1
Зернотравяной с травосмесью	B <sub>1</sub>	18,2	20,7	23,6	24,0	23,0	21,9
	B <sub>2</sub>	19,6	22,6	25,3	26,6	26,4	24,1

\* - B<sub>1</sub> - комбинированная в севообороте; B<sub>2</sub> - минимальная

ла весной под озимой пшеницей (16,8-18,2 кгс/см<sup>2</sup>), многолетними травами второго года жизни (17,3-18,2 кгс/см<sup>2</sup>) и третьего года жизни (20,7-22,2 кгс/см<sup>2</sup>). Под яровой пшеницей и горохом в зависимости от предшественников эти значения варьировали от 10,9 до 15,9 кгс/см<sup>2</sup>.

В среднем за годы исследований в зависимости от набора культур в севооборотах твердость почвы изменялась в период посева в зернопаровом севообороте от 12,7 кгс/см<sup>2</sup> до 15,7-16,1 кгс/см<sup>2</sup> в зернотравяных севооборотах. К уборке данный показатель возрастал соответственно до 24,3 и 29,5-31,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Высокая твердость почвы под многолетними травами и озимой пшеницей объясняется низкой влажностью почвы, что связано с использованием влаги на формирование большой вегетативной массы. В течение осеннего и весеннего периодов влажность почвы восстанавливалась, и показатель твердости приобретал оптимальные значения для изучаемых культур.

Ко второй ротации севооборотов закономерности динамики твердости почвы сохранились, однако отмечалась тенденция к ее уменьшению, что объясняется более высокими значениями влажности почвы, улучшением структур-

но-агрегатного состава и накоплением массы органического вещества в почве.

Изучаемые культуры по влиянию на твердость чернозема выщелоченного можно расположить в следующий ряд в убывающей последовательности: люцерна (26,3–32,7 кгс/см<sup>2</sup>) > эспарцет (26,6–30,6 кгс/см<sup>2</sup>) > коострец (26,1–30,1 кгс/см<sup>2</sup>) > озимая пшеница (21,5–23,4 кгс/см<sup>2</sup>) > яровая пшеница (17,9–23,3 кгс/см<sup>2</sup>) > люпин 16,8 кгс/см<sup>2</sup> > вика (16,6 кгс/см<sup>2</sup>) > горох (15,5–16,1 кгс/см<sup>2</sup>) > вика + овес на сидерат (15,8 кгс/см<sup>2</sup>) > чистый пар (11,4–11,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Анализ данных показывает, что характер изменения твердости пахотного слоя чернозема выщелоченного с глубиной неодинаков и зависит от возделываемой культуры. Под яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами наблюдалась дифференциация слоя 0-30 см по твердости, в подпахотном горизонте твердость почвы была одинаковой по вариантам (рис.1).

В зернопаровом севообороте твердость почвы в пахотном горизонте по слоям 0-10, 10-20 и 20-30 см составляла соответственно 9,4; 10,1 и 12,2 кгс/см<sup>2</sup>, в зернотравяных соответственно 12,6-15,2; 15,1-16,2 и 14,7-17,8 кгс/см<sup>2</sup>. Выявлено повышение твердости почвы в зоне

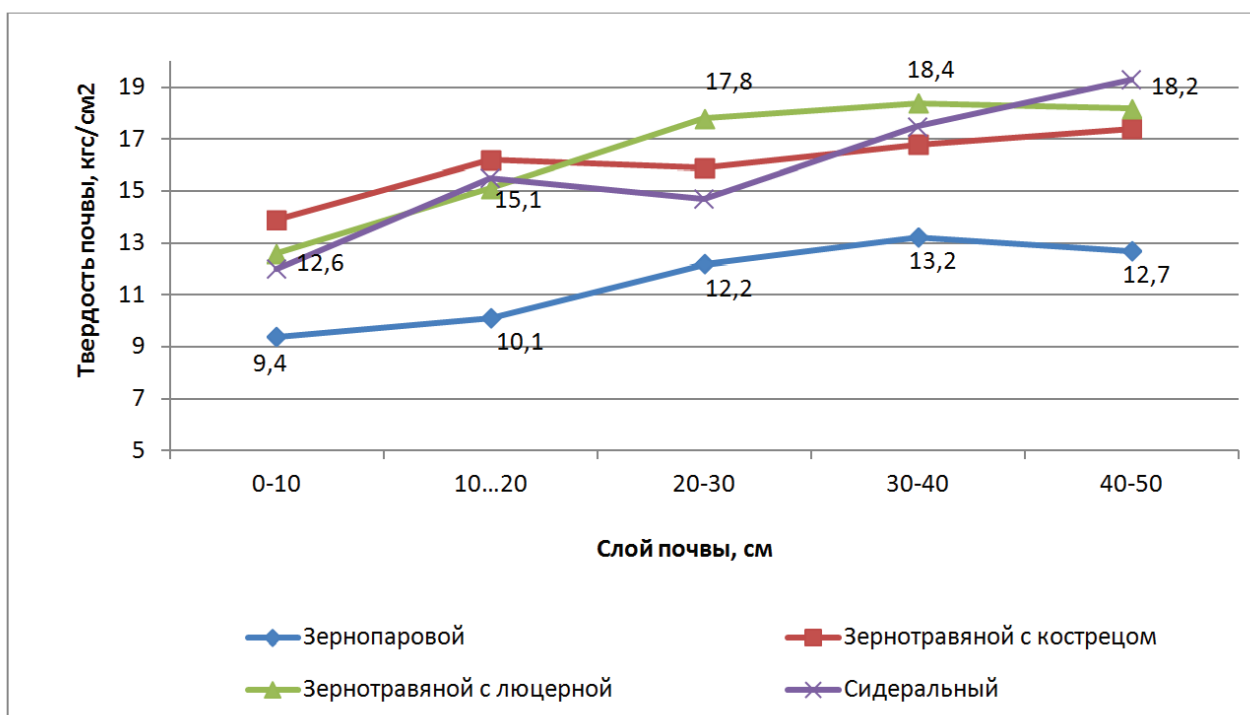


Рис. 1 - Динамика твердости почвы по ее слоям 0-50 см в первой ротации севооборотов, кгс/см<sup>2</sup> (в среднем за вегетацию 2006-2008 гг.)

развития корневой системы многолетних трав. Так в зерноотравном севообороте с кострцом более высокие значения отмечены в слое 0-20 см, в зерноотравном с люцерной и эспарцетом она увеличивалась к нижним слоям почвы (30-50 см).

Обработка почвы – фактор, который наиболее существенно влияет на изменение агрофизических свойств почвы. Оценка систем основной обработки почвы показала, что они оказывали существенное влияние на показатель твердости. Так по комбинированной обработке почвы в зернопаровом севообороте (за 2006-2008 гг.) в среднем за вегетацию она составляла 17,5 кгс/см<sup>2</sup>. При минимальной обработке она повышалась в среднем на 2,2 кгс/см<sup>2</sup> (в слое 0-50 см). Наибольшие различия были отмечены в слое почвы 0-30 см. В зерноотравном севообороте с кострцом твердость при минимальной обработке повышалась на 2,9 кгс/см<sup>2</sup>, в севообороте с люцерной – на 4,9 кгс/см<sup>2</sup>, с эспарцетом – на 3,9 кгс/см<sup>2</sup>. Аналогичные закономерности были отмечены и в период второй ротации севооборотов (таблица 2).

В целом в слое почвы 0-50 см в период посева яровых зерновых культур ее сопротивление пенетрации не превышало предельных оптимальных значений для роста и развития растений.

Оценка данного показателя в зависимо-

сти от применения органоминеральных систем удобрений указывает на ее вариабельность по севооборотам и культурам.

Системы удобрений отличались сроками поступления органического вещества в почву: навоз вносили после уборки парозанимающих культур (начало августа), сидерат заделывали в июне в фазу начала цветения вики, солому – после уборки зерновых и зернобобовых культур.

Сравнительная оценка систем удобрения показала, что навоз оказывал определенное влияние на агрофизические свойства почвы (в т. ч. на ее твердость) в первые три года после внесения. Под озимой пшеницей в весенний период по варианту с внесением навоза в пахотном слое почвы 0-30 см, значения твердости были меньше на 2,7 кгс/см<sup>2</sup>, чем по варианту с внесением соломы. Под второй культурой (яровой пшеницей) преимущество было за вариантом с навозом и составляло 2,1 кгс/см<sup>2</sup>. В третий год сохранялось преимущество варианта навоз + NPK только в зернопаровом севообороте. В последующих полях при поступлении соломы и пожнивно-корневых остатков возделываемых культур отмечалось преимущество варианта с соломой. В среднем системы удобрения с соломой и навозом по влиянию на твердость почвы в ротации севооборотов были равноценными.

В зерноотравных севооборотах в среднем за ротацию показатели твердости почвы по фазам питания выравнивались. Наибольшие зна-

Таблица 3

Твердость почвы в зависимости от органоминеральных систем удобрений в севооборотах (в среднем за вегетацию), кг/см<sup>2</sup>

Севооборот (фактор А)	Система обработки почвы (В)	Слой почвы, см					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	0-50
Первая ротация (2006-2008 гг.)							
I	Навоз + NPK	9,7	11,9	14,2	14,2	14,2	<b>12,9</b>
	Солома + NPK	9,7	11,8	14,3	13,8	13,8	<b>12,7</b>
II	Навоз + NPK	11,1	14,4	17,1	18,0	18,0	<b>15,7</b>
	Солома + NPK	11,9	14,7	16,9	17,6	17,1	<b>15,7</b>
III	Навоз + NPK	11,1	14,8	17,5	18,3	18,3	<b>16,0</b>
	Солома + NPK	12,2	15,1	17,4	18,5	18,0	<b>16,3</b>
IV	Сидерат +NPK	11,8	15,2	17,6	18,6	18,0	<b>16,2</b>
	C+ C +NPK	10,6	14,0	16,3	17,5	17,2	<b>15,1</b>
Вторая ротация (2012-2015 гг.)							
I	Солома + NPK I	10,1	12,0	13,1	14,3	13,4	<b>12,6</b>
	Солома + NPK II	9,4	11,0	12,7	13,2	12,7	<b>11,8</b>
II	Солома + NPK I	13,0	14,9	15,2	16,1	16,4	<b>15,1</b>
	Солома + NPK II	11,6	13,8	14,5	15,4	15,1	<b>14,1</b>
III	Солома + NPK I	11,9	14,1	16,0	16,7	15,5	<b>14,8</b>
	Солома + NPK II	11,2	13,5	14,9	16,0	15,9	<b>14,3</b>
IV	Солома + NPK I	12,5	14,6	16,1	17,0	16,2	<b>15,3</b>
	Солома + NPK II	11,7	13,3	15,1	16,3	16,2	<b>14,5</b>

чения были отмечены на варианте удобрений сидерат + NPK, внесение соломы возделываемых культур снижало сопротивление пенетрации почвы (таблица 3).

Изучение систем удобрения с использованием соломы показало, что с увеличением объемов поступления органического вещества в почву ее твердость снижалась как в зернопаровом, так и в зернотравяных севооборотах, это касается прежде всего верхних слоев почвы.

По мнению В.В. Медведева [3], твердость почвы может служить индикатором физических, физико-механических и технологических свойств почв. Он же отмечает, что связь между твердостью и плотностью наиболее сложная, поскольку нужно сопоставить принципиально различные оценки почвы - весовую (массовую) и прочностную.

В работе D.J. Reinert et. al. [20] предпринята попытка найти связь между плотностью сложения и прочностных характеристик (деформацией, компрессионными индексами и величинами сдвиговых усилий). Полученные зависимости оцениваются удовлетворительным уровнем коэффициентов детерминации т. е. связь установлена.

Установление связи между твердостью и плотностью почвы позволит в целом успешно решить задачу объединения больших информационных возможностей плотности сложения с

относительной легкостью измерения твердости непосредственно в полевых условиях. Для этого необходимо создать адекватные модели зависимости твердости почвы и ее плотности.

Найти связь между твердостью, плотностью сложения и другими свойствами почв предприняли Г.С. Смородин и др. [1969], а также А.А. Вилде [14], который установил связи между твердостью, плотностью и влажностью. Многие исследователи обращают внимание на то, что твердость является более удобным показателем в сравнении с плотностью в силу простоты и точности измерения.

Проведенные расчеты показывают высокую степень связи плотности сложения и твердости чернозема в полевом опыте в двух ротациях севооборотов за 2006-2008 и 2012-2015 гг. (всего 384 пары). Если не принимать во внимание изменяющуюся влажность почвы, то связь между искомыми показателями описывается степенной постепенно возрастающей кривой (рис. 2). При оценке связи влажности (%) и твердости почвы (кгс/см<sup>2</sup>) выявлена обратная степенная связь, что представлено на рисунке 3.

Если объединить модели, отражающие динамику твердости под влиянием влажности почвы и ее плотности, то зависимость резко усложняется (рис. 4). Взаимодействие указанных показателей характеризует следующее уравнение (модель):

Корреляционные и регрессионные связи урожайности зерновых и зернобобовых культур (т/га) с твердостью почвы

Культура	Диапазон урожайности, т/га	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии
Озимая пшеница	2,01 – 6,01	$r = 0,346$	$y = -0,06x + 5,02$
Горох	1,16 – 2,92	$r = 0,615$	$y = -0,04x + 2,88$
Вика	0,59 – 2,48	$r = 0,848$	$y = -0,16x + 4,37$
Люпин	1,68 – 2,95	$r = 0,933$	$y = -0,12x + 4,17$
Яровая пшеница	0,65 – 4,62	$r = 0,526$	$y = -0,06x + 3,79$

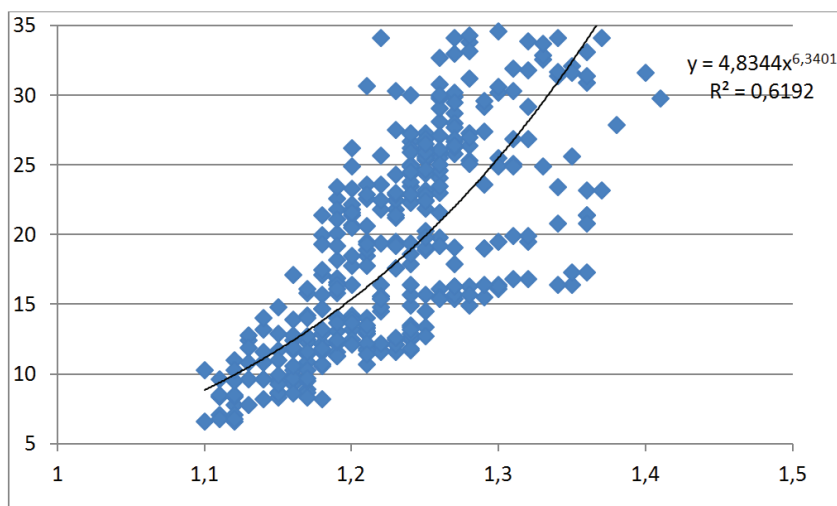


Рис 2 - Зависимость между твердостью почвы (кгс/см<sup>2</sup>) и плотностью почвы, (г/м<sup>3</sup>)

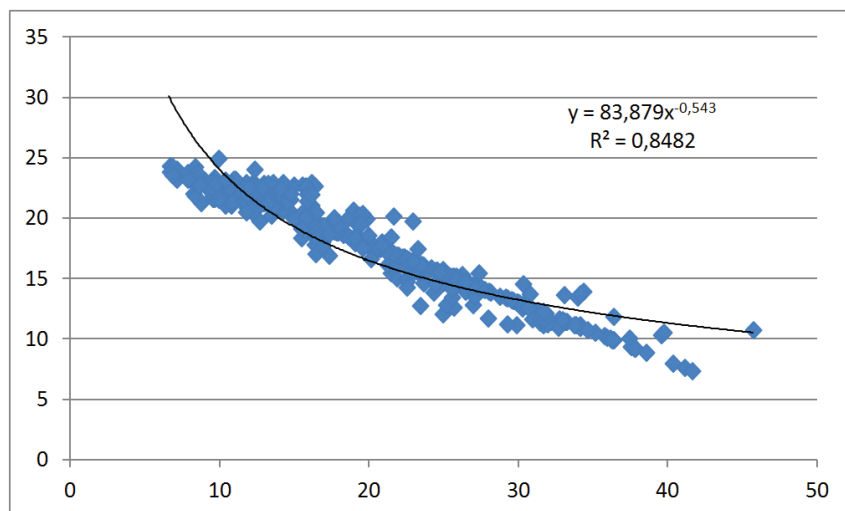


Рис. 3 - Зависимость между твердостью почвы (кгс/см<sup>2</sup>) и влажностью почвы, (%)

$$T = 39,973 - 8,043p + 102,163W + 0,078p^2 + 2,793pW - 58,73W^2 [1]$$

Нами выявлены корреляционные зависимости между урожайностью зерновых и зернобобовых культур и твердостью почвы (таблица 4). Анализ показал, что имеется обратная связь между урожайностью зерна изучаемых культур и твердостью почвы, степень зависимости ва-

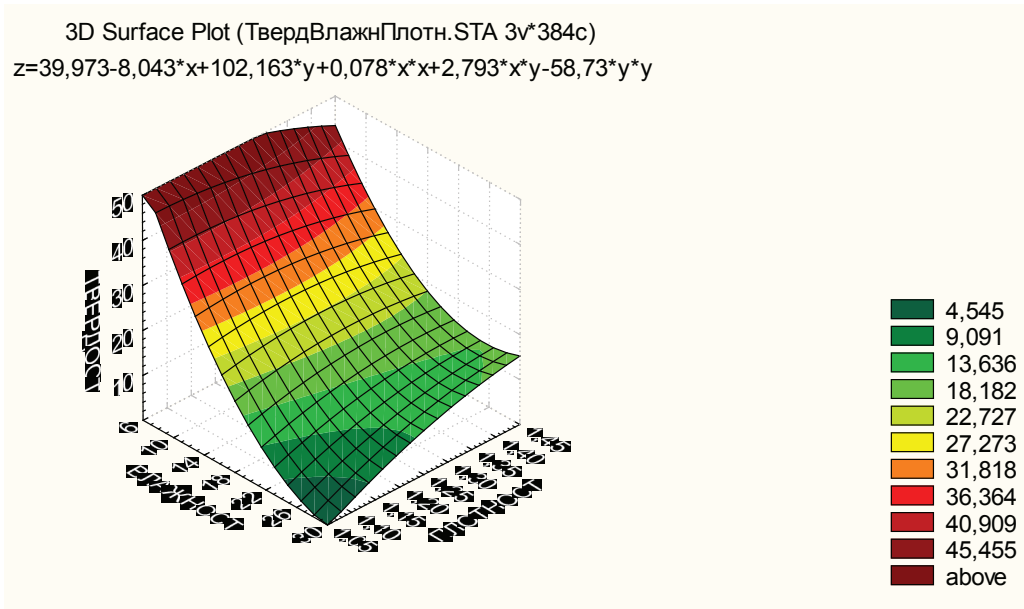
рьюрвала от средней (озимая пшеница,  $r = -0,346$ ) до сильной (люпин,  $r = -0,933$ ).

Установлено, что степень отрицательного воздействия высокой твердости почвы на урожайность зернобобовых культур, имеющих стержневую корневую систему, была выше, чем у зерновых культур. К тому же следует отметить, что переуплотнение почвы и рост ее твердости ведут к ухудшению условий формирования симбиотического аппарата, что является неотъемлемым при формировании высокопродуктивных агроценозов.

#### Выводы

Чернозем выщелоченный обладает благоприятным для развития растений уровнем твердости почвы, и его показатели в слое 0-50 см в период посева яровых зерновых культур не выходили за пределы оптимальных значений для развития растений – до 20 кгс/см<sup>2</sup>. К концу вегетации, особенно в годы с недостаточным количеством осадков, независимо от испытываемых технологических систем обработки происходило значительное увеличение сопротивления пенетрации почвы.

Основными средствами регулирования агрофизических свойств почвы выступает ее обработка. В зернотравяных севооборотах рекомендуется проводить комбинированную обработку, которая подразумевает проведение вспашки (2 раза за ротацию) и безотвального рыхления плугами со стойками СИБИМЭ на 20-22 см, а в зернопаровых севооборотах имеется возможность ее ми-



**Рис. 4 – Зависимость твердости почвы (кг/см<sup>2</sup>) от влажности почвы (%) и ее плотности (г/см<sup>3</sup>) по результатам двух ротаций севооборотов**

нимизировать и проводить вспашку 1 раз за 6 лет на глубину 20-22 см.

На основании многолетних данных построены адекватные модели, отражающие изменение величины твердости почвы в зависимости от ее плотности и влажности, что дает возможность в полевых условиях установить агрофизические свойства почвы в зависимости от ее обработки и внесения органического сырья.

#### Библиографический список

1. Савич, В.И. Физические свойства почв, как матрица их плодородия/ В.И. Савич, Р.Ф. Байбеков, В.Н. Банников // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям.- М., 2002.- 85 с.
2. Добровольский, Г.В. Деградация почв – угроза экологического кризиса / Г.В. Добровольский // Куда движется век глобализации?: сборник. - Волгоград, 2014. - С. 192-203.
3. Медведев, В.В. Твердость почв / В.В. Медведев. –Харьков: Изд. КГ1 «Городская типография», 2009. - 152 с.
4. Ковалев, В.М. Теория урожая / В.М. Ковалев. - М. Издательство МСХА, 2003.- 308 с.
5. Ревякин, Ю.Ю. Применение плотномера Горячкина для контроля качества обработки почв / Ю.Ю. Ревякин // Докл. ТСХА. - 1986. - Вып. 1.- С. 11-14.
6. Bajla, B.C. Navhr metody na meranie okamzitej vlhkosti pody u hrote penetrometra/ B.C. Bajla, J. Minarik // Acta technol. agr. -2003. -№ 4.- P.93-96.
7. On-the-go measurements of soil penetra-

tion resistance on a Swedish Eutric Cambisol / E. Bolenius, G. Rogstrand, J. Arvidsson, B. Strenberg, L. Thylen // International Soil Tillage Research Organization 17 th Triennial Conference. -Kiel. Germany, 2006. -P.867-870.

8. Bussoher, W.J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield / W.J. Bussoher, J.R. Frederick, B.J. Baner // Soil Sci. Soc. Amer. J.2000. 64. №3. P. 999-1003.S.Granark et al., 2001;

9. Tillage and crop residue effects on soil physical properties and corn yield. Soil Water Research. South Dakota University / W.E. Riedell, S.L. Osborne, J.L.Ir. Pikul, T.E. Schumacher // 2006. Progress Report, Agr. Exper. Stat, pp. 1-5.

10. The effect of physical soil properties on metabolism and technological quality of sugar beet / J.Zahradnijek, P.Beran, J.Pulkrabek, V.Svachula, P.Famera, J.Scoller, J.Chochova // Rosl. Vyroba.-2001. -№1. -Pp. 23-27.

11. Topsoil Properties as Affected by Tillage Systems in the Rollinf Pampa Region of Argentina / C.R. Alvarez, M.A. Taboada, F.H.G. Boet, A. Bono, P.L. Fernandez, P. Prystupa // Soil Sci. Soc. Am.J. 2009, 73, pp. 1242-1250.

12. Halfmann, D.M. Management system effects on water infiltration and soil physical properties / D.M. Halfmann // Master's thesis.Texas Tech University. 2005. Available electronically from <http://hdl.handle.net/2346/1238>.

13. Смородин, Г.С. Влияние сложения пахотного слоя на водно-физический режим и плодородие южных карбонатных черноземов Крыма / Г.С. Смородин, В.В. Паршиков // Тео-



ретические вопросы обработки почв: сборник. - Ленинград, 1969. - Вып. 2. - С. 197-204.

14. Вилде, А.А. О закономерностях изменений твердости почв. Механизация и электрификация сельского хозяйства / А.А. Вилде. Рига, 1978. - Вып.4.- С. 167-178.

15. Бахтин, П.У. Динамика твердости некоторых почв Среднего Заволжья и Южного Зауралья / П.У. Бахтин, А.С. Львов // Почвоведение. - 1960. - № 5. - С. 53-63.

16. Бондарева, В.Ю. Твердость дерново-подзолистой почвы при различной обработке/ В.Ю. Бондарева // Вестн.МГУ. Сертя «Почвоведение». - 1982. - №2. - С. 21-27.

17. Обработка почвы как фактор регулиро-

вания почвенного плодородия /А.Ф. Витер, В.И. Турусов, В.М. Гармашов, С.А. Гаврилова // Москва, 2014. - С. 173.

18. Казаков, Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье: монография / Г.И. Казаков. - Самара: Изд-во Самарской ГСХА, 2008. - 251 с.

19. Доспехов, Б.А. методика полевого опыта/Б.А. Доспехов.- М: Агропромиздат, 1985.- 351 с.

20. Reinert, D.J. Interrelation of mechanical and physical soil properties of six south Brazilian soils under no-tillage/ D.J. Reinert, L.E.A.S. Suzuki, J.M. Reichert // International Soil Tillage Research Organization 17th Triennial Conference, Kiel. -Germany. 2006. -Pp.1598-1602.

## DYNAMICS OF LEACHED BLACK SOIL HARDNESS UNDER THE INFLUENCE OF AGROTECHNICAL TECHNIQUES IN BIOLOGICALIZATION OF CROP ROTATIONS IN THE FOREST-STEPPE OF VOLGA REGION

Toigildin A.L., Podsevalov M.I., Toigildina I.A.

FSBEI HE Ulyanovsk SAU

432017, Ulyanovsk, Novy Venets bld, 1;

Tel.: 8 (8422) 55-95-75; e-mail: atoigildin@yandex.ru

**Key words:** soil hardness, resistance to penetration, agrophysical fertility indicators, crop rotation, tillage, biogenic resources.

We studied the dynamics of leached black soil hardness under the influence of soil tillage and fertilizer organomineral systems with application of biogenic resources (manure, green manure, straw of grain and leguminous crops). We carried out long-term field experiments, which included two rotations of 6-field grain-grass and grain-fallow crop rotations. It was revealed that leached black soil possesses a soil hardness level favorable for the development of plants and its parameters in the 0-50 cm layer during the sowing period of spring grain crops do not exceed the limits of optimal values. The hardness value varied from 20 kgf / cm<sup>2</sup>, which is favorable for agricultural crops, up to values that hamper their growth - 30-40 kgf / cm<sup>2</sup>. The greatest soil hardness was observed on the fields of winter wheat and perennial grasses. To improve growth and development conditions of plants in grain-grass rotations, it is recommended to perform a combined tillage, which involves plowing (2 times per rotation) and nonmoldboard loosening with plows with SibIME stilts for 20-22 cm for legumes. In grain-fallow crop rotations, it is possible to reduce plowing up to 1 time in 6 years to a depth of 20-22 cm. Based on long-term data, adequate models have been constructed reflecting the change in soil hardness, depending on its density and moisture, which makes it possible to establish agrophysical soil properties in the field conditions, depending on its tillage and application of organic raw materials.

### Bibliography

1. Savich, V.I. Physical properties of soils, as a matrix of their fertility / V.I. Savich, R.F. Baybekov, V.N. Bannikov // Resistance of soils to natural and anthropogenic influences. - M., 2002.- 85 p.
2. Dobrovolskiy, G.V. Soil degradation is a threat to ecological crisis / G.V. Dobrovolsky // Where does the century of globalization move?: digest. - Volgograd, 2014. - P. 192-203.
3. Medvedev, V.V. Soil hardness / V.V. Medvedev. -Kharkov: Publishing house KG1 "City Printing House", 2009. - 152 p.
4. Kovalev, V.M. Theory of harvest / V.M. Kovalev. - M. Publishing House of Moscow Agricultural Academy, 2003.- 308 p.
5. Revyakin, Yu.Yu. Application of Goryachkin densimeter for quality control of soil tillage / Yu.Yu. Revyakin // Works of TAA. - 1986. - Issue. 1.- P. 11-14.
6. Bajla, B.C. Navhr metody na meranie okamzitej vlhkosti pody u hrote penetrometra / B.C. Bajla, J. Minarik // Acta technol. agr. -2003. -No 4.- P.93-96.
7. On-the-go measurements of soil penetration resistance on a Swedish Eutric Cambisol / E. Bolenius, G. Rogstrand, J. Arvidsson, B. Strenberg, L. Thylen // International Soil Tillage Research Organization 17 th Triennial Conference. -Kiel. Germany, 2006. -P.867-870.
8. Bussoher, W.J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wyer and soybean yield / W.J. Bussoher, J.R. Frederick, B.J. Baner // Soil Sci. Soc. Amer. J.2000. 64. № 3. P. 999-1003.S. Granark et al., 2001;
9. Tillage and crop residue effects on the soil physical properties and corn yield. Soil Water Research. South Dakota University / W.E. Riedell, S. L. Osborne, J.L.Ir. Pikul, T.E. Schumacher // 2006.Progress Report, Agr. Exper. Stat, pp. 1-5.
10. The effect of the physical soil properties on the metabolism and technological quality of the sugar beet / J. Zahradnjek, P. Beran, J.Pulkrabek, V.Svachula, P.Famera, J.Scoller, J.Chochova // Rosl. Vyroba.- 2001.-№1. -Pp. 23-27.
11. Topsoil Properties as Affected by Tillage Systems in the Rollinf Pampa Region of Argentina / C.R. Alvarez, M.A. Taboada, F.H.G. Howls, A. Bono, P.L. Fernandez, P. Prystupa // Soil Sci. Soc. Am.J. 2009, 73, pp. 1242-1250.
12. Halfmann, D.M. Management system effects on water infiltration and soil physical properties / D.M. Halfmann // Master's thesis.Texas Tech University. 2005. Available electronically from <http://hdl.handle.net/2346/1238>.
13. Smorodin, G.S. Effect of composition of arable layer on the water-physical regime and fertility of the southern carbonate black soil of the Crimea / G.S. Smorodin, V.V. Parshikov // Theoretical issues of soil tillage: a digest. - Leningrad, 1969. - Issue. 2. - P. 197-204.
14. Vilde, A.A. About the patterns of changes in the soil hardness. Mechanization and electrification of agriculture / A.A. Wilde. Riga, 1978. - Issue 4 - P. 167-178.
15. Bakhtin, P.U. Dynamics of hardness of some soils in the Middle Trans Volga and Southern Trans-Ural Region / P.U. Bakhtin, A.S. Lvov // Soil science. - 1960. - № 5. - P. 53-63.
16. Bondareva, V.Yu. Hardness of sod-podzolic soil in case of various tillage / V.Yu. Bondareva // Vestnik of MSU. Series «Soil Science». - 1982. - №2. - P. 21-27.
17. Soil tillage as a factor in regulating soil fertility / A.F. Viter, V.I. Turusov, V.M. Garmashov, S.A. Gavrilova // Moscow, 2014. - P. 173.
18. Kazakov, G.I. Soil tillage in the Middle Volga region: monograph / G.I. Kazakov. - Samara: Samara State Agricultural Academy, 2008. - 251 p.
19. Dospikhov, B.A. Methodology of field trial / B.A. Dospikhov. - M: Agropromizdat, 1985.- 351 p.
20. Reinert, D.J. Brazilian soils under no-tillage / D.J. Reinert, L.E.A.S. Suzuki, J.M. Reichert // International Soil Tillage Research Organization 17th Triennial Conference, Kiel. -Germany. 2006. -P.1598-1602.