



## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.431.1(431.3)

Е.Н. Белоусова

### ВЛИЯНИЕ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПЛОТНОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Способы основной обработки почвы в целом не оказали существенного уплотняющего воздействия. Параметры плотности сложения характеризовались как оптимальные, а в условиях отвальной вспашки, в отдельные периоды, – как избыточно рыхлые ( $0,68\text{--}0,99 \text{ г}/\text{см}^3$ ). На фоне оптимальных значений плотности для большинства сельскохозяйственных растений наиболее высокие значения были характерны для условий, сформировавшихся при обработке по типу нулевой ( $0,94\text{--}1,25 \text{ г}/\text{см}^3$ ). Значения твердости почвы были наиболее высокими в варианте с нулевой обработкой ( $22,8 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). Они достоверно превышали параметры сопротивления пenetрации в условиях отвальной и минимальной обработок. Выявлены умеренные и обратные корреляционные зависимости между плотностью сложения и влажностью. Твердость почвы определялась степенью увлажнения в средней степени ( $r = -0,55$ ) и с умеренной силой была связана с плотностью ( $r = 0,65$ ). Однако эти зависимости были обнаружены только для условий отвальной вспашки. При других способах обработки корреляционная связь была слабой.

**Ключевые слова:** плотность почвы, твердость почвы, нулевая и минимальная обработка.

E.N. Belousova

### INFLUENCE OF SOIL CONSERVATION TECHNOLOGIES ON DENSITY AND HARDNESS OF LEACHED CHERNOZYOM

Methods for primary tillage in general did not significantly impact the seal. Options density was described as optimal. The hardness values of the soil were the highest in the embodiment with zero treatment. They significantly exceeded the parameters penetration resistance under moldboard and minimal treatments. The addition of density parameters was described as the best, and under moldboard plowing, in some periods as excessively loose ( $0,68\text{--}0,99 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). Against the background of optimal density values for most crops, the highest values were typical of conditions that have emerged in the processing of the type of zero ( $0,94\text{--}1,25 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). The hardness values of the soil were highest in the embodiment with zero treatment ( $22,8 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ). They significantly exceeded the parameters penetration resistance under moldboard and minimal treatments. Moderate and inverse correlation between the density and adding humidity was revealed. The hardness determined by the degree of soil moisture at moderate ( $r = -0,55$ ) and with a moderate force was related to the density ( $r = 0,65$ ). However, these relationships were found only for the conditions moldboard plowing. When other of treatment methods were used correlation bond was weak.

**Key words:** the density of soil, the hardness of soil, no-till and minimum tillage.

**Введение.** Функциональное назначение основной обработки почвы – создание оптимального сложения пахотного слоя, формирование условий сохранения потенциального и эффективного плодородия, а также защита пахотных угодий от эрозии [5]. Плотность сложения является одной из универсальных характеристик. В последнее время, в связи внедрением новых технологий обработ-

ки почвы, интерес к плотности возрастает. Не менее важным параметром, отражающим агрофизические условия роста растений, является твердость почвы. Исследований, связанных с ее диагностикой в поле, недостаточно.

**Цель исследования:** изучение влияния отвальной и сокращенных обработок на изменение плотности сложения и твердости чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи.

**Объекты исследования.** Наблюдения проводились в Красноярском природном округе на земельных площадях СПК «Шилинское» Сухобузимского района. Влияние ресурсосберегающих способов обработки почвы на агрофизические параметры осуществлялось в 2013–2014 гг. на базе длительного опыта, заложенного в 2005 г. под руководством И.А. Куприна и доктора сельскохозяйственных наук Л.Р. Мукиной. В пределах производственных посевов были выделены реперные участки площадью 500 м<sup>2</sup>. С каждого отбирались образцы из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки. Объем выборки составил 15 индивидуальных проб. Схема опыта (способы обработки) представлена следующими вариантами: 1) отвальная (st); 2) минимальная; 3) нулевая.

Почвенный покров представлен сочетанием черноземов выщелоченных мало-, среднегумусных и многогумусных среднемощных глинистых пылевато-иловатых (гумус – 4,0–9,9 %; pH – 6,8–6,9; ЕКО – 69–71 ммоль/100 г). В вегетационный сезон 2013 г. земельный массив, где применялась технология нулевой обработки, находился в условиях химического пара. В третьей декаде августа была посажена озимая пшеница комбинированным агрегатом СС-6. Ее вегетационный период начался на 2014 г. Минимальная обработка почвы осуществлялась СКС-3,2 дисковыми горизонтальными сошниками и механическим высевом семян ярового рапса (2013 г.) и яровой пшеницы (2014 г.). В качестве основной обработки применялась зяблевая вспашка на глубину 20–22 см. Посев яровой пшеницы в 2013–2014 гг. проводился стерневой сеялкой СС-6.

**Методы исследования.** Химические и физико-химические показатели получены по общепринятым прописям современных методов [1]. Плотность сложения почвы определяли буровым методом и оценивали по шкале Н.А. Качинского [6]; твердость почвы – в полевых условиях с помощью ручного пенетрометра Wile soil на глубину до 25 см конусом с диаметром 1,27 см; влажность – термостатно-весовым методом. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

**Результаты исследования и их обсуждение.** При исследовании влияния основной обработки почвы на урожайность зерновых особое внимание следует уделять слою почвы ниже уровня заделки семян при посеве. В условиях нашего опыта семена зерновых заделывались на глубину 4–5 см. Соотношение влажности и плотности почвы влияет и на поглощение растениями минеральных элементов. В результате применения почвообрабатывающих орудий (или их комплекса) в почве формируется характерная этой обработке плотность пахотного слоя, которая, в свою очередь, обеспечивает максимальный урожай, при определенном режиме увлажнения [9]. Поэтому вспашка, обеспечивающая меньшую из рассматриваемых обработок плотность почвы, имеет бесспорное преимущество при избытке осадков, а при недостатке влаги переходит к обработкам, обеспечивающим более плотное сложение пахотного слоя.

Рассмотрим, как изучаемые способы обработки изменяли сложение почвы. Согласно оценочным шкалам [8, 12], плотность характеризовалась как незначительная. В условиях отвальной вспашки во все сроки наблюдений 2013 г. плотность сложения пахотного слоя не превышала границы 1 г/см<sup>3</sup> и соответствовала уровню «вспущенной и рыхлой» (табл. 1).

Таблица 1  
Статистические параметры плотности сложения в вариантах опыта  
чернозема выщелоченного, n = 15 (2013 г.)

Вариант	Слой, см	21.05			28.06			2.10		
		x ± ts <sub>x</sub>	s	V, %	x ± ts <sub>x</sub>	s	V, %	x ± ts <sub>x</sub>	s	V, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Отвальная	0–5	0,68 ± 0,06	0,11	16	0,76* ± 0,06	0,10	14	0,83 ± 0,05	0,04	5
	5–20	0,70 ± 0,05	0,08	11	0,86* ± 0,04	0,08	9	0,82 ± 0,04	0,04	5

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Минималь- ная	0–5	0,87 ± 0,06	0,11	13	0,85 ± 0,09	0,15	17	0,78* ± 0,06	0,10	13
	5–20	0,87 ± 0,06	0,11	13	0,95 ± 0,05	0,09	10	0,91* ± 0,06	0,10	11
Нулевая	0–5	1,08* ± 0,07	0,13	12	1,07* ± 0,06	0,10	10	0,94* ± 0,06	0,10	11
	5–20	1,20* ± 0,06	0,11	9	1,19* ± 0,07	0,12	10	1,17* ± 0,04	0,07	6

\*Здесь и далее: различия достоверны между слоями и сроками наблюдений.

Полученные данные свидетельствуют о пониженных величинах показателя и согласуются с рядом исследователей почв Сибирского региона [2, 4, 7, 14]. Рыхлое сложение почв земледельческой части Красноярского края авторы связывают с длительным пребыванием их в мерзлом состоянии, растрескиванием в результате периодического иссушения летом и возрастания пористости. Материалы исследований [3] также свидетельствуют о существенных непроизводительных потерях влаги на физическое испарение при плотности почвы ниже оптимальной. Однако эти характеристики были получены для почв, обрабатываемых классическим отвальным способом.

Замена отвальной обработки поверхностным рыхлением дисковыми сошниками сопровождалась существенным увеличением плотности обоих исследуемых слоев в весенне-летнее время 2013 г. (см. табл. 1). К концу вегетационного сезона происходило достоверное снижение плотности от 0,88 до 0,78 г/см<sup>3</sup>. Вероятно, одним из факторов, оказавших влияние на формирование рыхлого сложения, явилось воздействие стержневой корневой системы ярового рапса и сформировавшегося мульчирующего слоя из растительного материала полевых культур прошлых лет.

Отказ от механической обработки почвы обнаружил превышение уровня ее уплотнения в сравнении с отвальной и минимальной обработкой, но все же она находилась в пределах оптимума. Интересно отметить, наибольшие изменения коснулись только верхней 0–5 см части корнеобитаемого слоя: от летнего периода к осени происходило достоверное снижение плотности. В слое 5–20 см ее параметры оставались статистически равнозначными (табл. 2). Очевидно, что сохранение растительных остатков предшествующих полевых культур на поверхности почвы, активизируя накопление молодых органических веществ, увеличивает устойчивость к деформациям и улучшает макропористость почвы.

По мнению А.А. Конищева [9], сразу после обработки почва имеет агрофизические характеристики, благоприятные для развития растений. При этом она выведена из своего равновесного состояния и, как правило, ее плотность ниже равновесной. В дальнейшем, по мнению автора, происходит быстрая усадка почвы, скорость которой определяется количеством и интенсивностью выпадающих осадков, водопроницаемостью.

Нашиими наблюдениями было установлено, что уровень увлажнения существенно влиял на внутрисезонную динамику плотности почвы (см. табл. 2). Данные рисунков 1, 2 иллюстрируют сильную обратную ее зависимость от уровня увлажнения в вегетационный сезон 2013 г.

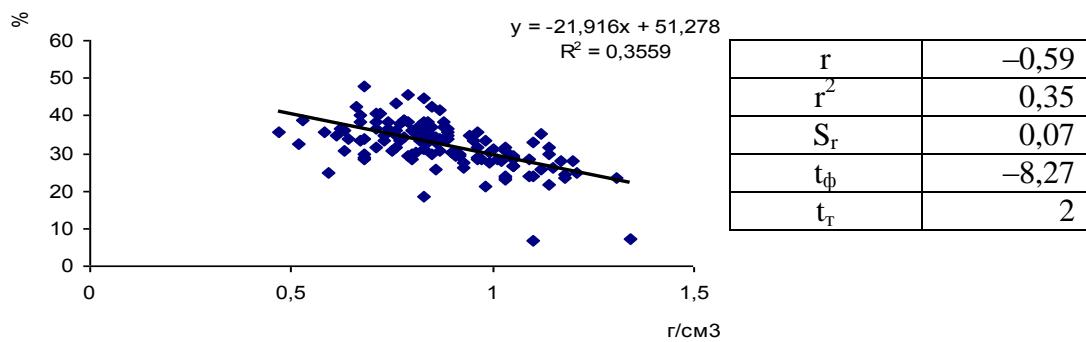


Рис. 1. Зависимость между влажностью почвы и плотностью сложения в слое 0–5 см ( $n = 126$ ), 2013 г.

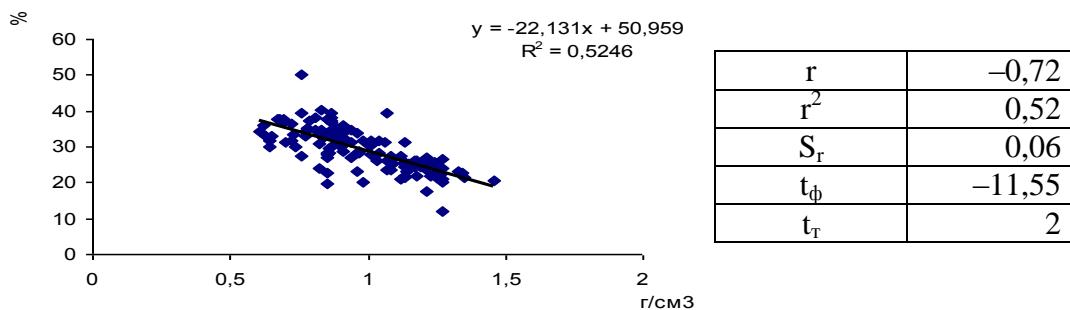


Рис. 2. Зависимость между влажностью почвы и плотностью сложения в слое 5–20 см ( $n = 123$ ), 2013 г.

На протяжении вегетационного сезона 2014 г. значения плотности сложения в условиях отвальной вспашки не превышали уровня первой градации шкалы Н.А. Качинского, однако несколько превосходили параметры предыдущего года (см. табл. 2). Таким образом, традиционный способ обработки почвы создавал излишне рыхлое ее сложение, что, согласно принципам агрофизики, приводит к слабому контакту семени с почвой, непродуктивной диффузной потере влаги, усилиению минерализационных процессов органического вещества и повреждению корневых систем полевых культур при оседании.

Применение поверхностного рыхления обнаружило существенное понижение плотности в слое 0–5 см от середины лета к осени. С глубиной значимых изменений не отмечалось, а уровень плотности варьировал в интервале 1,01–1,06 г/см<sup>3</sup>, существенно превышая верхний слой. По-видимому, более высокие параметры влажности верхней части почвы в сравнении с подсеменным слоем обусловливали формирование рыхлого «одеяла», представленного комочками размером 2–1 и 3–2 мм. Отмеченное обусловлено процессом разуплотнения в результате «набухания-усадки» при увлажнении и высыхании – явлений, которые многократно повторяются в природе и связаны с сезонными изменениями влажности. В наибольшей степени это проявляется в условиях наименьшего механического воздействия почвообрабатывающих орудий на почву.

Таблица 2  
Статистические параметры плотности сложения  
в вариантах опыта чернозема выщелоченного,  $n = 15$  (2014 г.)

Вариант	Слой, см	25.06			28.07			18.09		
		$x \pm ts_x$	s	V, %	$x \pm ts_x$	s	V, %	$x \pm ts_x$	s	V, %
Отвальная	0–5	$0,94 \pm 0,07$	0,13	14	$0,77^* \pm 0,07$	0,13	17	$0,91 \pm 0,08$	0,14	15
	5–20	$0,99 \pm 0,05$	0,10	10	$0,89^* \pm 0,06$	0,11	12	$0,94 \pm 0,04$	0,07	8
Минимальная	0–5	$1,03 \pm 0,06$	0,11	11	$0,82^* \pm 0,06$	0,12	15	$0,88^* \pm 0,06$	0,11	13
	5–20	$1,03 \pm 0,08$	0,14	14	$1,06^* \pm 0,06$	0,12	11	$1,01^* \pm 0,05$	0,09	10
Нулевая	0–5	$1,07 \pm 0,08$	0,15	14	$0,98^* \pm 0,04$	0,07	8	$1,07^* \pm 0,05$	0,09	9
	5–20	$1,09 \pm 0,07$	0,13	11	$1,15^* \pm 0,07$	0,12	6	$1,25^* \pm 0,08$	0,14	11

Так, максимальная величина плотности была достигнута почвой в слое 5–20 см в конце жизненного цикла озимой пшеницы при отсутствии механической обработки (см. табл. 2) и соответствовала уровню «плотной». Тогда как в верхнем 0–5 см слое проявляется «биологическое саморыхление» – результат аккумуляции на поверхности почвы слоя мульчи вместе с ходами отмерших корневых систем культур. По мнению В.В. Медведева [10], незначительная дифференциация па-

хотного слоя по плотности может замедлять непроизводительное испарение влаги и способствовать активизации естественных процессов почвообразования.

Наблюдение за динамикой плотности сложения в течение вегетационного сезона 2014 г. выявило снижение ее зависимости от степени увлажнения (рис. 3, 4).

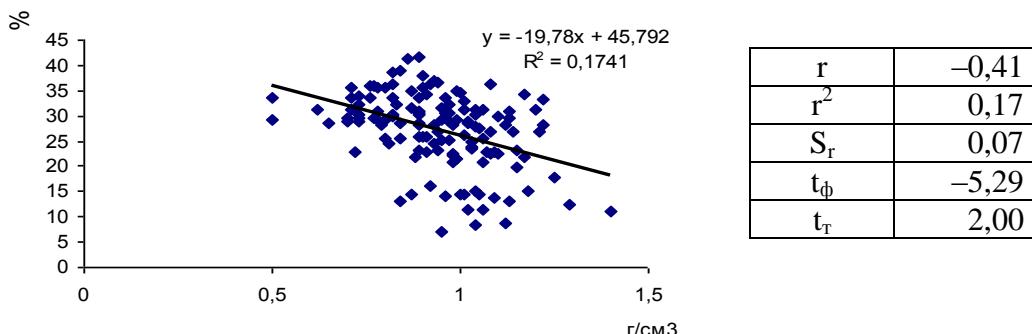


Рис. 3. Зависимость влажности почвы и плотности в слое 0–5 см ( $n = 135$ ), 2014 г.

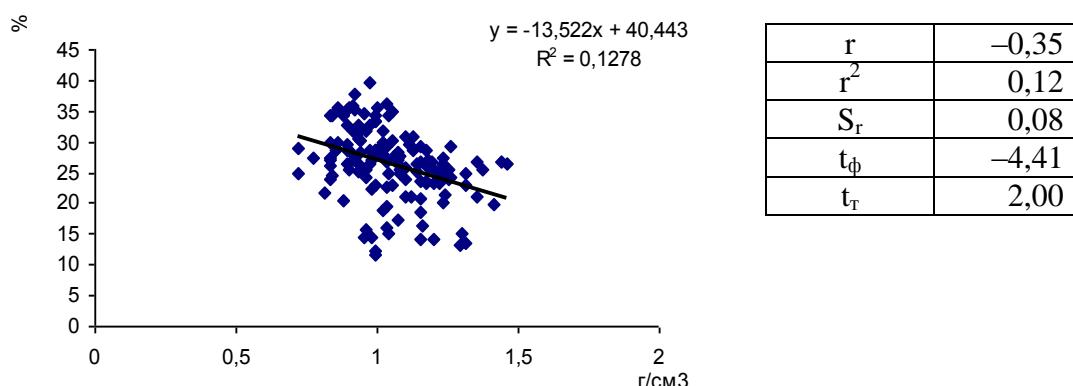


Рис. 4. Зависимость между влажностью почвы и плотностью сложения в слое 5–20 см ( $n = 123$ ), 2014 г.

Таким образом, оцениваемые способы воздействия на почву в целом не оказывали уплотняющего влияния до критических значений. Параметры плотности характеризовались как оптимальные, а в варианте с отвальной вспашкой, в отдельные периоды, – как избыточно рыхлые (вспущенные). При использовании почвозащитных технологий наблюдалась тенденция к дифференциации изучаемых слоев корнеобитаемой толщи по плотности сложения.

Твердость является интегральным показателем физического состояния и указывает на меру прочности почвы против разрушающего механического воздействия внешних сил: корней растений, почвообрабатывающих орудий, капель дождя. Она находится в функциональной зависимости от гранулометрического состава, структуры, плотности и влажности почвы [11].

Данные по твердости почвы, полученные на вариантах опыта, в целом подтверждают результаты исследований плотности сложения. Наблюдениями выявлены следующие статистические параметры твердости (табл. 3). При «нулевом» способе обработки твердость почвы соответствовала твердоватому типу, а при минимальной и отвальной – рыхловатой. Эта разница между вариантами была также статистически достоверна ( $t_{\phi} > t_T$ ).

Таблица 3

**Диагностические и статистические параметры твердости чернозема  
выщелоченного (июль 2013 г.), кгс/см<sup>2</sup>**

Статистический параметр	Способ обработки		
	Нулевая	Минимальная	Отвальная
$x$	22,8*	15,3	16,5
$s$	3,4	2,8	5,0
$s_x$	0,4	0,4	0,6
$V, \%$	14,9	18,3	30,0

\* Разница достоверна.

Параметры изменчивости характеризовали на нулевом и минимальном фоне уровень варьирования показателя как «средний», а при отвальной обработке – «высокий». По мнению исследователей [11], такие значения гарантируют наличие пространственной неоднородности, а, следовательно, необходимость проведения парцелизации полей с целью последующего внедрения разных способов обработки (при использовании элементов точного земледелия). С целью поиска факторов, оказывающих влияние на состояние почвенной массы, был проведен анализ корреляционных зависимостей твердости почвы от плотности сложения. Он выявил слабые связи в условиях почвозащитных обработок, а на отвальной вспашке – среднюю ( $r = 0,64$ ). Вероятно, традиционная обработка с оборотом пласта в большей степени дифференцирует пахотный слой и вызывает формирование микрозональности агрофизических параметров. Аналогичный характер зависимости в вариантах был обнаружен и с влажностью почвы. Так, при нулевой и минимальной обработке корреляция практически отсутствовала, а на фоне отвальной – связь была отрицательной и умеренной ( $r = -0,55$ ). Обнаруженное согласуется с мнением Б.И. Потапова [13], когда при подсушивании почвы в тонких порах (характерных для почв, подвергающихся воздействию почвозащитных технологий) под действием капиллярных сил происходит сближение частиц и агрегатов по площадкам контактов.

### Выводы

1. Оцениваемые способы основной обработки почвы не оказали существенного уплотняющего воздействия на плотность почвы. Ее параметры характеризовались как оптимальные, а в условиях отвальной вспашки, в отдельные периоды – как избыточно рыхлые.

2. На фоне оптимальных значений плотности для большинства сельскохозяйственных растений наиболее высокие значения были характерны для условий, сформировавшихся при обработке по типу нулевой. Они достоверно отличались от параметров почвы в вариантах с отвальной и минимальной обработками.

3. Значения твердости почвы были наиболее высокими в варианте с нулевой обработкой. Они достоверно превышали параметры сопротивления пенетрации в условиях отвальной и минимальной обработок.

4. Выявлены умеренные и обратные корреляционные зависимости между плотностью сложения и влажностью. Твердость почвы определялась степенью увлажнения в средней степени ( $r = -0,55$ ) и с умеренной силой была связана с плотностью ( $r = 0,65$ ). Однако эти зависимости были обнаружены только для условий отвальной вспашки. При других способах обработки корреляционная связь была слабой.

### Литература

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
2. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Влияние внутривильной неоднородности почвенного плодородия на выбор элементов методики полевого опыта // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 6. – С. 55–62.

3. Берзин А.М., Таскина В.М. Влияние обработки и севооборотов на плотность и структурность почв // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон азиатской части СССР. – М.: Колос, 1982. – С. 93–98.
4. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. – Красноярск, 1981.
5. Буянкин Н.И., Слесарев В.Н., Краснощеков А.Г. Ключевые показатели минимализации обработки почвы // Земледелие. – 2004. – № 4. – С. 14–15.
6. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
7. Вередченко Ю.П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. – М.: Наука, 1961.
8. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 1. – М.: Высш. шк., 1965. – 324 с.
9. Конищев А.А. Обработка почвы: вчера, сегодня, завтра. – Иваново, 2013. – 125 с.
10. Медведев В.В. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). – Харьков: 13 типография, 2004. – 244 с.
11. Медведев В.В. Твердость почв. – Харьков: Городская типография, 2009. – 152 с.
12. Наумов С.А. Оптимальная плотность серой лесной почвы для полевых культур и роль механической обработки в ее регулировании // Теоретические основы обработки почвы. – М.: Гидрометеоиздат, 1969.
13. Потапов Б.И. О влиянии влажности и уплотнения почв на предельное сопротивление их сдвигу // Почтоведение. – 1966. – № 4. – С. 30–32.
14. Чупрова В.В., Ерохина Н.Л. База данных по плотности сложения почв земледельческой территории Красноярского края // Вестн. КрасГАУ. – 1999. – № 5. – С. 84–92.

### **Literature**

1. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskому analizu pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1970. – 487 s.
2. Belousov A.A., Belousova E.N. Vliyanie vnutripol'noi neodnorodnosti pochvennogo plodorodiya na vybor ehlementov metodiki polevogo opyta // Vestn. KrasGAU. – 2013. – № 6. – S. 55–62.
3. Berzin A.M., Taskina V.M. Vliyanie obrabotki i sevooborotov na plotnost' i strukturnost' pochv // Agrofizicheskaya harakteristika pochv stepnoy i suhostepnoy zon aziatskoy chasti SSSR. – M.: Kolos, 1982. – S. 93–98.
4. Bugakov P.S., Gorbacheva S.M., Chuprova V.V. Pochvy Krasnoyarskogo kraya. – Krasnoyarsk, 1981.
5. Buyankin N.I., Slesarev V.N., Krasnoshchekov A.G. Klyuchevye pokazateli minimalizatsii obrabotki pochvy // Zemledelie. – 2004. – № 4. – S. 14–15.
6. Vadyunina A.F., Korshagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svojstv pochv: ucheb. posobie. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Agropromizdat, 1986. – 416 s.
7. Veredchenko YU.P. Agrofizicheskaya harakteristika pochv central'noi chasti Krasnoyarskogo kraja. – M.: Nauka, 1961.
8. Kachinskiy N.A. Fizika pochvy. CH. 1. – M.: Vyssh. shk., 1965. – 324 s.
9. Konishchev A.A. Obrabotka pochvy: vchera, segodnya, zavtra. – Ivanovo, 2013. – 125 s.
10. Medvedev V.V. Plotnost' slozheniya pochv (geneticheskiy, ekologicheskiy i agronomicheskiy aspekty). – Har'kov: 13 tipografiya, 2004. – 244 s.
11. Medvedev V.V. Tverdost' pochv. – Gorodskaya tipografiya, 2009. – 152 s.
12. Naumov S.A. Optimal'naya plotnost' seroy lesnoy pochvy dlya polevyh kul'tur i rol' mekhanicheskoy obrabotki v eyo regulirovaniy // Teoreticheskie osnovy obrabotki pochvy. – M.: Gidrometeoizdat, 1969.
13. Potapov B.I. O vliyanii vlazhnosti i uplotneniya pochv na predel'noe soprotivlenie ih sдвигу // Pochtovedenie. – 1966. – № 4. – S. 30–32.
14. Chuprova V.V., Erohina N.L. Baza dannyyh po plotnosti slozheniya pochv zemledele'cheskoy territorii Krasnoyarskogo kraja // Vestn. KrasGAU. – 1999. – № 5. – S. 84–92.