

N. V. Perfilyev, O. A. Vyushina,

Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region – Branch of Federal State Institutions Federal Research
Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.
2, Burlaki street, Moskovskiy, Tyumen district, Tyumen region, 625501, e-mail:vyushina63@mail.ru

The purpose of the researches carried out at the Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region – Branch of Federal State Institutions Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences is to evaluate the main tillage systems on their influence on the elements of structural state of soil horizons of dark gray forest soil (Luvic Retic Greyzem Phaeozem (Loamic, Aric)). The changes in the structural-aggregate state of soil horizons for a 30-year period (1988-2019) under cultivation of cereals in the crop rotation: clean fallow, winter rye, spring wheat, spring wheat, spring barley, in the stationary experiment, by systems of basic tillage: moldboard, no-moldboard, combined, flat-cut, surface. In the 0-10 cm soil layer the most positive shift towards increasing the content of agronomically valuable fraction of aggregates 10.0-0.25 mm by 10.3-15.6%, structural coefficient by 66-120%, optimization of weighted average size of agronomically valuable fraction of aggregates, from 2.35 mm at initial condition to 2.67-2.53 mm, which is due to a decrease in the content of clumps in this layer by 5.6-16.7%. Maximum values of these structure elements were provided by the moldboard, surface, combined and differentiated tillage systems. In the soil layer 10-20 cm the moldboard tillage system did not reduce the content of agronomically valuable fraction of aggregates, in the layer 20-30 cm the reduction was insignificant – 3% in comparison with the initial state. Structural coefficient and weighted average aggregate diameter index, also showed high stability. According to resource-saving tillage systems in the soil layer 10-20 cm the content of agronomically valuable fraction of aggregates decreased by 6.7-19.8%, in the soil layer 20-30 cm by 11.2-44.8%, with a decrease in the coefficient of structure, respectively, by 20.2-43.3% and 61.9-71.3%, mainly due to an increase in the content of clumpy fraction in these layers, respectively, by 6.5-15.3 and 3.3-26.5%. The most significant decrease in the content of aggregates 10.0-0.25 mm in the layer 10-30 cm – by 17.8-44.8% in comparison with the initial one occurred on no-moldboard and surface tillage systems.

Keywords: aggregate composition, structural composition, structure coefficient, tillage systems.

УДК: 631.4:631.445(571.13)

EDN: FNGWYO

DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-30-34

ОБЪЕМНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И УПЛОТНЕНИЕ ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.В. Юшкевич, д.с.-х.н., yushkevitchLV@yandex.ru, Orcid ID: 0000-0002-6203-10787,

Д.Н. Ющенко, andenisna@mail.ru, yushchenko@anc55.ru, Orcid ID: 0000-0002-7387-8055, А.С. Бутко,
as.butko2132@omgau.org Orcid ID: 0000-0002-7396-1940, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»
Омск, Российская Федерация, 644012, пр-т Королева, 26,
тел.: +7 (3812) 77-63-09, +7 (3812) 77-63-03

Проведено изучение агрофизических свойств зональных черноземных и солонцеватых почв в степной и лесостепной зонах Омской области. Установлено, что объемные деформации, уплотнение, набухание, водопоглощение, коэффициент усадки верхнего слоя изменчивы и определяются гранулометрическим составом, содержанием гумуса, солонцеватостью, исходным уплотнением и увлажнением. Снижение влажности в верхнем слое черноземных почв повышает уплотнение при рыхлом сложении ($0,90 \text{ г/см}^3$) до $0,09-0,11 \text{ г/см}^3$ (10-18%), средней исходной плотности ($1,10 \text{ г/см}^3$) на 14-18% и наиболее плотной ($1,30 \text{ г/см}^3$) до 5%. В иллювиальном солонцовом горизонте (В) объемная усадка достигает 18,5-21,1%, что в 1,6-1,8 раза выше, чем в надсолонцовом горизонте A_1 , существенно возрастает набухание почвы. Коэффициент усадки с увеличением плотности снижается, глинистых частиц и солонцеватости – возрастает. На всех стадиях высушивания он менее 1 при высоких значениях влажности, близкой к ВРК (22-25%). Черноземные почвы в условиях засухи и снижения влажности (близкой к ВЗ) уплотняются до $1,16-1,25 \text{ г/см}^3$ и более, покрываются трещинами, а при повторном увлажнении восстанавливают первоначальную плотность. Оптимизация агрофизического состояния черноземных почв (плотность, сложение, скважность, соотношение фаз, водопроницаемость) повышает результативность ресурсосберегающей обработки почвы в полевых севооборотах и отдачу от средств комплексной химизации на пшенице по пару, относительно ежегодной вспашки, с 37,1 до 51,7-57,1%.

Ключевые слова: черноземы, плотность, усадка, влажность, набухание, трещиноватость, минимальная обработка.

Для цитирования: Юшкевич Л.В., Ющенко Д.Н., Бутко А.С. Объемные деформации и уплотнение чернозёмных почв в Омской области// Плодородие. – 2024. – №3. – С. 30-34. DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-30-34. EDN: FNGWYO.

Среди многокомпонентных факторов плодородия зональных почв плотность сложения верхнего корнеобитаемого слоя имеет основополагающее значение для жизнедеятельности растений [7, 9, 10]. При оптимальном

агрофизическом состоянии почвы реализуются в полной мере биологические особенности культуры, сорта [3, 5, 9].

Исследованиями установлено, что для черноземных почв региона, занимающих в пашне основных зерносеющих зон (степная, южно-лесостепная) 45-71%,

оптимальное уплотнение для зерновых культур и состояния почвенной биоты составляет 1,15-1,20 г/см³, при соотношении твердой фазы до 40-45%, жидкой – 30-35 и газообразной – 20-25% [1, 8, 13].

Оптимальные параметры равновесной плотности зональных почв, прежде всего черноземов, являются основой теоретического обоснования и положительной реализации минимизации основной обработки. В то же время в течение вегетации растений плотность и сложение верхнего слоя – непостоянная константа, она весьма динамична и изменчива. Объемные деформации почвы, ее разуплотнение, изменение соотношения фаз связаны с гидротермическими условиями, воздействием рабочих органов орудий и машинно-тракторных агрегатов, состоянием почвенной биоты. В условиях изменчивого увлажнения и иссушения верхнего слоя почвы в течение вегетации растений установлено отсутствие устойчивой сопряженности уплотнения верхнего слоя черноземов и урожайности яровой пшеницы. Выявлено, что зональные черноземные почвы обладают высокой устойчивостью к переуплотнению. Это связано с относительно высокой гумусированностью верхнего слоя (до 7-8%), водопрочностью агрегатов >0,25 мм (до 50-60%), гранулометрическим составом [4, 6, 11, 15].

Цель исследований – выявить направленность изменений объемных деформаций и уплотнения зональных почв Омской области.

Методика. Полевые наблюдения за динамикой плотности почвы проведены в стационарных опытах (с 1972 г.) в южно-лесостепной (НПХ «Омское») и северно-лесостепной (полевой севооборот с солонцовыми почвами) зонах в Тюкалинском районе. Более детальные исследования объемных деформаций различных почв были выполнены с помощью прибора ПНГ-1, позволяющего регистрировать стадии объемных изменений в процессе высушивания в камере при температуре до 70-80 °С в течение 10-12 ч. Исследуемые почвенные пробы увлажнялись до 35% исходного увлажнения с уплотнением до 0,90; 1,10 и 1,30 г/см³. При высушивании параметры деформаций измерялись в вертикальной и горизонтальной плоскостях индикатором ИЧ-10 при увлажнении монолита почвы при влажности 35; 30; 25; 15; 10 и 5%. Повторность определений 5-кратная [2].

Результаты и их обсуждение. Основой агрофизического состояния зональных почв региона являются уплотнение, количество и соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз в верхнем слое к посеву и в течение вегетации зерновых культур. Установлено, что длительное (более 20 лет) применение ресурсосберегающих поверхностных обработок черноземных почв оптимизирует соотношение газообразной и жидкой фаз к посеву зерновых в слое 0-30 см до 1,12-1,17, при скважности 56-59%. Полевые почвенные деформации в направлении уплотнения от посева до уборки зерновых культур составляют на вспашке до 0,14-0,22 г/см³ (15-26%), на минимальной обработке лишь 3-7%. Установлено, что в засушливый вегетационный период при ГТК 0,60-0,80 плотность верхнего слоя черноземных почв может повышаться до 1,16-1,25 г/см³ и более, во влажные годы она снижается до 0,80-1,12 г/см³. Это связано как с уплотнением, так и с усадкой почвы при потере влаги, набуханием и разрыхлением почвенного монолита при увлажнении. В засушливые годы иссушение корнеобитаемого слоя сопровождается объемной деформацией и усадкой с образованием трещиноватости на поверхности поля,

при увлажнении – набуханием и снижением уплотнения. Более детальные лабораторные исследования позволили установить направленность объемных деформаций зональных почв. Изучаемые почвенные образцы различались по ряду физико-химических свойств (табл. 1).

1. Физико-химические свойства исследуемых зональных почв (слой 0-20 см)

Почва, гранулометрический состав	Содержание гумуса, %	Поглощенные основания (мг-экв/100 г)			Сумма (мг-экв.)	Сумма фракций <0,01 мм, %
		Ca++	Mg++	Na+		
Чернозем слабо-выщелоченный среднесуглинистый	6,3	19,0	5,0	0,1	24,1	34,8
Чернозем слабо-выщелоченный тяжелосуглинистый	8,7	32,2	6,3	0,2	38,7	51,4
Чернозем обыкновенный легкоглинистый	6,8	31,3	3,8	0,4	35,5	65,1
Солонец среднестолбчатый луговой (гор. В ₁)	Не опр.	23,2	18,2	3,5	44,8	67,2

В легкоглинистом обыкновенном черноземе (НПХ «Новоуральское») в сравнении со среднесуглинистым (НПХ «Омское», южная лесостепь) сумма поглощенных оснований возрастает до 35,5 мг-экв. (в 1,5 раза), удельная доля фракций <0,01 мм – до 65,1% (в 1,9 раза). Это оказывает влияние на параметры объемных деформаций верхнего слоя черноземов.

Установлено, что образцы исследуемых почв с ненарушенной структурой при постепенном высушивании и снижении влажности с 35 до 5% постепенно уплотняются, в зависимости от исходной плотности и гранулометрического состава верхнего слоя почвы (табл. 2).

Устойчивость зональных почв к деформациям различного типа (консолидация, набухание, машинная, пучение и оттаивание) во многом связана с генезисом почв, гранулометрическим составом, содержанием органического вещества, гуминовых кислот, водопрочностью почвенных агрегатов. Уплотнение почвы происходит в основном под влиянием капиллярных сил, направленных на взаимное сближение почвенных частиц, с уменьшением объема и уплотнения монолитов. В итоге, возникающие напряжения приводят к иссушению, снижению увлажнения верхнего слоя и выраженной трещиноватости.

Наблюдения показали, что при полном цикле высушивания (от 35 до 5%) деформация почвы динамична и при более рыхлом сложении (0,9 г/см³) верхний слой черноземов повышает плотность на 0,09-0,11 г/см³ (10-18%), при сложении 1,10 г/см³ – на 14-18% и наиболее плотный (1,30 г/см³) до 5%. Только в обыкновенном легкоглинистом черноземе уплотнение от исходного уровня остается достаточно высоким – 0,20 г/см³ (15,3%).

Необходимо выявить: обратимы ли количественные параметры объемной усадки, набухания и в связи с этим плотности верхних слоев почвы. В этой связи в лабораторных исследованиях проводили капиллярное насыщение почвенных проб до постоянного объема. Установлено, что при увлажнении почвенных монолитов не только восстанавливается исходная плотность почвы, но и происходит ее незначительное снижение.

2. Объемные деформации и уплотнение верхнего слоя черноземных почв Омской области, % (слой 0-20 см)

Гранулометрический состав почв	Уплотнение почвы при потере влаги от 35 до 5%		Плотность при повторном цикле, г/см ³		Повышение объема почвы от исходного, %	
	г/см ³	от исход., %	набухание	промораживание	набухание	промораживание
Исходная плотность 0,90 г/см³						
Среднесуглинистый	0,089	9,9	0,899	0,850	0	5,85
Тяжелосуглинистый	0,104	15,0	0,910	0,845	0	6,53
Легкоглинистый	0,105	18,1	0,909	0,852	0	5,63
Среднее	0,099	14,3	0,91	0,85	0	6,00
Плотность 1,10 г/см³						
Среднесуглинистый	0,153	13,9	1,019	0,984	7,87	11,73
Тяжелосуглинистый	0,172	15,6	1,018	0,984	7,97	11,70
Легкоглинистый	0,198	18,0	1,016	0,977	8,34	12,68
Среднее	0,174	15,8	1,02	0,98	8,06	12,04
Плотность 1,30 г/см³						
Среднесуглинистый	0,055	4,2	1,263	1,240	7,28	2,98
Тяжелосуглинистый	0,067	5,2	1,249	1,183	10,01	3,47
Легкоглинистый	0,199	15,3	1,217	1,171	11,11	9,43
Среднее	0,107	8,2	1,24	1,20	9,47	5,29

Набухание черноземных почв, в зависимости от гранулометрического состава и уплотнения, увеличивает объем монолитов на 7-28%. Дополнительное увеличение объема почвы от первоначального (до высушивания) при плотности 1,10 и 1,30 г/см³ составляет 7-11%, при более рыхлом сложении (0,90 г/см³) объем не изменяется. При промораживании увлажненной почвы в осенне-зимний период уплотнение почвенного монолита не наблюдается – 0,85-1,20 г/см³.

Установлено, что более значительные объемные деформации и уплотнение верхнего слоя черноземных почв происходят при наименьшей плотности (0,90 г/см³) до 11,7-12,6%, в интервале увлажнения от наименьшей влагоемкости (НВ) до влажности разрыва капиллярной (ВРК) связи. В обыкновенном легкоглинистом черноземе наибольшие усадочные напряжения и уплотнение верхнего слоя протекают в интервале увлажнения почвы от ВРК до влажности завядания (ВЗ). У более плотной почвы (1,30 г/см³) объемные деформации происходят слабее в 1,7-1,9 раза в связи с уменьшением порозности. В процессе снижения увлажнения и сжатия, почвенные агрегаты быстрее приходят в соприкосновение и формируют малосжимаемый остов, препятствующий капиллярным силам сближения [1].

В северной лесостепной зоне, занимающей до 40% территории области, в почвенном покрове преобладают почвы солонцового комплекса. Почвы различной степени солонцеватости и засоления более распространены на слабодренированных территориях. Агрофизические свойства, объемные деформации и уплотнение почв

солонцового комплекса наименее изучены. Это осложняет рациональное применение основной и весенней качественной обработки с целью оптимизации сложения верхнего слоя и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

При повышенном увлажнении солонцовые почвы, как правило, заплывают, при продолжительной засухе и иссушении верхнего слоя почвы наблюдаются переуплотнение и растрескивание, что существенно ухудшает агрофизические свойства. Если надсолонцовый горизонт А обладает относительно благоприятными водно-физическими свойствами, то иллювиальные (В, В₂), в основном из-за высокого содержания в поглощающем комплексе катиона Na⁺ и ореховатой или столбчатой структуры, ухудшают плодородие [15].

Наблюдения показали, что при высушивании почвенных слоев среднестолбчатого солонца происходят значительные деформации и уплотнение, которое зависит от генетического горизонта и исходной плотности почвы, (табл. 3).

3. Объемная усадка, уплотнение и набухание среднестолбчатого солонца при различной исходной плотности (северная лесостепь)

Плотность, г/см ³	Горизонт (слой), см				
	A ₁ 0-10	A ₁ 10-15	B ₁ 15-20	B ₁ 20-30	B ₂ 30-40
Объемная усадка почвы при высушивании от 35 до 5, %					
0,90	13,2	14,0	19,6	17,2	20,2
1,10	10,9	12,7	20,0	17,3	19,2
1,30	9,1	11,2	23,8	21,1	20,8
Среднее	11,1	12,6	21,1	18,5	20,1
Повторное набухание почвы, %					
0,90	15,2	16,9	22,7	25,9	25,1
1,10	15,3	17,6	29,4	28,7	29,4
1,30	14,8	18,0	32,4	39,0	33,5
Среднее	15,1	17,5	28,2	31,2	29,3

Выявлено, что у среднеореховатого солонца при полном цикле высушивания наблюдается, в отличие от черноземов, более значительная объемная усадка почвы. В солонцовых горизонтах (В₁, В₂) объемная усадка в среднем в 1,6-1,8 раза выше, чем в надсолонцовом горизонте А₁. В солонцовых горизонтах к концу высушивания почвенный монолит превращается в исключительно твердое образование как у обезвоженных гидрофильных структур. Значительные усадочные напряжения способствуют более высокому уплотнению, чем в горизонте А₁ и в верхнем горизонте черноземов. В целом, в горизонте А₁ объемная усадка близка к показателям пахотного горизонта черноземных почв. В иллювиальных горизонтах при увеличении начальной плотности деформации возрастают. В луговой солонцеватой почве объемные деформации были менее выражены и изменялись от 14,1 до 17,9%.

Повторное набухание почвы из различных генетических горизонтов среднеореховатого солонца показало заметную дифференциацию почвенного профиля. Так, в иллювиальных (В₁, В₂) горизонтах набухание почвы от исходного объема повышалось в 1,5-2,2 раза по сравнению с горизонтом А₁. Капиллярная влагоемкость в солонцовых горизонтах при полном увлажнении почвы была высокой и составляла при плотности 0,90 г/см³ – 63-69%, при 1,10 – 43-58 и при 1,30 г/см³ она уменьшалась до 41-47%.

Набухание почвы, с увеличением исходной плотности, особенно в иллювиальных горизонтах, возрастает. Так, в среднем по профилю почвы при плотности 0,90 г/см³ набухание составило 21,2; 1,10-24,1% и при 1,30

г/см³ оно увеличивалось в 1,3 раза до 27,6%. В основном из-за более высокого содержания гидрофильных коллоидов, набухание почвы в солонцовых горизонтах повышалось в 1,5-2,1 раза.

Повышенное набухание солонцовых горизонтов, особенно в верхнем пахотном слое, заметно снижает водопроницаемость почвы, приводит к застаиванию талых вод после снеготаяния, затрудняет проведение весенне-полевых работ.

Для детальной и более полной характеристики деформаций исследуемых почв необходимо установить соотношение уменьшения объема почвы (1 см³) к массе испарившейся влаги (коэффициент усадки). Данный параметр, объективно отражающий характер и направленность объемных деформаций почвы, был введен еще В.А. Францесом (1963) при исследовании почв Каменной степи. Так, при усадке глинистого чернозема при высушивании почвы от 44,5 до 6% влажности, объемная усадка почвы достигала 22%, а коэффициент усадки (К) составлял 0,47 [14].

Исследования показали, что у черноземных почв К усадки с увеличением начального уплотнения снижается, с повышением глинистых частиц и емкости поглощенных оснований – возрастает, причем на всех стадиях объемной усадки почвы он менее единицы (табл. 4).

4. Коэффициент объемной усадки черноземных почв различного гранулометрического состава (гор. А₁) при высушивании от 35 до 5%

Гранулометрический состав почв	Интервал увлажнения, %						К усадки от 35 до 5%
	35-30	30-25	25-20	20-15	15-10	10-5	
Исходная плотность 0,90 г/см³							
Среднесуглинистый	0,45	0,35	0,38	0,35	0,24	0,23	0,33
Тяжелосуглинистый	0,57	0,58	0,39	0,40	0,54	0,38	0,48
Легкоглинистый	0,44	0,67	0,88	0,65	0,53	0,30	0,58
Плотность 1,10 г/см³							
Среднесуглинистый	0,62	0,57	0,33	0,31	0,22	0,21	0,38
Тяжелосуглинистый	0,55	0,73	0,35	0,44	0,28	0,24	0,43
Легкоглинистый	0,43	0,51	0,79	0,53	0,34	0,20	0,47
Плотность 1,30 г/см³							
Среднесуглинистый	0,18	0,27	0,13	0,04	0,04	0,04	0,12
Тяжелосуглинистый	0,29	0,18	0,21	0,05	0,04	0,03	0,13
Легкоглинистый	0,32	0,43	0,52	0,39	0,27	0,11	0,34

Установлено, что у легкоглинистого чернозема отмечаются закономерность повышения усадочных напряжений и растрескивание почвы в интервале влажности от 25 до 20% (близкое к ВРК) с ростом К усадки до 0,88. С повышением исходного уплотнения коэффициент усадки снижается, составляя при плотности 0,90 г/см³ в среднем 0,46, при 1,10–0,43 и более плотном сложении (1,30 г/см³) только 0,20, или в 2,3 раза меньше.

Процессы объемных деформаций, набухание и изменение плотности зональных почв происходят непрерывно вследствие гидротермических условий в течение вегетации зерновых культур и наиболее выражены в верхнем слое. В нем наблюдаются наибольшие изменения плотности с увлажнением и разрыхлением почвы в более влажные годы, уплотнением и трещиноватостью поверхности поля – в засушливые. Установлено, что при

осенней влажности верхнего слоя почвы до влажности завядания (ВЗ), параметры трещин на площади 1 м² составляют: длина до 3,5-4,0 м, ширина до 0,6-1,0 см, глубина до 0,25-0,30 м, при объеме более 4,0 дм³. Данная особенность проявляется в засушливую осень, вероятность которой в южно-лесостепной зоне составляет 10-20%, в степи до 25-30%. С увеличением параметров трещин возрастает контакт почвы с воздушной средой, что способствует повышению потерь влаги из верхнего слоя до 20-30%.

Процессы объемных деформаций, набухания и усадки протекают в верхнем слое почвы непрерывно, что во многом определяется гидротермическими условиями вегетационного периода. В связи с этим, возделываемые сельскохозяйственные культуры произрастают на зональных почвах с изменчивой плотностью и отсутствием устойчивой сопряженности с урожайностью зерновых культур ($r < 0,30$).

Установлено, что длительное (более 15 лет) применение ресурсосберегающих систем обработки черноземных почв в полевых севооборотах оптимизирует уплотнение верхнего слоя к посеву зерновых – 1,06-1,12 г/см³, скважность – 56-59%, соотношение газообразной и жидкой фазы – 1,10-1,16. Выявлено, что при сокращении интенсивности обработки почвы в зернопаровом севообороте и оптимизации агрофизических параметров верхнего слоя, отдача от средств комплексной химизации, относительно контрольного варианта, повышается (табл. 5).

5. Сравнительная оценка урожайности зерна яровой пшеницы по паровому предшественнику в зависимости от обработки почвы в зернопаровом севообороте, т/га (южная лесостепь) (в среднем за 2004-2021 г.)

Система обработки почвы (А)	Урожайность, т/га (В)		Прибавка зерна	
	экстенсивная технология	интенсивная технология	т/га	%
Отвальная	2,80	3,84	1,04	37,1
Комбинированная	2,58	3,72	1,14	44,2
Плоскорезная	2,40	3,64	1,24	51,7
Нулевая	2,31	3,63	1,32	57,1
Технология (В), НСР ₀₅ – 0,06 т/га ⁻¹	2,52	3,71	1,19	47,2

Так, на пшенице по пару многолетняя урожайность зерна на экстенсивной технологии составила 2,52 т/га, на интенсивной – 3,71 т/га, прибавка зерна 1,19 т/га, или 47,2%. При минимизации обработки почвы и оптимальном сложении верхнего слоя отдача от средств комплексной химизации (удобрения, гербициды, фунгициды) возрастает от отвальной до минимальных обработок с 1,04 до 1,24-1,32 т/га, или от 37,1 до 51,7-57,1%.

Закключение. Объемные деформации зональных черноземных почв изменчивы и определяются генезисом, гранулометрическим составом, гумусированностью, исходным уплотнением и влажностью.

При уменьшении увлажнения черноземных почв различного гранулометрического состава от 35 до 5 % уплотнение рыхлой (0,90 г/см³) почвы составляет 10-18% (0,09-0,11 г/см³), среднеуплотненной – 14-18% (1,10 г/см³) и наиболее плотной (1,30 г/см³) до 5%. В солонцовых горизонтах (В₁, В₂) объемная усадка достигает 18,5-21,1%, что в 1,6-1,8 раза выше, чем в надсолонцовом горизонте А₁, возрастает набухание почвы. В черноземных и солонцеватых почвах коэффициент усадки с повышением плотности уменьшается, а глинистых частиц и солонцеватости – возрастает. На всех стадиях

высушивания он менее единицы при наибольших параметрах при влажности близкой к ВРК (20-25%).

Оптимизация агрофизического состояния верхнего слоя черноземных почв способствует повышению результативности ресурсосберегающих систем обработки почвы и повышению отдачи от средств комплексной химизации на пшенице по пару с 37,1 до 51,7-57,1%.

Литература

1. Буянкин Н.И. Агрофизика и кинетика в минимизации основной обработки черноземов: монография / Н.И. Буянкин, В.Н. Слесарев. – Калининград: Янтарный сказ, 2004. – 160 с.
2. Буянкин Н.И. Деградация и экологизация Сибирских черноземов : монография / Н.И. Буянкин, В.Н. Слесарев. – Калининград: Янтарный сказ, 2006. – 192 с.
3. Da Silva A.P., Kay B.D., Perfect E., 1997. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Till. Res.* 44: 81-93.
4. Dobrzański B. jr., Rybczyński R., 2011. Physical properties of raw materials and agricultural products. [In:] Encyclopedia of agrophysics (Gliński J., Horabik J., Lipiec J., Eds.). Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York: 581-590.
5. Канарак А., Талер Р. К вопросу обеспечения растений влагой и воздухом при различном уплотнении почв // Почвоведение. – 1962. – №5 – С.106-113.

6. Кем А.А., Юшкевич Л.В. Сравнительная оценка посевных комплексов при возделывании зерновых культур в Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – №4 (20). – С. 61-64.
7. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. – М.: Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.
8. Макаров А.Р. Ресурсы почвенной влаги в засушливом земледелии Западной Сибири: монография/ А.Р. Макаров, М.Е. Черепанов, Л.В. Юшкевич. – Омск, 1992. – 146 с.
9. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. – М.: Росинформагротех, 2018. – 396 с.
10. Ревут И.Б. Физика в земледелии. – М. – Л.: Физматгиз, 1960. – 300 с.
11. Слесарев В.Н. Устройство для регистрации вертикальных деформаций почвы / В.Н. Слесарев, Ю.Ф. Бетехтин // Почвоведение. – 1976. – №6. – С. 134-137.
12. Францесон В.А. Избранные труды. Черноземные почвы СССР. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 387 с.
13. Хамова О.Ф. [и др.]. Влияние агротехнологий на состояние почвенной биоты и продуктивность ячменя в лесостепи Западной Сибири // Земледелие. – 2023. – №2. – С. 18-23.
14. Храмов И.Ф. [и др.]. Система адаптивного земледелия Омской области // Омский аграрный научный центр. – Омск, 2020. – 522 с.
15. Чекусов М.С. [и др.]. Совершенствование комплекса машин и орудий в засушливом земледелии Западной Сибири // Земледелие. – 2016. – №3. – С. 13-16.

VOLUMETRIC DEFORMATIONS AND COMPACTION OF CHERNOZEM SOILS IN THE OMSK REGION

Yushkevich L.V. – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, and Head. Laboratory of resource-saving agricultural technologies, yushkevitchLV@yandex.ru, Orcid ID: 0000-0002-6203-10787; Omsk Agrarian Scientific Center Omsk, Russian Federation 644012, 26 Korolev Ave., tel.: +7 (3812) 77-63-09, yushkevitchLV@yandex.ru

Yushchenko D.N. -senior Researcher andenisna@mail.ru, Orcid ID: 0000-0002-7387-8055 Omsk Agrarian Scientific Center Omsk, Russian Federation 644012, 26 Korolev Ave., tel.: +7 (3812) 77-63-09, yushchenko@anc55.ru

Butko A.S. – scientific employee as.butko2132@omgau.org Orcid ID: 0000-0002-7396-1940 Omsk Agrarian Scientific Center Omsk, Russian Federation 644012, 26 Korolev Ave., tel.: +7 (3812) 77-63-03

Agrophysical properties of zonal chernozem and solonetz soils were studied in steppe and forest-steppe zones of Omsk region. It was found that volume deformations, compaction, swelling, water absorption, shrinkage coefficient of the upper layer are variable and are determined by granulometric composition, humus content, salinity, initial compaction and moisture content. Reduction of moisture in the upper layer of chernozem soils increases compaction at loose compaction (0.90 g cm^{-3}) to $0.09\text{-}0.11 \text{ g cm}^{-3}$ (10-18%), average initial density (1.10 g cm^{-3}) by 14-18% and most dense (1.30 g cm^{-3}) by 5%. In the illuvial solonetz horizon (B), volume shrinkage reaches 18.5-21.1%, which is 1.6-1.8 times higher than in the suprasolonetz horizon A1, and soil swelling increases significantly. The shrinkage coefficient decreases with increasing density, clay particles and salinity – increases. At all stages of desiccation it is less than one, with higher changes in the moisture interval close to WRC (20-25%). In conditions of drought and moisture reduction (close to VZ) black earth soils compact to $1.16\text{-}1.25 \text{ g cm}^{-3}$ and more, get covered with cracks, and in case of repeated moistening restore initial density. Optimisation of agrophysical condition of chernozem soils (density, composition, thickness, phase ratio, water permeability) increases the efficiency of resource-saving tillage systems in field crop rotations and the return from complex chemical inputs on fallow wheat, relative to annual ploughing, from 37.1 to 51.7-57.1%.

Keywords: chernozems, density, shrinkage, moisture, swelling, fracturing, minimal processing.

REFERENCES

1. Buyankin N.I. Agrophysics and kinetics in minimizing the main tillage of chernozems: a monograph N.I. Buyankin, V.N. Slesarev; Russian Academy of Agricultural Sciences – Kaliningrad: Yantarny Skaz, 2004. 160 p.
2. Buyankin, N.I. Degradation and ecologisation of Siberian chernozems – monograph / N.I. Buyankin, V.N. Slesarev. RUSSIAN ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES. Kaliningrad: Amber SKAZ, 2006. 192 p.
3. Da Silva A.P., Kay B.D., Perfect E., 1997. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Till. Res.* 44: 81-93.
4. Dobrzański B. jr., Rybczyński R., 2011. Physical properties of raw materials and agricultural products. [In:] Encyclopedia of agrophysics (Gliński J., Horabik J., Lipiec J., Eds.). Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York: 581-590.
5. Kanarake A., Thaler R. On the issue of providing plants with moisture and air under different soil compaction // *Soil Science*. 1962 No. 5 – pp. 106-113.
6. Kem A.A., Yushkevich L.V. Comparative evaluation of sowing complexes in the cultivation of grain crops in Western Siberia // *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2015. №4 (20). 61-64 p.
7. Kiryushin V.I. Ecologisation of farming and technological policy. Monograph: Izd-vo MSHA, 2000. 473 p.
8. Makarov A.R. Resources of soil moisture in arid farming of Western Siberia: monograph A.R. Makarov, M.E. Cherepanov, and L.V. Yushkevich. Omsk, 1992. 146 p.
9. Scientific bases of high quality wheat grain production. Moscow: Rosinformagroteh, 2018. 396 p.
10. Revut I.B. Physics in agriculture. M., Leningrad: Fizmatgiz, 1960, 300 p.
11. Slesarev, V.N. Device for registration of vertical soil deformations / V.N. Slesarev, Yu.F. Betekhtin // *Soil Science*. 1976. №6. 134-137 p.
12. Frantseson V.A. Selected works. Black Earth Soils of the USSR. Moscow: Selkhozizdat, 1963. p. 387.
13. Khamova O.F. [et al.] Influence of agrotechnologies on the state of soil biota and productivity of barley in the forest-steppe of Western Siberia // *Zemledeliye*, 2023. №2, 18-23p.
14. Khrantsov I.F. [et al.] System of adaptive farming in the Omsk region // Omsk Agrarian Scientific Centre. Omsk. 2020. 522 p.
15. Chekusov M.S. [and others]. Improvement of the complex of machines and implements in arid farming of Western Siberia // *Zemledeliye*. 2016. №3. 13-16 p.