



Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-45-58

EDN OYQWDQ

УДК 631.47:631.51

Научная статья / Research article

Водно-физические свойства каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки

Н.Н. Дубенок¹ , А.Е. Новиков²  , А.А. Поддубский³ ,
Г.О. Чамурлиев³ , К.Б. Шумакова¹ , Р.В. Збукарев² 

¹РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

²Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, г. Волгоград, Российская Федерация

³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 ae_novikov@vniioz.ru

Аннотация. Исследовано изменение водно-физических свойств каштановых почв под влиянием разных способов их мелиоративной обработки при возделывании кукурузы (гибрид Поволжский 89 МВ) в условиях орошаемого земледелия Нижнего Поволжья. Изучены характеристики почвы: плотность, влажность, наименьшая влагоемкость, максимальная гигроскопичность, влажность завядания растений, порозность и пористость аэрации. Установлено, что после мелиоративного чизельного отвального рыхления почвы наблюдается качественное улучшение ее водно-физических свойств в сравнении с контрольным вариантом — лемешной отвальной вспашкой. Для математического описания динамики изменения плотности почвы по слоям по вариантам ее обработки предложена регрессия 2-го порядка, вычислены коэффициенты уравнения. Для поддержания заданного режима орошения по периодам наблюдений в варианте с лемешной отвальной вспашкой почвы было проведено от 7 до 9 вегетационных поливов оросительной нормой от 2250 до 2750 м³/га, в вариантах с мелиоративным чизельным безотвальным рыхлением почвы — 7...8 поливов нормой 2200...2600 м³/га, чизельным отвальным рыхлением — 6...7 поливов нормой 2100...2500 м³/га. Урожайность кукурузы в варианте с чизельным отвальным рыхлением почвы в среднем за период исследования составила 8,75 т/га, что выше контрольного варианта на 18 %.

© Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Поддубский А.А., Чамурлиев Г.О., Шумакова К.Б., Збукарев Р.В., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

при этом затраты оросительной воды на производство тонны зерна снизились почти на 20, а коэффициент водопотребления — на 17 %.

Ключевые слова: водно-физические свойства почвы, вспашка почвы, мелиоративное рыхление почвы, орошение, дождевание, кукуруза, зерно, урожайность, Нижнее Поволжье

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 30 ноября 2022 г.; принята к публикации 28 декабря 2022 г.

Для цитирования: Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Поддубский А.А., Чамурлиев Г.О., Шумакова К.Б., Збукарев Р.В. Водно-физические свойства каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 45—58. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-45-58

Water-physical properties of chestnut soils depending on different tillage practices and irrigation regimes

Nikolay N. Dubenok¹ , Andrey E. Novikov²  , Anton A. Poddubsky³ ,
Georgiy O. Chamurlijev³ , Ksenia B. Shumakova¹ , Roman V. Zbukarev² 

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

²Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russian Federation

³Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

 ae_novikov@vniioz.ru

Abstract. The aim of the research was to study water-physical properties of chestnut soils under different tillage practices when cultivating corn (Povolzhsky 89 MV hybrid) under irrigated conditions in the Lower Volga region. Therefore, the following characteristics of the soil were studied — soil density, soil moisture, field capacity, maximal hygroscopic moisture, wilting point and porosity. The results revealed that after chisel loosening, a qualitative improvement of soil water-physical properties was observed in comparison with the control variant — moldboard plowing. To describe the dynamics of changes in soil density by layers and tillage variants, a regression of the 2nd order was proposed, and coefficients of the equation were calculated. In order to maintain the specified irrigation regime during the observation periods, 7 to 9 vegetative irrigations with application rate from 2250 to 2750 m³·ha⁻¹ were carried out in the variants with moldboard plowing, 7 to 8 irrigations with application rate from 2200 to 2600 m³·ha⁻¹ in the variants with chisel loosening, and 6 to 7 irrigations with application rates from 2100 to 2500 m³·ha⁻¹ in the variants with chisel moldboard plowing. The yield of corn in the variant with chisel moldboard plowing averaged 8.75 t·ha⁻¹ during the research period, which is 18 % higher than in the control variant. Moreover, the cost of irrigation water for producing one ton of grain decreased by almost 20 %, and the coefficient of water consumption decreased by 17 %.

Keywords: water-physical properties of soil, soil plowing, soil loosening, irrigation, sprinkling, corn, grain, yield, Lower Volga region

Conflict of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 30 November 2022. Accepted: 28 December 2023.

For citation: Dubenok NN, Novikov AE, Poddubsky AA, Chamurliiev GO, Shumakova KB, Zbukarev RV. Water-physical properties of chestnut soils depending on different tillage practices and irrigation regimes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):45–58. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-45-58

Введение

В мировом земледелии посевы кукурузы занимают ведущие позиции, что обусловлено ее универсальным назначением, высокой урожайностью и энергетической ценностью, в частности корма из этой культуры подходят для кормления всех видов сельскохозяйственных животных и птиц, зерно можно использовать для производства биотоплива. В 2019 г. посевами кукурузы было занято более 191 млн га, или 10 % всех посевных площадей в мире. При этом почти 48 % приходится на Китай, США и Бразилию.

Важными факторами в получении стабильно высоких урожаев зерна кукурузы остаются оптимальный водный режим и структура почвы с макроагрегатами размером 0,25...10,0 мм [1–6].

Орошаемые почвы в состоянии увлажнения легко уплотняются при воздействии механического давления, а Na^+ , K^+ и NH_4^+ , привносимые с минеральными удобрениями, вытесняют обменный кальций из ППК (почвенно-поглощающий комплекс) и нарушают устойчивость почвенной структуры. Совокупность этих факторов приводит к образованию плужной «подошвы» на глубине 0,2–0,3 м [7–11]. Она препятствует накоплению запасов продуктивной влаги, развитию корневой системы растений, созданию оптимального воздушного, водного и пищевого режимов почвы. С увеличением плотности почвы уменьшается ее впитывающая способность и при орошении интенсифицируются ирригационно-эрозионные процессы [12–16].

Для регулирования водно-физических свойств почвы применяют мелиоративные способы обработки почвы. Это разновидности «нулевой» обработки (No-Till, Strip-Till, Mini-Till), лемешная вспашка, безотвальное рыхление, в т. ч. чизельное рыхление, комбинированные разноглубинные и многоярусные обработки [17–24].

За счет мелиоративной обработки почвы может формироваться до 25 % урожая. При этом единого мнения по выбору способа обработки почвы нет. Здесь определяющими факторами выступают влагообеспеченность осадками, температурный режим, способы управления продукционным процессом, степень и характер эрозии почвы, набор культур в севообороте, засоренность полей [25–27].

Цель исследования — оценка водно-физических свойств каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки почвы при возделывании кукурузы в условиях орошаемого земледелия Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследования

По схеме полевого опыта было проведено три варианта осенней мелиоративной обработки почвы: лемешная отвальная вспашка (вариант A_1 , контроль) на глубину 0,22...0,24 м орудием ПН-5–35, чизельное безотвальное рыхление на глубину

0,25...0,27 м (вариант A_2) и чизельное отвальное рыхление на глубину 0,36...0,38 м с внедрением отвалов на 0,16...0,18 м в 1-й год проведения обработки и на глубину 0,25...0,27 м с внедрением отвалов на ту же глубину на 2 и 3-й годы проведения обработки (вариант A_3) орудием ПЧВ-5–40М.

Почвы опытного участка по гранулометрическому составу тяжелосуглинистые. В пахотном слое 0,22...0,24 м содержание гумуса — 1,65...1,75 %. Обеспеченность доступными формами азота слабая — 35...45 мг/кг, фосфором — средняя, 75...85 мг/кг, калием — повышенная, 280...300 мг/кг, местами до 450. Реакция почвенного раствора слабощелочная, рН 6,5...7,2. Плотность сложения — 1,35...1,40 т/м³ в слое 0,22...0,24 м, плотность твердой фазы — 2,54 т/м³, порозность — 43 %, наименьшая влагоемкость — 22...24 %. Водоудерживающая способность метрового слоя — 2800 м³/га. Глубина залегания грунтовых вод — более 10 м.

Опыт закладывали систематическим методом по Б.А. Доспехову (1985), В.Н. Плешакову (1983) в четырехкратной повторности. В исследованиях использовали районированный зерновой гибрид Поволжский 89 МВ. Предполивной порог влажности почвы поддерживали поливами дождеванием машиной «Фрегат» на уровне 80 % НВ в слое 0,7 м от фазы 13 листьев до окончания цветения, а в остальной период — 70 % НВ в слое почвы 0,4 м. Фон удобрений ($N_{180}P_{95}K_{50}$ кг д.в. на гектар) и агротехника (за исключением обработки почвы) на всех вариантах были идентичны.

Образцы отбирали почвенным буром в четырехкратной повторности по десятисантиметровым слоям с поверхности до глубины один метр. Водно-физические свойства каштановых почв изучали по методикам А.Ф. Вадюниной, З.А. Корчагиной (1986).

Обеспеченность вегетационного периода осадками оценивали по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова (1937).

Нижнее Поволжье относится к зоне недостаточной влагообеспеченности. Атмосферные осадки за вегетационный период компенсируют не более 50 % суммарного водопотребления растений в засушливых районах, а в полусухих и сухих — до 30 %. В этой связи орошение выступает лимитирующим фактором в получении стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Периоды наблюдений по условиям тепло- и влагообеспеченности были близкими к среднегодовым значениям. По сумме активных температур посевы кукурузы были обеспечены теплом от 3300 до 3407 °С, а вегетационные периоды по наличию атмосферных осадков характеризовались как крайне засушливые и сухие с ГТК 0,35...0,45.

Результаты исследования и обсуждение

Для поддержания заданного режима орошения на варианте A_1 было проведено от 7 до 9 вегетационных поливов оросительной нормой от 2250 до 2750 м³/га, на вариантах с чизельным безотвальным рыхлением почвы A_2 — 7...8 поливов нормой 2200...2600 м³/га, с чизельным отвальным рыхлением почвы A_3 — 6...7 поливов нормой 2100...2500 м³/га (табл. 1).

Поливные нормы и количество поливов при разных способах мелиоративной обработки почвы (за 3 года исследований)

Обработка почвы	Водный режим почвы	Количество поливов	Поливная норма, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га
A ₁	80 % HB, h = 0,7 м 70 % HB, h = 0,4 м	2 5...7	500 250	2250...2750
A ₂	80 % HB, h = 0,7 м 70 % HB, h = 0,4 м	2 5...6	500...550 250...300	2200...2600
A ₃	80 % HB, h = 0,7 м 70 % HB, h = 0,4 м	2 4...5	500...550 200...350	2100...2500

Table 1

Water application rate and number of irrigations under different methods of soil treatment (average over 3 years)

Soil treatment	Soil water regime	Number of irrigations	Water application rate, m ³ ·ha ⁻¹	Irrigation rate, m ³ ·ha ⁻¹
A ₁	80 % FC, h = 0.7 m 70 % FC, h = 0.4 m	2 5...7	500 250	2,250...2,750
A ₂	80 % FC, h = 0.7 m 70 % FC, h = 0.4 m	2 5...6	500...550 250...300	2,200...2,600
A ₃	80 % FC, h = 0.7 m 70 % FC, h = 0.4 m	2 4...5	500...550 200...350	2,100...2,500

Исследование плотности почвы (рис. 1) показало разную динамику ее изменения по слоям в зависимости от варианта мелиоративной обработки почвы. Наименьшая плотность пахотного слоя почвы отмечена при отвальных обработках. Перед посевом кукурузы в варианте A₁ в слое 0,0–0,3 м показатель изменялся от 1,28 до 1,37 т/м³, а перед уборкой — от 1,33 до 1,41 т/м³, в вариантах A₂ и A₃ соответственно 1,26...1,35 т/м³ перед посевом и 1,31...1,41 т/м³ перед уборкой.

Полученный эффект связан с работой отвалов на почвообрабатывающих орудиях, которые крошат и разрыхляют пахотный горизонт. При этом отвалы на чизельном орудии не оборачивают пласт на всю глубину обработки, как при лемешной вспашке, а только рыхлят верхний слой и заделывают на глубину до 0,18 м стерневые и пожнивные остатки. Снижение плотности почвы ниже плужной «подошвы» в вариантах A₂ и A₃ определено глубиной ее обработки. В слое 0,2–0,3 м существенные различия по *ρ_b* между A₁ и A₃ — снижение на 0,05 т/м³ (НСР₀₅ = 0,021 т/м³), перед посевом отмечены лишь в 1-й год наблюдений. В другие периоды значимых различий не установлено, что связано со снижением глубины обработки почвы с 0,36–0,38 до 0,25–0,27 м и постепенным выравниваем *ρ_b*. В варианте A₂ плотность почвы перед посевом кукурузы существенно выше контрольного на 0,02 т/м³, а перед уборкой — на 0,04 т/м³ (НСР₀₅ = 0,011...0,016 т/м³).

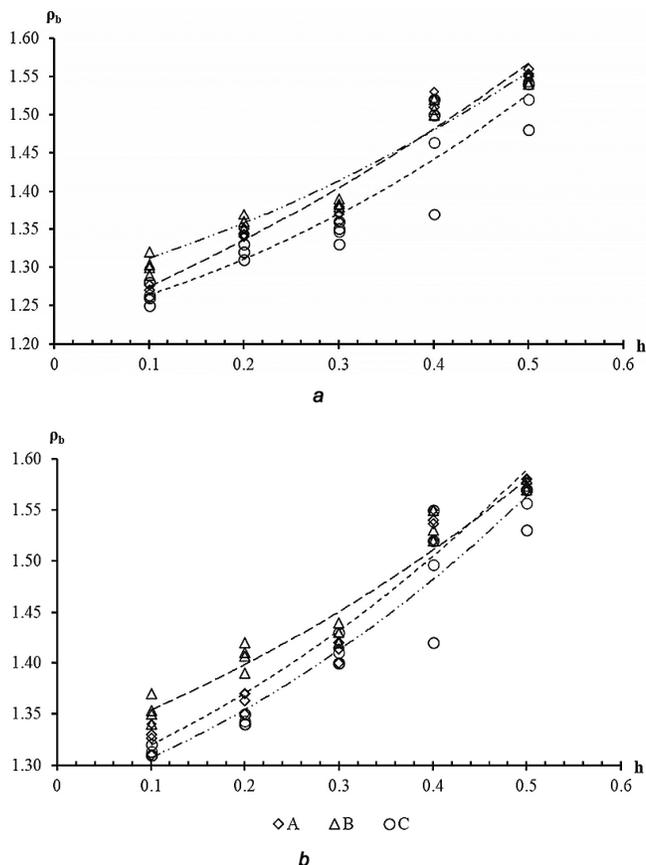


Рис. 1. Плотность сложения почвы ρ_b , т/м³, по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (б) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 1. Soil compaction density ρ_b , t·m⁻³, by layers h , m, before sowing (a) and before harvesting (b) corn under soil treatments: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Анализ экспериментальных данных показывает, что плотность сложения почвы по слоям в условиях орошения можно описать квадратичной функцией вида

$$\rho_b = ah^2 + bh + c,$$

где ρ_b — плотность почвы, т/м³; h — слой почвы, м; a , b , c — коэффициенты уравнения (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов регрессии

Обработка почвы	Период отбор проб	Коэффициенты		
		a	b	c
А ₁	До посева	0,405	0,487	1,222
	Перед уборкой	0,571	0,331	1,281
А ₂	До посева	0,500	0,310	1,276
	Перед уборкой	0,405	0,321	1,318
А ₃	До посева	0,643	0,271	1,231
	Перед уборкой	0,571	0,297	1,272

Table 2

Values of regression coefficients

Soil treatment	Sampling period	Coefficients		
		a	b	c
A ₁	Before sowing	0.405	0.487	1.222
	Before harvesting	0.571	0.331	1.281
A ₂	Before sowing	0.500	0.310	1.276
	Before harvesting	0.405	0.321	1.318
A ₃	Before sowing	0.643	0.271	1.231
	Before harvesting	0.571	0.297	1.272

Плотность сложения почвы определяет состояние других водно-физических свойств — наименьшей влагоемкости НВ, максимальной гигроскопичности МГ и влажности завядания растений ВЗ (рис. 2).

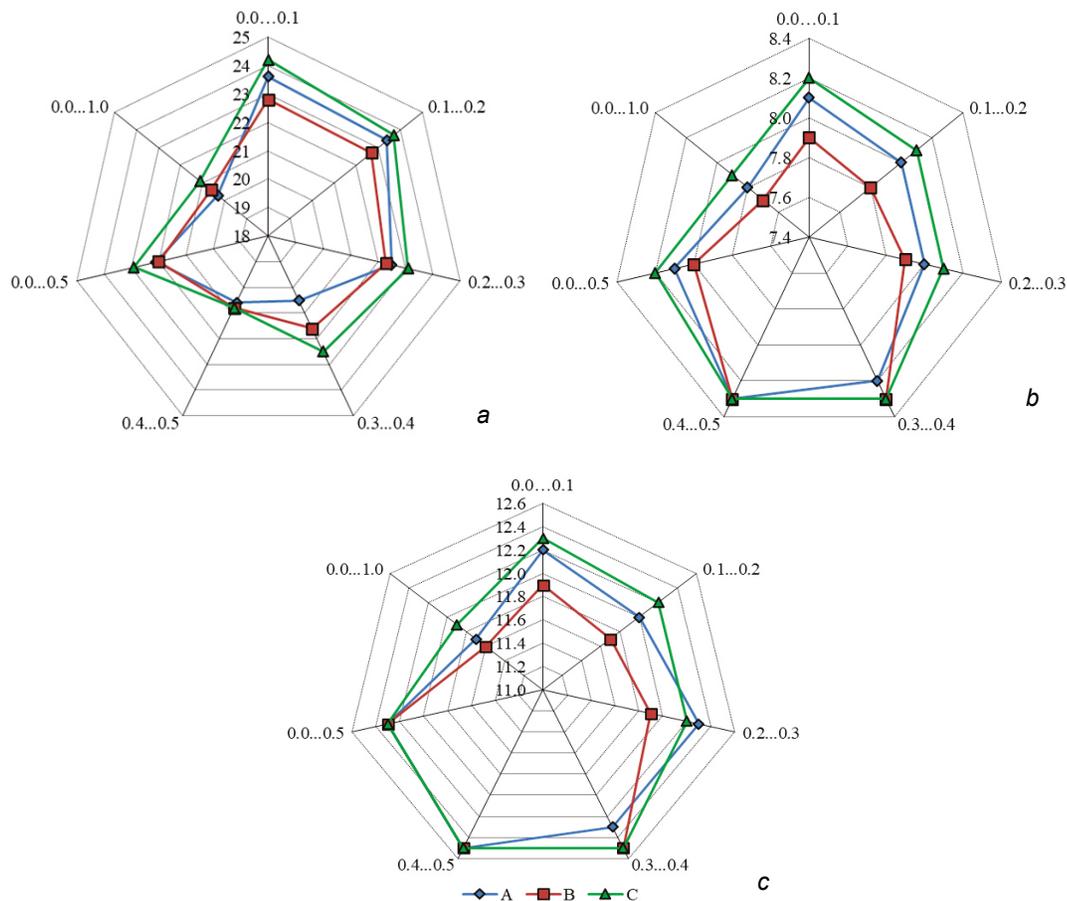


Рис. 2. Величины НВ, % (a), МГ, % (b), и ВЗ, % (c), по слоям почвы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 2. Values of FC, % (a), MHM, % (b), and WM, % (c), by soil layers under soil treatments: A – A₁, B – A₂, C – A₃

Величина МГ, характеризующая способность частиц почвы сорбировать молекулы парообразной влаги, в слое 0,0–0,1 м на контрольном варианте была существенно выше — на 0,2–0,3 % — значения показателя в варианте A_2 и настолько же ниже в варианте A_3 ($НСР_{05} = 0,13 \dots 0,19$). Значимых различий в величине МГ между вариантами с отвальными обработками почвы в слое 0,1–0,2 м не выявлено, что обусловлено соизмеримыми значениями показателей качества обработки почвы при работе отвалов: коэффициент глыбистости 70,5 (A_1) против 60,5 (A_3), коэффициент рыхления 25,5 (A_1) против 26,7 (A_3), коэффициент крошения 33,8 (A_1) против 63,4 (A_3). При этом МГ в варианте A_2 была существенно ниже — на 0,2 % ($НСР_{05} = 0,08 \dots 0,13$). Ниже плужной «подошвы» МГ по вариантам обработки почвы существенно не отличалась.

Наблюдениями за влажностью почвы (рис. 3) установлены существенные различия в значениях показателя по вариантам обработки почвы. На контроле влажность почвы в слое 0,0–0,5 м перед посевом и уборкой кукурузы составляла 14,1 и 12,9 %, что ниже на 0,3...0,6 % ($НСР_{05} = 0,08$ %), чем в варианте A_2 . В варианте A_3 влажность была выше на 2,3...2,5 % ($НСР_{05} = 0,15$ %) относительно A_1 с тенденцией снижения до 0,6...1,2 % ($НСР_{05} = 0,13 \dots 0,24$ %) на 2-й и 3-й год проведения опытов из-за уменьшения глубины рыхления почвы до 0,25...0,27 м.

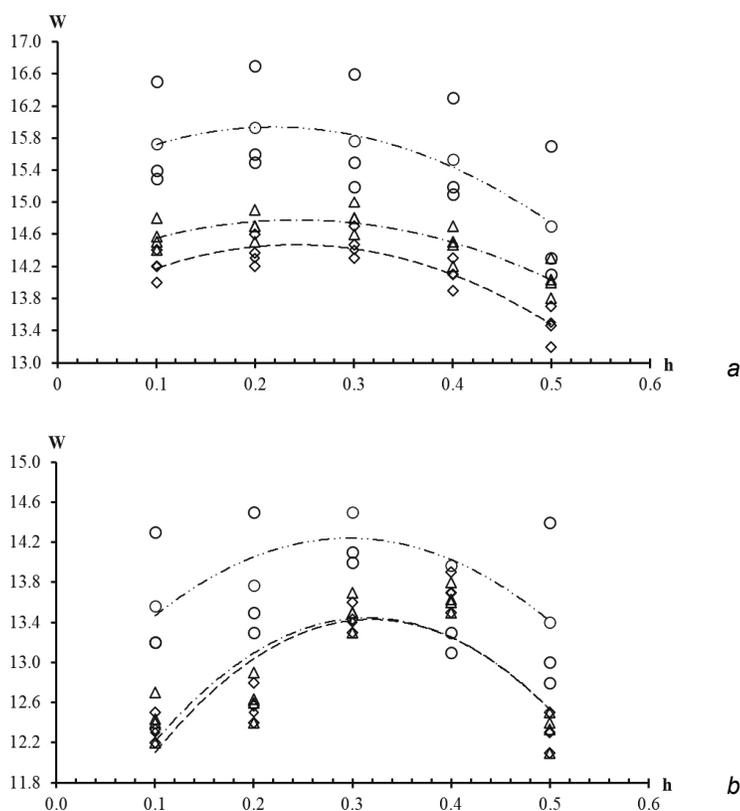


Рис. 3. Влажность почвы W , %, по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (б) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – A_1 , В – A_2 , С – A_3

Fig. 3. Soil moisture W , %, by layers h , m, before sowing (a) and harvesting (b) corn by tillage options: А – A_1 , В – A_2 , С – A_3

Большая влажность почвы в вариантах с мелиоративным чизельным рыхлением связана с разрушением плужной «подошвы», препятствующей проникновению атмосферных осадков и оросительных вод в более глубокие слои, а в случае с чизельным отвальным рыхлением — снижением эвапотранспирации поверхностью почвы и предотвращением ирригационного стока за счет формирования гребнистого дна борозды.

По экспериментальным значениям плотности и влажности почвы были рассчитаны общая порозность ε (рис. 4) и пористость аэрации ε_{air} соответствующих слоев (рис. 5).

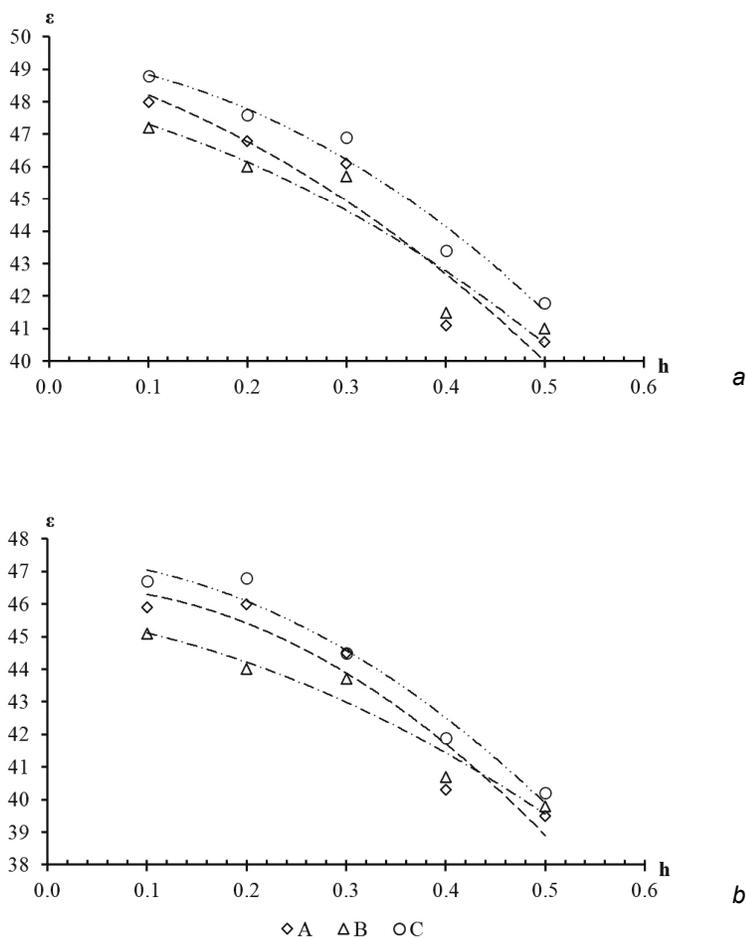


Рис. 4. Общая порозность ε , %, почвы по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (б) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 4. Total porosity ε , % of soil by layers h , m, before sowing (a) and before harvesting (b) corn under soil treatments: А – А₁, В – А₂, С – А₃

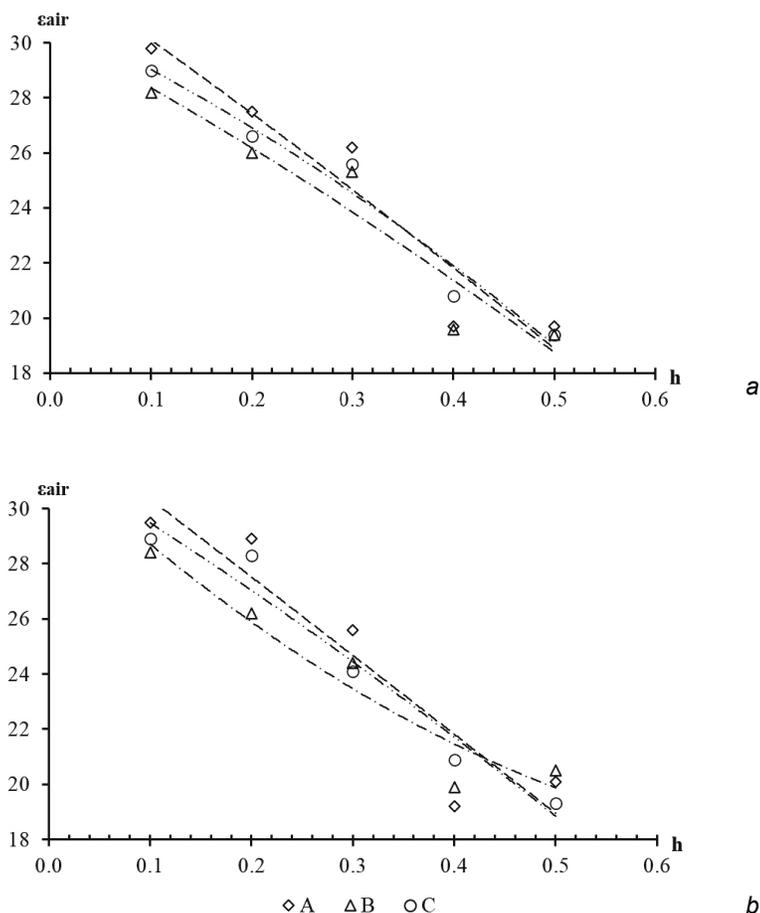


Рис. 5. Пористость аэрации ε_{air} , %, почвы по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (b) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 5. Porosity of aeration ε_{air} , %, of soil by layers h , m, before sowing (a) and before harvesting (b) corn under soil treatments: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Порозность по всем вариантам обработки почвы в пахотном слое находится в диапазоне 43...48 %, что по классификации Н.А. Качинского (1965) свидетельствует о неудовлетворительном состоянии почв, протекании ирригационно-эрозионных процессов, влияющих на ухудшение воздухообмена, развитие анаэробных процессов.

Эффективность дифференцированного режима орошения с учетом полученного урожая зерна кукурузы оценивали по затратам оросительной воды на производство тонны зерна Q и коэффициенту водопотребления K (табл. 3). В вариантах с безотвальными и отвальными чизельными мелиоративными обработками почвы при урожайности зерна 8,48 и 8,75 т/га затраты Q в среднем составили 283 и 263 м³/т. На контрольном варианте с лемешной отвальной вспашкой при урожайности зерна 7,42 т/га ($НСР_{05} = 0,15...0,32$ т/га) затраты оросительной воды были выше соответственно на 16,0 и 22,0 %. Коэффициент водопотребления кукурузы на кон-

троле в среднем составил 642,8 м³/т (100 %) против 551,7 м³/т (87 %) в варианте А₂ и 524,6 м³/т (83 %) в варианте А₃.

Таблица 3

Элементы режима орошения кукурузы при разных способах мелиоративной обработки почвы с оценкой его эффективности (в среднем за 3 года исследований)

Обработка почвы	Оросительная норма, м ³ /га	Суммарное потребление воды, м ³ /га	Урожайность		Q, м ³ /т	K, м ³ /т
			т/га	% к контролю		
А ₁	2500	4770	7,42	100,0	337	642,8
А ₂	2400	4670	8,48	114,3	283	551,7
А ₃	2300	4590	8,75	118,0	263	524,6

Table 3

Elements of corn irrigation regime under different methods of soil treatment and assessment of the effectiveness (average over 3 years)

Soil treatment	Irrigation rate, м ³ ·ha ⁻¹	Total water consumption, м ³ ·ha ⁻¹	Yield		Q, м ³ /t	K, м ³ /t
			t·ha ⁻¹	% to the control		
A ₁	2,500	4,770	7.42	100.0	337	642.8
A ₂	2,400	4,670	8.48	114.3	283	551.7
A ₃	2,300	4,590	8.75	118.0	263	524.6

Заключение

Установлено, что дифференцированное по глубине чизельное отвальное рыхление почвы способствует улучшению основных водно-физических свойств и снижению вероятности развития ирригационно-эрозионных процессов в системе орошаемого земледелия, повышению эффективности использования растениями оросительной воды и атмосферных осадков. Разрыхление почвы ниже плужной «подшвы» при достаточном естественном или искусственном увлажнении интенсифицирует ростовые процессы как надземной, так и подземной части растений кукурузы, обеспечивающие получение качественных урожаев зерна в заданном количестве.

Библиографический список / References

1. Nath AJ, Lal R. Effects of Tillage Practices and Land Use Management on Soil Aggregates and Soil Organic Carbon in the North Appalachian Region, USA. *Pedosphere*. 2017;27(1):172–176. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60301-1
2. Kuznetsov PI, Novikov AE. Effect of soil conditioners on water permeability and water-holding capacity of light chestnut soils. *Russian Agricultural Sciences*. 2010;36(4):279–281. doi: 10.3103/S1068367410040154
3. Blanco-Canqui H, Wienhold BJ, Jin VL, Schmer MR, Kibet LC. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil & Tillage Research*. 2017;170:38–42. doi: 10.1016/j.still.2017.03.001

4. Al-Kaisi MM, Douelle A, Kwaw-Mensah D. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influenced by different tillage systems. *Journal of Soil and Water conservation*. 2014;69(6):574–580. doi: <https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.574>
5. Pareja-Sanchez E, Plaza-Bonilla D, Ramos MC, Lampurlanes J, Alvaro-Fuentes J, Cantero-Martinez C. Long-term no-till as a means to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation. *Soil & Tillage Research*. 2017;174:221–230. doi: [10.1016/j.still.2017.07.012](https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.012)
6. Kuznetsov PI, Novikov AE. Hydraulic properties dynamic of light-chestnut soil under drip irrigation. *Melioration and Water Management*. 2009;(2):37–39. (In Russ.).
Кузнецов П.И., Новиков А.Е. Влияние способа обработки на водно-физические свойства орошаемых светло-каштановых почв // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 2. С. 37–39.
7. Kuznetsov PI, Novikov AE. Energy and resource conservation in the grain corn cultivation on irrigated lands. *Russian Agricultural Sciences*. 2013;39(5–6):474–478. doi: [10.3103/S1068367413060128](https://doi.org/10.3103/S1068367413060128)
8. Volk LBD, Cogo NP. Water erosion at three moments in the corn crop, affected by soil tillage and crop sowing methods. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2014;38(2):565–574. doi: [10.1590/S0100-06832014000200021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200021)
9. Borodychev VV, Shevchenko VA, Novikov AE, Lamskova MI, Filimonov MI. Modeling and energy assessment of traction-exploitation indicators of serial chisel implement and plows. *Plodородие*. 2017;(6):31–33. (In Russ.).
Бородычев В.В., Шевченко В.А., Новиков А.Е., Ламскова М.И., Филимонов М.И. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжелосуглинистых орошаемых почвах // Плодородие. 2017. № 6. С. 31–33.
10. Kusic I, Bogunovic I, Birkas M, Jurisic A, Spalevic V. The role of tillage and crops on a soil loss of an arable Stagnic Luvisol. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2017;63(3):403–413. doi: [10.1080/03650340.2016.1213815](https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1213815)
11. Das A, Lyngdoh D, Ghosh PK, Lal R, Layek J, Idapuganti RG. Tillage and cropping sequence effect on physico-chemical and biological properties of soil in Eastern Himalayas, India. *Soil & Tillage Research*. 2018;180:182–193. doi: [10.1016/j.still.2018.03.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.005)
12. Ovchinnikov AS, Mezheva AS, Fomin SD, Pleskachev YN, Borisenko IB, Zvolinsky VP, et al. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017;12(24):7150–7160.
13. Pyndak VI, Novikov AE. Energy Efficiency of mechanisms and instruments for deep cultivation of soil. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2014;43(6):555–559. doi: [10.3103/S1052618814050148](https://doi.org/10.3103/S1052618814050148)
14. Bogunovic I, Pereira P, Kusic I, Sajko K, Sraka M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Catena*. 2018;160:376–384. doi: [10.1016/j.catena.2017.10.009](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.009)
15. Li Z, Yang X, Cui S, Yang Q, Yang X, Li J, Shen Y. Developing sustainable cropping systems by integrating crop rotation with conservation tillage practices on the Loess Plateau, a long-term imperative. *Field Crops Research*. 2018;222:164–179. doi: [10.1016/j.fcr.2018.03.027](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.027)
16. Li N, Zhou C, Sun X, Jing J, Tian X, Wang L. Effect of ridge tillage and mulching on water availability, grain yield, and water use efficiency in rain-fed winter wheat under different rainfall and nitrogen conditions. *Soil & Tillage Research*. 2018;179:86–95. doi: [10.1016/j.still.2018.01.003](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.003)
17. Girardello VC, Amado TJC, Santi AL, Cherubin MR, Kunz J, Teixeira TDG. Soil penetration resistance, efficiency of mechanical chisel plowing and soybean grain yield in a clayey Oxisol under long-term no-till. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2014;38(4):1234–1244. doi: [10.1590/S0100-06832014000400020](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020)
18. Fernandez FG, Sorensen BA, Villamil MB. A comparison of soil properties after five years of no-till and strip-till. *Agronomy Journal*. 2015;107(4):1339–1346. doi: [10.2134/agronj14.0549](https://doi.org/10.2134/agronj14.0549)
19. Lozano LA, Soracco CG, Villarreal R, Ressa JM, Sarli GO, Filgueira RR. Soil physical quality and soybean yield as affected by chiseling and subsoiling of a no-till soil. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2016;40: e0150160. doi: [10.1590/18069657rbc20150160](https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150160)
20. Daigh AL, Dick WA, Helmers MJ, Lal R, Lauer JG, Nafziger E, Pederson CH, Strock J, Villamil M, Mukherjee A, Cruseet R. Yields and yield stability of no-till and chisel-plow fields in the Midwestern US Corn Belt. *Field Crops Research*. 2018;218:243–253. doi: [10.1016/j.fcr.2017.04.002](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.002)
21. Borodychev VV, Dubenok NN, Novikov AE, Konovalova GV. Agrotechnics of corn for grain on irrigated lands of the Lower Volga region. *Plodородие*. 2016;(1):35–37. (In Russ.).
Бородычев В.В., Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Коновалова Г.В. Особенности агротехники зерновой кукурузы на орошаемых землях Нижнего Поволжья // Плодородие. 2016. № 1. С. 35–37.

22. Dubenok NN, Borodychev VV, Novikov AE, Konovalova GV. Yield capacity of corn for grain at the irrigated light-chestnut soils. *Scientific life*. 2016;(7):16–27. (In Russ.).

Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Новиков А.Е., Коновалова Г.В. Продуктивность кукурузы на зерно на орошаемых светло-каштановых почвах // Научная жизнь. 2016. № 7. С. 16–27.

23. Isayenko VA, Gorbunov MY. Water physical properties of the soil and their change at various technologies of processing of the soil in the crop rotation. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2012;(4):16–19. (In Russ.).

Исаенко В.А., Горбунов М.Ю. Водно-физические свойства почвы и их изменение при различных технологиях обработки почвы в севообороте // Вестник Курганской ГСХА. 2012. № 4. С. 16–19.

24. Gaevaya EA. Influence of different soil cultivation on its physical properties. *Scientific Journal of KubSAU*. 2008;(39):154–162. (In Russ.).

Гаевая Э.А. Влияние различных способов обработки почвы на ее физические свойства // Научный журнал КубГАУ. 2008. № 39(5). С. 154–162.

25. Al-Kaisi MM, Archontoulis SV, Kwaw-Mensah D, Miguez F. Tillage and crop rotation effects on corn agronomic response and economic return at seven Iowa locations. *Agronomy Journal*. 2015;107(4):1411–1424. doi: 10.2134/agnonj14.0470

26. Kuznetsov PI, Novikov AE, Melnikov AG. Innovative technologies of maize growing at irrigated lands. *Zemledelie*. 2011;(2):13–14. (In Russ.).

Кузнецов П.И., Новиков А.Е., Мельников А.Г. Инновационные технологии возделывания кукурузы на орошаемых землях // Земледелие. 2011. № 2. С. 13–14.

27. Pyndak VI, Novikov AE. Improvement of corn cultivation technology in irrigation conditions. *Agro XXI*. 2009; (7–9):50–51. (In Russ.).

Пындак В.И., Новиков А.Е. Совершенствование технологии возделывания кукурузы в условиях орошения // Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 50–51.

Об авторах:

Дубенок Николай Николаевич — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: ndubenok@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0002-9059-9023

Новиков Андрей Евгеньевич — доктор технических наук, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: ae_novikov@vniioz.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786

Поддубский Антон Александрович — кандидат технических наук, директор агроинженерного департамента Агротехнологического института РУДН, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924

Чамурлиев Георгий Омариевич — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агроинженерного департамента Агротехнологического института РУДН, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: chamurliiev-go@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-6410-8438

Шумакова Ксения Борисовна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: kshumakova@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0003-3002-5420

Збукарев Роман Валентинович — лаборант-исследователь, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X

About authors:

Dubenok Nikolay Nikolaevich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of RAS, Head of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: ndubenok@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0002-9059-9023

Novikov Andrey Evgenievich — Doctor of Technical Sciences, Director, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9, Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation, e-mail: ae_novikov@vniioz.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786

Poddubsky Anton Alexandrovich — Candidate of Technical Sciences, Director, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924

Chamurliev Georgiy Omerievich — Candidate of Agricultural Sciences, associate Professor, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: chamurliev-go@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-6410-8438

Shumakova Ksenia Borisovna — Candidate of Agricultural Sciences, associate Professor, Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: kshumakova@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0003-3002-5420

Zbukarev Roman Valentinovich — Laboratory researcher, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9, Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation, e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X