

## **Универсальный чизель для экологически безопасного почвозащитного земледелия**

**Галина Пархоменко<sup>1\*</sup>, Георги Костадинов<sup>2\*\*</sup>, Сергей Твердохлебов<sup>3\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>СКНИИМЭСХ ФГБНУ „Аграрный научный центр „Донской““ – Россия,

<sup>2</sup>ИПАЗР „Н. Пушкиarov“ – Болгария,

<sup>3</sup>Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина– Россия

\***E-mail:** galagenn74@mail.ru

\*\***E-mail:** gdkostadinov@gmail.com

\*\*\***E-mail:** tsa200862@rambler.ru

### **Аннотация**

В данной статье изучены факторы возникновения техногенной деградации почвы в результате её обработки почвообрабатывающими орудиями разных типов и представлены результаты проведенных исследований. Разработаны рекомендации по снижению их влияния на обрабатываемые почвенные горизонты и предложен инновационный рабочий орган, уменьшающий отрицательное воздействие на почву

**Ключевые слова:** чизель, рабочий орган, обработка почвы, воспроизводство плодородия, техногенная деградация

## **Universal subsurface tiller for environmentally safe soil Protective agriculture**

**Galina Parkhomenko<sup>1\*</sup>, Georgi Kostadinov<sup>2\*\*</sup>, Sergey Tverdohlebov<sup>3\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>СКНИИМЭСХ ФГБНУ „Аграрный научный центр „Донской““ – Россия,

<sup>2</sup>ИПАЗР „Н. Пушкиarov“ – Болгария,

<sup>3</sup>Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина– Россия

\***E-mail:** galagenn74@mail.ru

\*\***E-mail:** gdkostadinov@gmail.com

\*\*\***E-mail:** tsa200862@rambler.ru

### **Abstract**

In this article, there were studied the factors of the origin of anthropogenic soil degradation in the result of its processing with soil-processing tools of different types and there were presented the results of carried out researches. There were worked out recommendations on decrease of their influence on processing soil horizons and there was offered innovation working organ decreasing the negative influence on soil.

**Key words:** subsurface tiller, working part, soil processing, reproduction of fertility, anthropogenic degradation

Экологическая безопасность природной среды предусматривает охрану земельных ресурсов от возможного негативного техногенного и антропогенного воздействия, а также рациональное использование почвы. Важнейшей задачей рационального использования почвы является обеспечение воспроизводства плодородия, одним из условий которого является создание глубокого рыхлого слоя, наличие которого позволяет сократить количество последующих обработок пласта и его переуплотнение, обеспечить условия для накопления гумуса.

Переуплотнение пласта проявляется в зависимости от содержания гумуса и физической глины в почве, что объясняется их коллоидными свойствами (Тимонов, Чернышёва, Балабанов и Картамышев, 2009; Dimitrov, Mitova & Borissova, 2002). При этом противодействие переуплотнению проявляется при достаточном количестве органического вещества и влаги. В зоне недостаточного увлажнения процессы минерализации гумуса преобладают над его образованием, поэтому переуплотнение приводит к увеличению плотности почвы.

При работе отвальных плугов плотность почвы в глыбах в 1,24 раза выше, чем в этом же слое до обработки, а твёрдость почвы дна борозды в 1,5...2,0 раза больше, чем до прохода орудия (Кушнарёв, 1987; Dimitrov & Raykov, 2009).

Переуплотнение почвы способно привести к физической деградации, которая с микроморфометрической стороны представляет собой процесс негативной трансформации строения пласта, следствием чего является уменьшение количества агрономически ценных агрегатов. Без обработки пласт при длительном содержании в режиме залежи уже не может разуплотниться до природного состояния, но плотность почвы способна снизиться с 1,40...1,50 до 1,20...1,28 g/cm<sup>3</sup> (Медведев, Словиньска-Юркевич и Брик, 2012).

С увеличением в почве органического вещества оптимум плотности пахотного слоя сдвигается в сторону снижения её значений. Согласно нормативам изменения физических свойств чернозёмов в зависимости от характера

антропогенного воздействия диапазон значений оптимальной плотности пахотного слоя составляет 1,10...1,25 g/cm<sup>3</sup>, критической – более 1,35 g/cm<sup>3</sup> при содержании гумуса 3,5...4,5% (Кузнецова, Азовцева и Бондарев, 2011; Митова и др., 2015).

## Материалы и методы

Исследованию подвергались чернозёмы обыкновенные юга России. По механическому (гранулометрическому) составу чернозёмы обыкновенные относятся к легкоглинистым разновидностям с содержанием физической глины 63,3-66,7%, пыли – 57,4-62,6%, песка – 4,6-6,3% (таблица 1).

Илистой фракции, являющейся одним из основных структурообразующих факторов содержится сравнительно много – 30,9-37,5%. Высокое содержание пыли, объясняет сравнительно невысокую устойчивость почв к механическому воздействию в процессе обработки. По соотношению сумм фракций почвы относятся к иловато-пылеватым лёгким глинам.

Положительной особенностью чернозёмов является то, что они не препятствуют углублению корневой системы возделываемых культур, имеют хорошую структуру, агрегаты характеризуются слабой когезией (связностью), вода и воздух в этих почвах не являются антагонистами. На долю недоступной для растения влаги приходится от 13 до 15% её общего запаса в метровом слое.

Отрицательная особенность состоит в том, что в обрабатываемом слое содержится большой % пылевидных фракций (57,4-66,7%).

Содержание водопрочных агрегатов (Таблица 2) увеличивается с ростом глубины взятия образца почвы и обусловлено особенностями строения твёрдых фаз, количеством органического вещества, образующего в результате необратимой коагуляции. Заметна более высокая водопрочность нижней половины пахотного (15-25 см) и подпахотного (25-35 см) слоёв почвы. Так на глубине 15-25 см количество водорастворимых агрегатов на 17,4% выше по сравнению со слоем 5-15 см,

**Таблица 1.** Результаты гранулометрического анализа почвы (в среднем)

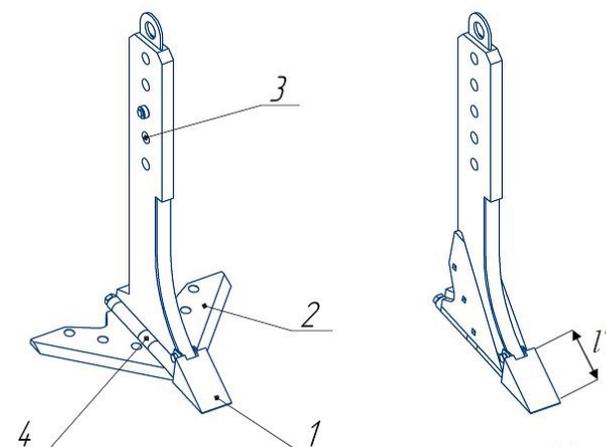
**Table 1.** Results of granulometric analysis of soil (in average)

Г л у б и н а образца/ Depth pattern, cm	Содержание фракций, % Fraction content, %					
	Водопрочные агрегаты / Water- proof units (0,25- 5,0 mm)	Агрономически ценные агрегаты / Agronomically valu- able units (0,25-10,0 mm)	Ил / Silt (< 0,001 mm)	Глина / Clay (< 0,01 mm)	Пыль / Dust (0,05-0,002 mm)	Песок / Sand (1-0,05 mm)
Чернозёмы обыкновенные слабогумусные мощные легкоглинистые на лессовидных глинах / Chernozems ordinary poor humus high light clayey on forest-type clays						
5-15	70,6	72,0	30,9	63,3	62,6	6,3
15-25	58,0	64,9	36,6	66,7	57,4	6,0
25-35	75,2	75,0	37,5	66,7	57,9	4,6

**Таблица 2.** Физические свойства почвы (в среднем)

**Table 2.** Physical properties of soil (in average)

Глубина образца / Depth of pattern, cm	Гигроскопическая влажность / Hygroscopic moisture, %	Плотность почвы / Soil density, g/cm <sup>3</sup>	Плотность твёрдой фазы / Density of solid phase, g/cm <sup>3</sup>	Пористость / Porosity, %
5-15	4,7	1,19	2,68	56
15-25	4,4	1,34	2,69	50
25-35	4,6	1,32	2,68	51



**Рис. 1.** Схема рабочего органа чизеля:

1 – долото; 2 – плоскорезные лапы; 3 – отверстие для изменения глубины;

4 – шарнир;  $l'$  – длина долота.

**Fig. 1.** Scheme of the working element of the chisel:

1 – chisel; 2 – double-pointed shovel;

3 – hole for changing the depth;

4 – hinge;  $l'$  – length of chisel.

а на глубине 25-35 см – на 24,6%.

Из выше изложенного следует, что на чернозёмной почве углубление пахотного слоя и перемешивание с подпахотным вполне целесообразно, поскольку в культуру водятся структурные слои с более водопрочными агрегатами и ускоряются микробиологические процессы.

Обыкновенный чернозём имеет высокую ёмкость поглощения. В обрабатываемом слое наибольшая часть поглощенных оснований приходится на катионы кальция. Это способствует образованию хорошей структуры почвы, благоприятствует водно-воздушному её режиму. Плотность обрабатываемого слоя 1,19-1,34 г/см<sup>3</sup>, удельная масса (плотность твердой фазы) 2,68-2,69 г/см<sup>3</sup> указывают на обеспеченность почвы органическим веществом (таблица 2), способность противостоять переуплотнению пласта.

Плотность почвы в слое 5-15 см – наименьшая и составляет 1,19 г/см<sup>3</sup>, что соответствует рыхлому состоянию, ниже по профилю степень уплотнения повышается до 1,32-1,34 г/см<sup>3</sup>. При этом нижняя половина пахотного и подпахотный слой имеют практически равную плотность. То же относится и к пористости, а плотность твердой фазы, напротив, во всех слоях практически одинакова (2,68-2,69 г/см<sup>3</sup>).

## Результаты и обсуждения

Предлагаемые рабочие органы чизеля (рис. 1) содержат шарнирно закрепленные лапы, угол установки которых относительно стойки с долотом в поперечно-вертикальной плоскости определяется действием сил сопротивления почвы (Пархоменко и Твердохлебов, 2012а, Пархоменко и Твердохлебов, 2012б, Пархоменко, Медовник и Твердохлебов, 2011, Пархоменко, Твердохлебов и Максименко, 2012), а разрушение пласта осуществляется разнонаправленными деформациями за счёт знакопеременного перемещения подвижных элементов (лап).

Анализ структурного состава почвы до обработки чизелем показал, что содержание агрономически ценных агрегатов (0,25...10

mm) наибольшее в слое почвы 25-35 см (75%), наименьшее – в слое 15-25 см (65%), а в верхнем 5-10 см составляет (72%) (таблица 3).

При преобладании в структуре пласта агрономически ценных агрегатов влага по порам распределяется внутри почвы и удерживается в ней. В этих условиях разложение органических веществ анаэробными бактериями сопровождается образованием ульминовой кислоты. В порах, расположенных на поверхности структурной почвы, протекают аэробные процессы, сопровождаемые образованием гуминовой кислоты. Образование ульминовой и гуминовой кислот способствует структурированию микроагрегатов почвы при взаимодействии с ионом кальция. Причём этот процесс необратимый и разрушенная механическим воздействием структура почвы может быть восстановлена лишь при наличии свежесажженного перегноя.

Целесообразно периодически проводить глубокую обработку почвы. При этом используется с ярко выраженной структурой, с агрономически ценными влагосодержащими агрегатами почва, улучшающая физико-механические свойства во всем слое, что приведёт к повышению процессов жизнедеятельности микроорганизмов. При этом рабочие органы должны быть почвозащитными.

Данные сравнительного анализа структурного состава почвы до и после обработки чизелем (таблица 3) свидетельствуют об увеличении содержания агрономически ценных агрегатов в слоях 5-15 см и 15-25 см на 8,2-8,6% при использовании инновационного рабочего органа с шарнирно закреплёнными лапами. При обработке почвы чизелем без лап, напротив, в слое 5-15 см происходит резкое снижение содержания агрономически ценных агрегатов (с 72,0 до 41,0%) в слое 15-25 см – остается таким же (64,9 и 66,9%), и возрастает на 8,4% в слое 25-35 см на глубине прохождения долота.

Таким образом, можно отметить увеличение количества агрономически ценных агрегатов в слоях 5-15 см и 15-25 см при обработке почвы чизелем с шарнирно закреплёнными лапами и в слое 25-35 см – без лап.

Данные сравнения количества агрономически

**Таблица 3.** Данные структурного состава почвы  
**Table 3.** Data on structural content of soil

Глубина взятия образца / Depth of taking of a sample, cm	Содержание фракции в % от абсолютно сухой почвы /Content of fractions in % from absolutely dry soil, mm							<0,25 mm	Агрономически ценные воздушно-сухие агрегаты / Agronomically valuable air-dry units, 0,25-10, mm
	>10	10-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5 - 0,25		
Чернозёмы обыкновенные слабогумусные мощные легкоголистые на лессовидных глинах Chernozems common weak humus powerful light clayey forest-type clays									
До обработки Before processing									
5-15	17,7	16,7	11,5	8,4	14,6	10,4	10,4	10,3	72,0
15-25	32,9	28,1	16,8	7,5	6,7	3,4	2,4	2,2	64,9
25-35	21,6	27,9	18,8	9,5	10,0	5,2	3,6	3,4	75,0
Шарнирно закреплённые лапы (глубина 27 см) Hinge-fixed shovels (depth 27 cm)									
5-15	11,5	17,4	16,7	12,1	16,1	9,5	8,8	7,9	80,6
15-25	21,0	24,0	14,5	8,6	11,2	8,2	6,6	5,9	73,1
25-35	31,3	23,0	12,4	7,5	9,4	6,2	5,4	4,8	63,9
Безлапа (глубина 34 см) Without shovels (depth 34 cm)									
5-15	53,1	9,5	5,6	4,9	8,4	6,7	5,9	5,9	41,0
15-25	25,8	20,6	11,4	7,6	11,1	8,4	7,8	7,3	66,9
25-35	11,8	29,6	19,0	11,0	11,8	6,9	5,1	4,8	83,4

**Таблица 4.** Результаты экспериментального исследования энергетических показателей чизеля с инновационными рабочими органами

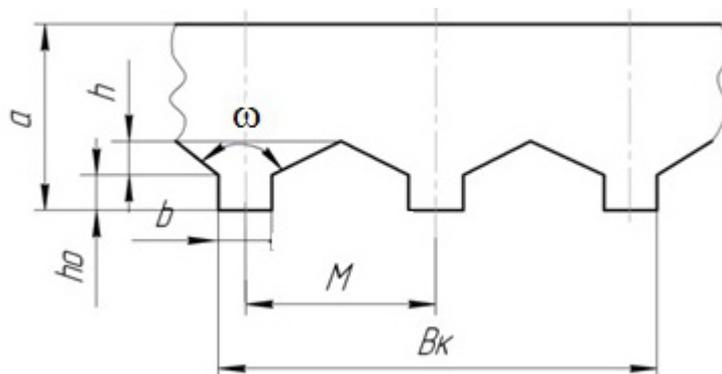
**Table 4.** Results of experimental research of energetic indexes of subsurface tiller with innovation working parts

Наименование показателя Title of index	Значение для варианта рабочего органа Value of the type of the working part	
	Шарнирно закреплённые лапы / Hinge-fixed shovels	Плоскорезные лапы / Double-pointed shovels
Режимы работы: Mode of work: Скорость / speed, km/h Глубина / depth, cm	6,10 27	6,10 27
Тяговое сопротивление / Traction resistance, kN	32,52±3,2	37,07±3,8
Снижение тягового сопротивления чизеля / Decrease of traction resistance of the subsurface tiller, %	12,27	–
Удельная энергоёмкость / Specific energy capacity, kWt h/ha	33,21	37,76
Снижение удельной энергоёмкости / Decrease of specific energy capacity, times	1,14	–

**Таблица 5.** Результаты исследований тягового сопротивления чизеля с различными вариантами рабочих органов

**Table 5.** Results of researches of the traction resistance of the subsurface tiller with different types of working parts

Вариант рабочего органа Type of working part	Тяговое сопротивление / Traction resistance, kN	
	Теоретическое / Teoretical	Экспериментальное / Experimental
Плоскорезные лапы Double-pointed shovels	37,05	37,07
Шарнирно закреплённые лапы Hinge-fixed shovels	33,26	33,72



**Рис. 2.** Схема поперечного сечения пласта при работе чизеля

$h_0$  – длина выступающей части долота (относительно лап),  $a$  – глубина рыхления пласта,  $b$  – ширина долота;  $M$  – расстояние между рабочими органами;  $B_k$  - конструктивная ширина захвата;  $h$  - высота гребня на дне борозды, определяемая конструктивными параметрами плоскорезных лап;  $\omega$  – угол раствора рабочего органа.

**Fig.2.** Scheme of transversal section of the layer under operation of the subsurface tiller

$h_0$  – length of the protruding part chisel (relatively shovels);  $a$  – depth of fragmentation of the layer,  $b$  – width of the chisel;  $M$  – distance between working bodies ;  $B_k$  - constructive working width;  $h$  - height of the ridge at the bottom of the furrow, determined by the design parameters of the double-pointed shovels;  $\omega$  – angle of the scope of working body.

ценных агрегатов до и после чизелевания на глубину 34 см свидетельствуют о том, что структура почвы ухудшается после обработки в слое 5-15 см и улучшается в слое 25-35 см, оставаясь практически неизменной в среднем слое (15-25 см).

Разрушение пласта инновационными рабочими органами с шарнирно закреплёнными лапами осуществляется по пути наименьшего сопротивления за счёт самоустановки под углом естественного скола почвы. Это подтверждается снижением тягового сопротивления (на 12,27%) и удельной энергоёмкости (в 1,14 раза) при использовании инновационных рабочих органов с шарнирно закреплёнными лапами (таблица 4) по сравнению с плоскорезом, полученным в результате экспериментальных исследований.

Это подтверждается теоретически полученной закономерностью (Пархоменко, 2013а; Труфанов, 1988; Пархоменко, 2013б; Пархоменко, 2015) изменения тягового сопротивления чизеля с инновационными рабочими органами с шарнирно закреплёнными лапами:

$$P_T = f \cdot G + (k + \varepsilon v^2) \cdot ((n-1)M + b)a - ((n-1) \frac{(M-b)^2}{4} \operatorname{ctg} \frac{\omega}{2} + (M-b) \cdot l' \cdot \sin \beta) \quad (1)$$

где  $P_T$  – тяговое сопротивление, кН;  $f$ ,  $k$ ,  $\varepsilon$  – коэффициенты;  $v$  – скорость, м/с;  $G$  – вес, кН;  $n$  – число рабочих органов;  $M$  – расстояние между рабочими органами;  $b$  – ширина долота, м;  $a$  – глубина рыхления пласта, м;  $\omega$  – угол раствора рабочего органа, о (рис.2);  $\beta$  – угол крошения (входа в почву долота), о;  $l'$  – длина долота, м; (рис.1).

Из сравнения с аналогичной закономерностью (2) для плоскореза следует, что снижение тягового сопротивления чизеля с инновационными рабочими органами с шарнирно закреплёнными лапами наблюдается в связи с уменьшением обрабатываемой площади поперечного сечения пласта.

$$P_T(\text{плоскорез}) = f \cdot G + (k + \varepsilon v^2) \cdot ((n-1)M + b)a \quad (2)$$

Результаты расчёта представлены в таблице 5.

Сравнительный анализ данных таблицы 5 позволяет установить относительную погрешность не более 1,5%, что свидетельствует об адекватности результатов теоретических исследований реальному процессу.

Таким образом, глубокое безотвальное рыхление чизелем, рабочие органы которого содержат шарнирно закреплённые лапы (Tverdohlebov & Parkhomenko, 2017) является агротехнически целесообразным, энергосберегающим и почвозащитным приёмом обработки почвы; направленным на обеспечение воспроизводства её плодородия.

При разработке конструкции комбинированного чизеля необходимо учитывать следующее. Усиление почвозащитных свойств комбинированного чизеля, пригодного для обработки стерневых фонов, за счёт повышения противоэрозионной устойчивости верхнего слоя почвы возможно путём применения в конструкции дисковых

рабочих органов для измельчения растительных остатков и приспособлений для улучшения крошения почвы (катков).

В засушливых условиях необходимо применять уплотнение верхнего обрабатываемого слоя катком, так как при этом значительно уменьшается выдувание плодородной почвы и лучше сохраняется влага вследствие снижения интенсивности конвекционно-диффузного тока парообразной воды, интенсивность которого больше при рыхлой почве. В сочетании с дисками катки создают изолирующий слой на поверхности почвы, снижающий испарение влаги.

С учётом реологических свойств почвы (длительности релаксации напряжений пласта)

систему „рабочие органы комбинированного чизеля“ можно представить в виде трёх подсистем: I: для поверхностного рыхления (диски); II: для мелкой и глубокой обработки (лапы с долотом); III: для уплотнения и выравнивания (катки).

Мелкая и глубокая обработка почвы блоком II осуществляется после завершения релаксации и процесса снятия внутренних напряжений пласта, подрезанного блоком I. Далее по истечении релаксации пласта, обработанного блоком II, осуществляется уплотнение и выравнивание поверхности почвы блоком III (Пархоменко, Костадинов и Твердохлебов, 2016).

## Выводы

- Экологическая безопасность природной среды предусматривает почвозащитное земледелие, заключающееся в сокращении количества обработок и предотвращении переуплотнения пласта, обеспечения условий для накопления гумуса.
- Глубокое безотвальное рыхление чизелем, рабочие органы которого содержат шарнирно закреплённые лапы является агротехнически целесообразным, энергосберегающим и почвозащитным приёмом обработки почвы.
- Усиление почвозащитных свойств комбинированного чизеля возможно путём применения в конструкции дисковых рабочих органов для измельчения растительных остатков и приспособлений для улучшения крошения почвы.

## Литература

**Dimitrov I., Mitova T., Borissova M.**, 2002. Assessment of subsoil compaction risk by soil tillage on a Vertisol and a Chromic Luvisol. *Proceedings of International Conference Soils under Global Change – a Challenge for the 21st Century*, vol. II, 491-496.

**Dimitrov I., Raykov, S.**, 2009. Spatiality and durability of tillage influence on the bulk density of leached smolnitsa. *Proceedings of the 2-nd International Symposium “New Researches in Biotechnology”*, Serie F, Biotechnology, Romania, 2009, с.131-137.

**Tverdohlebov, S.A., Parkhomenko, G.G.**, 2017. Research of the new generation chisel plow. *Mechanization*

*in agriculture*, 1, 33-36.

**Кузнецова, И.В., Азовцева, Н.А., Бондарев, А.Г.**, 2011. Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон Европейской территории России. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*, 67, 3-19.

**Кушнарёв, А.С.**, 1987. Механика почв: задачи и состояние работ. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 3, 9-13.

**Медведев, В.В., Словиньска-Юркевич, А., Брик, М.**, 2012. Физическая деградация почв, её диагностика, ареалы распространения и способы предотвращения. *Грунтознавство*, 13, 1-2, 5-22.

**Митова, Т., И. Димитров, Г. Костадинов, М. Михов, Д. Николова, С. Стратиева, Р. Тончева, Р. Кънчева, М. Ненов, И. Герасимова.**, 2015. Обработка на почвата за района на черноземите. В: Черноземите в България - проблеми, оценка, използване и опазване. *Научни трудове*, под общата редакция на М. Теохаров. София, 2015, стр.188. ISBN: 978-619-90414-1.

**Пархоменко, Г.Г.**, 2013а. Исследование процесса трансформации почвообрабатывающих рабочих органов. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства*, 98, 1, 142-150.

**Пархоменко, Г.Г.**, 2013b. Трансформация рабочих органов почвообрабатывающих машин для глубокого рыхления. В: Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье. *Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. Суздаль*, 335-340.

**Пархоменко, Г.Г.**, 2015. Трансформация рабочих органов почвообрабатывающих машин. *Сельскостопанска техника*, 1, 17-26.

**Пархоменко, Г.Г., Костадинов, Г.Д., Твердохлебов, С.А.**, 2016. Обоснование параметров почвообрабатывающих машин на основании реологии. *Почвоведение агрохимия и экология*, 3-4, 50, 111-119.

**Пархоменко, Г.Г., Медовник, А.Н., Твердохлебов, С.А.**, 2011. Экспериментальное исследование глубокорыхлителя для обработки почвы в междурядьях многолетних насаждений. *Международный технико-экономический журнал*, 3, 76-80.

**Пархоменко, Г.Г., Твердохлебов, С.А.**, 2012а. Изменение тягового сопротивления плуга садового чизельного в процессе трансформации рабочих органов. В: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. *Материалы 5-й международной научно-практической конференции в рамках 15-й международной агропромышленной выставки “Интерагромаш-2012”*. Ростов-на-Дону, 49-51.

**Пархоменко, Г.Г., Твердохлебов, С.А.**, 2012b. Сравнительная оценка энергетических показателей плуга садового чизельного с различными вариантами рабочих органов. *Вестник МичГАУ*, 3, 152-156.

**Пархоменко, Г.Г., Твердохлебов, С.А., Максименко, В.А.**, 2012. Экспериментальное определение влияния

режимов функционирования и параметров рабочих органов на качественные и энергетические показатели плуга садового чизельного. В: Агроинженерная наука в сфере АПК: инновации, достижения. Сб. науч. тр. 7-ой международной научно-практической конференции СКНИИМЭСХ. Зерноград, 24-34.

**Тимонов, В.Ю., Чернышёва, Н.М., Балабанов, С.С., Картамышев, Н.И.,** 2009. Механическая обработка и агрофизические свойства почвы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 6, 53-57.

**Труфанов, В.В.,** 1988. Глубокое чизелевание почвы. Москва: Агропромиздат.