

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.3:631.67

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-4-160-176

Обоснование и конструирование мелиоративных орудий для прецизионного орошаемого земледелия

Сергей Яковлевич Семененко

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Волгоград, Российская Федерация, sergeysemenenko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>

Аннотация. Цель: разработка приемов увеличения скорости впитывания поливной воды с использованием новых конструкций комбинированных орудий для обработки и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель с функцией «точного» внутрипочвенного внесения мелиорантов. **Материалы и методы.** Использовались практико-ориентированные положения мелиоративной науки, в том числе полевые опыты. Методологической основой исследований являлись интуитивно-ассоциативные методы теоретического и технического конструирования, основанные на феномене «позитивной эвристики». **Результаты и обсуждение.** Предложены инновационные конструкции почвообрабатывающих мелиоративных орудий для одновременной обработки почвы и внутрипочвенного внесения мелиорантов, позволяющих к концу оросительного периода относительно классической зяблевой вспашки снизить плотность почвы в слое 0–0,30 м на 11,7 %, обеспечить высокое содержание агрономически ценных агрегатов после обработки на уровне 55,4 % и увеличить скорость впитывания оросительной воды на 23,0–23,3 %, что приводит к сохранности элементов питания в пахотном слое почвы, обусловленную отсутствием их контакта с поверхностным жидким стоком. **Выводы.** Обеспечение индикаторов прецизионного орошаемого земледелия невозможно достичь без использования инновационных почвообрабатывающих орудий, обеспечивающих совмещение технологических операций. В условиях переуплотненных, длительно орошаемых светло-каштановых почв Нижнего Поволжья достичь заданных индикаторов можно, в том числе за счет увеличения скорости впитывания поливной воды и глубокой внутрипочвенной заделки органических и минеральных удобрений.

Ключевые слова: орошаемые земли, плотность почвы, конструирование теоретическое и техническое, мелиоративное орудие, внутрипочвенное внесение, точное земледелие, мелиорант

Источник финансирования: субсидии на выполнение Государственного задания по теме: FNFR-2025-0004 за счет средств федерального бюджета.

Для цитирования: Семененко С. Я. Обоснование и конструирование мелиоративных орудий для прецизионного орошаемого земледелия // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 4. С. 160–176. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-4-160-176>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Justification and design of land reclamation tools for precision irrigated agriculture



Sergey Ya. Semenenko

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, sergeysemenenko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>

Abstract. Purpose: to develop techniques for increasing the irrigation water absorption rate using new designs of combined implements for tillage and increasing reclamation status of irrigated lands with the function of “precise” subsoil application of ameliorants. **Materials and methods.** Practice-oriented principles of reclamation science, including field experiments, were used. The methodological basis of the research were intuitive-associative methods of theoretical and technical design, based on the “positive heuristics” phenomenon. **Results and discussion.** Innovative designs of soil tilling and reclamation implements for the simultaneous soil tillage and subsurface application of ameliorants are proposed. These implements allow for the soil density reduction in the 0–0.30 m layer by 11.7 % by the end of the irrigation period, compared to conventional autumn plowing, ensuring a high content of agronomically valuable aggregates after tillage at a level of 55.4 %, and increasing the irrigation water absorption rate by 23.0–23.3 %, which leads to the nutrient preservation in the arable soil layer due to the absence of their contact with surface liquid runoff. **Conclusions.** Providing indicators of precision irrigated agriculture cannot be achieved without the use of innovative tilling implements that enable the combination of technological operations. Under the compacted, long-irrigated light chestnut soils of the Lower Volga region, the target indicators can be achieved, including increasing the irrigation water absorption rate and deep subsurface incorporation of organic and mineral fertilizers.

Keywords: irrigated lands, soil density, theoretical and technical design, reclamation tool, subsurface application, precision farming, ameliorant

Funding source: subsidies for the implementation of the State Assignment No. FNFR-2025-0004 at the expense of the federal budget.

For citation: Semenenko S. Ya. Justification and design of land reclamation tools for precision irrigated agriculture. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(4): 160–176. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-4-160-176>.

Введение. Почвы Нижней Волги, в связи с их расположением в сухой степной и полупустынной зоне, представлены различными типами, а преобладающим является каштановый. Плодородие и мощность гумусового горизонта данного типа почв значительно уменьшается от темно-каштановой до светло-каштановой подзоны. При этом агроландшафты аридной зоны обеспечивают значительную часть потребности населения России в сельскохозяйственной продукции [1].

Наибольшую экономическую эффективность аридные территории показывают при использовании гидротехнических мелиораций, а точнее орошаемого земледелия, при котором урожайность повышается в 3,5–4 раза [2, 3].

Установлено, что все энерго- и массообменные процессы в почве осуществляются под действием разнообразных микро- и макросил в виде градиента давления, потенциала гравитационного поля, потенциала электрического поля, температуры, влажности почвы, концентрации растворенных веществ. В результате полевых измерений определено, что содержание влаги в почве является параметром, сильно меняющимся во времени и пространстве, в особенности это касается поверхности почвы [4].

S. I. Seneviratne и др. также утверждают, что наиболее важными параметрами, влияющими на пространственную изменчивость влажности почвы, являются топография, особенности почвы, тип и густота растительности, глубина залегания грунтовых вод, количество осадков, солнечная радиация и другие метеорологические факторы [5].

Исследователями [6, 7] установлено влияние водно-физических свойств почвы, микро- и макрорельефа орошаемых земель, энергетических показателей дождевых капель естественного и искусственного дождя на динамику формирования капельной и струйчатой эрозии и возможность ее нивелирования агротехническими приемами в процессе основной и дополнительной обработки почвы в связи с незначительными их геометрическими размерами.

Результаты полевых опытов указывают, что, когда частицы почвы размером от 0,001 до 1,0 мм и более (в зависимости от интенсивности дождя и крупности капель) выносятся за границы поля, происходит снижение потенциального плодородия, а продуктивность сельскохозяйственных культур падает до 50 % [8].

Это связано с тем, что в качественном составе выносимого мелкозема содержится достаточно большое, до 15–20 %, количество не растворенных и не использованных растениями питательных элементов минеральных удобрений, особенно фосфорных, формирующих урожайность [9].

Исследование воздействия антропогенных нагрузок на почву, как

в России, так и за рубежом, показало, что основное влияние при функционировании машинно-тракторных агрегатов оказывается на структуру верхнего плодородного слоя и плотность почвы, которые, в свою очередь, определяют водопроницаемость и, следовательно, интенсивность поверхностного стока [10–13].

Вносит свою отрицательную лепту в разрушение почвенных частиц и длительное, более 50 лет, орошение дождеванием светло-каштановых почв, результатом которого является вторичная солончатость и наличие светлых скоплений песчаных и пылеватых зерен минералов в пахотном слое [14].

Совокупность вышеизложенных фактов, основанных на результатах полевых опытов, указывает на необходимость совершенствования технологии в сторону уменьшения антропогенной нагрузки на орошаемые земли следующих блоков: топографического, водного, почвенного, технического. В меньшей степени подвержен регулированию топографический блок, который в основном представлен приемом эксплуатационной планировки. В водном блоке осуществляется регулирование водной нагрузки, интенсивности подачи поливной воды и энергетических характеристик искусственного дождя, минимализация показателей которых может обеспечить сохранность почвенного плодородия, но при этом повысить затраты на возделывание орошаемых культур. В почвенном блоке, с точки зрения сохранности органического вещества, наиболее значимым показателем является плотность, провоцирующая образование поверхностного стока [15]. Технический блок, представляемый почвообрабатывающими орудиями и противоэрозионными приемами, в орошаемом земледелии обеспечивает технологическую надежность подготовки поверхности поля. Одной из задач повышения урожайности орошаемых культур является более глубокая заделка сыпучих минеральных и жидких органических удобрений в почву, обеспечивающая отсутствие их контакта с ирригационным стоком, про-

лонгацию периода растворения и усвоения растениями, что увеличивает коэффициент использования удобрений и, в некоторой степени, депонирует диоксид углерода в нижней части активного слоя почвы. Эти приемы, обеспечивающие уменьшение расхода оросительной воды на 10–15 % и минеральных удобрений на 20 %, соотносятся с концепцией прецизионного земледелия.

Некоторые исследователи указывают, что основной целью реализации прецизионного земледелия в условиях орошения является повышение эффективности использования водных, энергетических и других видов ресурсов, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур за счет поддержания равномерной влажности почвы по каждому сегменту орошаемого поля [16].

Материалы и методы. Исходя из целей статьи – разработка приемов увеличения скорости впитывания поливной воды путем создания конструкций комбинированных орудий для минимизации основной обработки и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель – ее лейтмотив заключается в техническом конструировании, т. е. создании изделий определенного назначения с заданными параметрами. Их первоосновой является теоретическое конструирование, которое, в свою очередь, является деятельностью методологического характера.

В исследовании использовались практико-ориентированные положения мелиоративной науки, при этом методологической основой являлись интуитивно-ассоциативные методы теоретического и технического конструирования, основанные на феномене «позитивной эвристики». Также применялись общепринятые методики полевых исследований водно-физических свойств почвы.

Результаты и обсуждение. Ведение орошаемого земледелия на землях с повышенной плотностью накладывает специфические требования к основной обработке почвы. Воздействие механизмами и орудиями на поч-

ву должно создавать оптимальные условия для роста и развития растений, обеспечивая увеличение объема и скорости впитывания поливной воды, улучшение аэрации, облегчение прорастание семян и др. Выбор технологии обработки орошаемых полей, в отличие от богарных, необходимо увязывать с топографическими условиями, способом и техникой полива, выращиваемой культурой, противоэрозионной устойчивостью почвы.

Современные технологии минимальной (Strip-till) и нулевой (No-till) обработки для орошаемых земель не вполне применимы, т. к. не обеспечивают рыхления, что способствует образованию ирригационной эрозии. В большей степени соответствуют требованиям сохранности плодородия отвальная и безотвальная система разделки пласта на полях с высокой опасностью водной эрозии и дефляции.

Результаты исследований Всероссийского НИИ орошаемого земледелия на полях с высокой плотностью и эрозионными уклонами показали увеличение скорости впитывания поливной воды на 15–20 % при использовании глубокой чизельной обработки относительно классической отвальной [17] и уменьшение плотности сложения на 0,1–0,12 т/м³ [18], что приводит к экономии оросительной воды на более чем 600 м³/га и увеличению урожайности на 26 %.

Для уменьшения антропогенной нагрузки разработано комбинированное мелиоративное орудие для внутрипочвенного внесения удобрений при обработке почвы¹. Комбинация заключалась в сочетании плоскорезной обработки почвы и внесения минеральных удобрений в слой почвы, находящейся на границе раздела «педосфера – грунт», т. е. выполнение двух операций за один проход орудия.

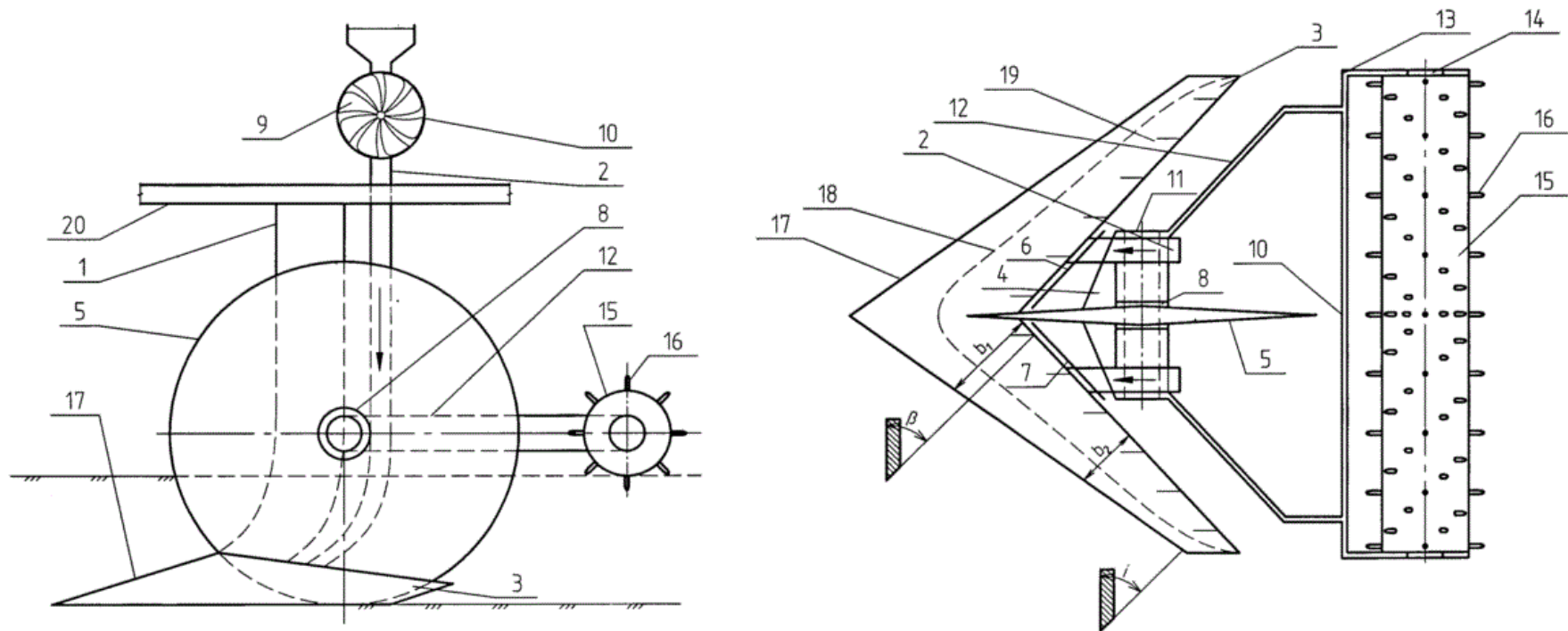
¹Пат. 2766201 Российская Федерация, МПК⁶ A01B 49/06. Комбинированное мелиоративное орудие для внутрипочвенного внесения удобрений при обработке почвы / Семененко С. Я., Овчинников А. С., Дубенок Н. Н., Бородычев В. В., Марченко С. С., Чушкина Е. И., Кулагина О. А., Агеенко О. М.; патентообладатель Волгогр. ГАУ. № 2020139578; заявл. 01.12.20; опубл. 09.02.22, Бюл. № 4.

На рисунке 1 показан рабочий орган комбинированного мелиоративного орудия для внутрипочвенного внесения удобрений при плоскорезной обработке почвы.

Плоскорезная обработка поля и внесение гранулированных удобрений осуществляются при движении орудия по полю. При этом лезвийная часть стрелчатой рыхлительной лапы подрезает пласт в горизонтальной плоскости и выполняет его частичное рыхление благодаря углу крошения β . Дисковый нож разрезает пласт в вертикальной плоскости, что значительно снижает тяговое сопротивление на обработку. По тукораспределительным трубопроводам от напорного вентилятора под лапу, в полость между нижней плоскостью лапы и плужной подошвой, подаются туки минеральных удобрений, которые равномерно распределяются по ширине лапы и направляются лопастями под разрыхленный слой почвы. Барабанный планировщик 15, вращаясь на подшипниках 14, зубьями 16 рыхлит верхний слой почвы, сдвигает его к стойке 1, засыпает развальную щель, образованную стойкой 1 и планирует поверхность обработанного слоя почвы.

В настоящее время сельхозпроизводители на орошаемых землях в целях экономии средств, а также отсутствия специализированных орудий (длиннобазовых планировщиков) не проводят эксплуатационную планировку полей, что отрицательно сказывается на показателях их мелиоративного состояния.

Применение разработанного мелиоративного орудия, имеющего барабанный планировщик с зубьями (зубья увеличивают площадь контакта почвы и воды), обеспечивает лучшие условия впитывания оросительной воды и атмосферных осадков без образования поверхностного стока, снижает дефляционную опасность и создает оптимальные условия для посева, роста растений и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.



вид сбоку / side view

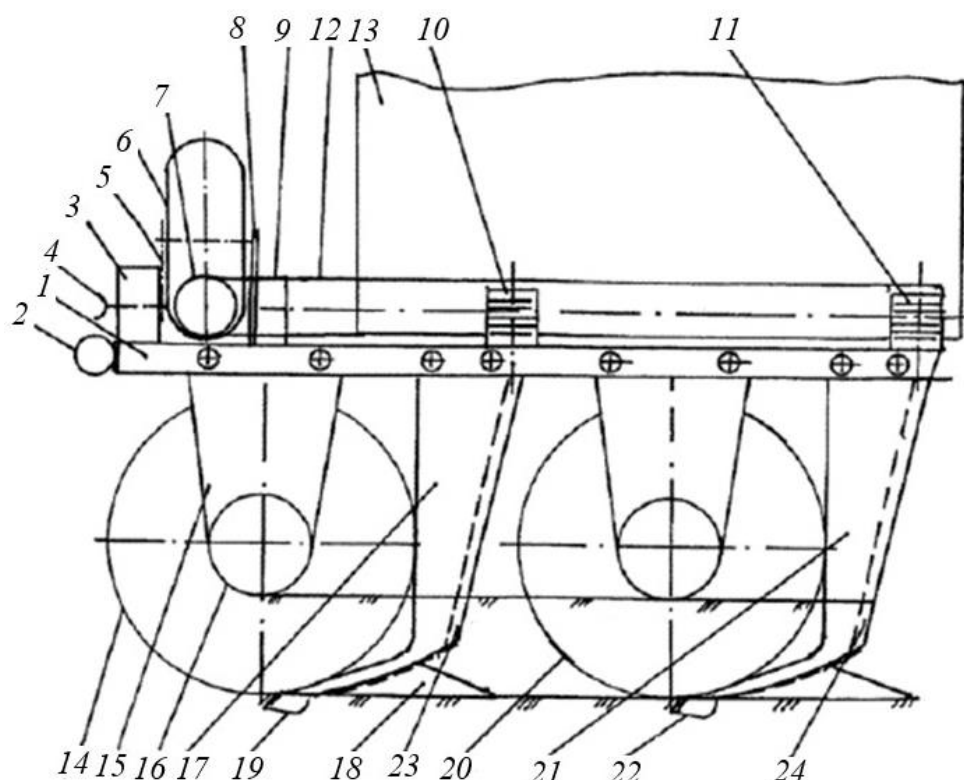
вид сверху / top view

- 1 – стойка; 2 – тукопроводы; 3 – лемех; 4 – ось дискового ножа; 5 – дисковый нож; 6, 7 – боковины стойки; 8 – подшипники скольжения; 9 – напорная полость; 10 – вентилятор; 11 – крепление поводков; 12 – поводки; 13 – рама планировщика; 14 – подшипники рамы; 15 – барабанный планировщик; 16 – зубья планировщика; 17 – рыхлительная лапа; 18 – тукораспределительный трубопровод; 19 – направляющие лопасти; 20 – несущая рама
- 1 – stand; 2 – fertilizer pipes; 3 – share; 4 – disk cutter axis; 5 – disk cutter; 6, 7 – stand sides; 8 – plain bearings; 9 – discharge chamber; 10 – fan; 11 – driver fastening; 12 – drivers; 13 – leveler frame; 14 – frame bearings; 15 – drum leveler; 16 – leveler teeth; 17 – cultivator teeth; 18 – fertilizer distribution pipe; 19 – guide blades; 20 – supporting frame

Рисунок 1 – Рабочий орган комбинированного мелиоративного орудия

Figure 1 – Combined reclamation tool working body

Для расширения условий применимости разработан плоскорез-глубококорыхлитель с функцией внутрипочвенного внесения гранулированных удобрений и возможностью переоборудования для внесения животноводческих стоков повышенной вязкости (рисунок 2).



- 1 – рама; 2 – навесное устройство; 3 – редуктор; 4 – карданная передача;
5 – клиноременная передача; 6 – высоконапорный вентилятор; 7 – напорный патрубок;
8 – цепная передача; 9 – редуктор; 10, 11 – туковысевающие аппараты; 12 – напорный воздуховод; 13 – бункер; 14 – дисковые ножи первого ряда; 15 – стойка; 16 – реборды;
17 – клинообразная стойка; 18 – плоскорезущая лапа; 19 – зуб-рыхлитель;
20 – дисковые ножи второго ряда; 21 – стойка; 22 – зубья-рыхлители; 23, 24 – тукопроводы
1 – frame; 2 – hitch linkage; 3 – gearbox; 4 – cardan drive; 5 – V-belt drive; 6 – high-pressure fan; 7 – discharge pipe; 8 – chain drive; 9 – gearbox; 10, 11 – fertilizer seeding units;
12 – compressed-air feed pipe; 13 – hopper; 14 – first-row disc cutters; 15 – stand;
16 – flanges; 17 – wedge-shaped stand; 18 – flat hoe; 19 – ripper tooth;
20 – second-row disc cutters; 21 – stand; 22 – ripper teeth; 23, 24 – fertilizer lines

**Рисунок 2 – Мелиоративный
плоскорез-глубококорыхлитель-удобритель**

Figure 2 – Reclamation subsurface plow-fertilizer spreader

Орудие работает от вала отбора мощности агрегирующего трактора. Перед обработкой почвы бункер заполняется гранулированными минеральными удобрениями. Учитывая, что светло-каштановые орошаемые

почвы обладают высокой плотностью сложения, что препятствует впитыванию оросительной воды, рекомендуется для ускорения впитывания поливной воды, пролонгирования более высокой влажности почвы в корнеобитаемой зоне, улучшения условий растворимости и использования растениями удобрений, применять комбинацию удобрений и водоудерживающих сорбентов, например «Аваксин», «Аквасорб» и др.

При движении орудия дисковые ножи разрезают пласт почвы в вертикальной плоскости на глубину обработки, которая задается ребордами. Стрельчатые плоскорезные лапы подрезают пласт в горизонтальной плоскости и производят его частичное крошение. Зуб-рыхлитель разрушает плужную подошву, образованную в результате резания стрельчатой лапой, под которую по тукопроводам подается смесь удобрений и водоудерживающих сорбентов. Благодаря воздушному напору, созданному вентилятором, смесь равномерно распределяется в разрушенном пахотном слое. При контакте с почвенной влагой, а в дальнейшем с поливной водой, сорбент впитывает удобрительный раствор, образуя слой (зону) с повышенным содержанием влаги и питательных элементов.

При орошении, инициирующем увеличение плотности почвы, основополагающим является способ ее обработки и минимизация числа проходов механизмов. Сравнительное исследование влияния отвальной вспашки и плоскорезной обработки на плотность сложения активного (0,0–0,30 м) слоя почвы показало, что эффект рыхления значительно снижается к концу оросительного сезона независимо от способа (таблица 1). Повышение плотности составило: на зяблевой вспашке 7,7 %, на плоскорезной – 6,8 %, при этом эффективность последней выше на 11,7 %.

На указанных способах тенденция изменения содержания агрономически ценных агрегатов сохранилась и составила соответственно 51,9 и 55,4 %.

Снижение плотности сложения почвы и повышение глыбистости внутрипочвенного пространства с образованием воздушных полостей, а

также формирование стойками орудий щелей способствовали увеличению скорости впитывания поливной воды на плоскорезной обработке к концу оросительного периода в сравнении с зяблевой вспашкой (рисунок 3).

Таблица 1 – Динамика влияния типа основной обработки на послойную плотность активного слоя почвы при выращивании кукурузы на зерно

Table 1 – Dynamics of the influence of the type of primary tillage on the layer-by-layer density of the active soil layer when growing corn for grain

Способ основной обработки почвы	Слой почвы, м				
	0,0–0,10	0,10–0,20	0,20–0,30	0,30–0,40	0,40–0,50
Исходное состояние	1,24	1,32	1,37	1,44	1,44
Отвальная вспашка, 0,25–0,27 м	1,22/1,29	1,35/1,57	1,37/1,40	1,44/1,48	1,48/1,51
Плоскорезная обработка, 0,35–0,40 м	1,20/1,26	1,27/1,38	1,21/1,32	1,29/1,33	1,30/1,36

Примечание – числитель – перед посевом, знаменатель – после уборки.

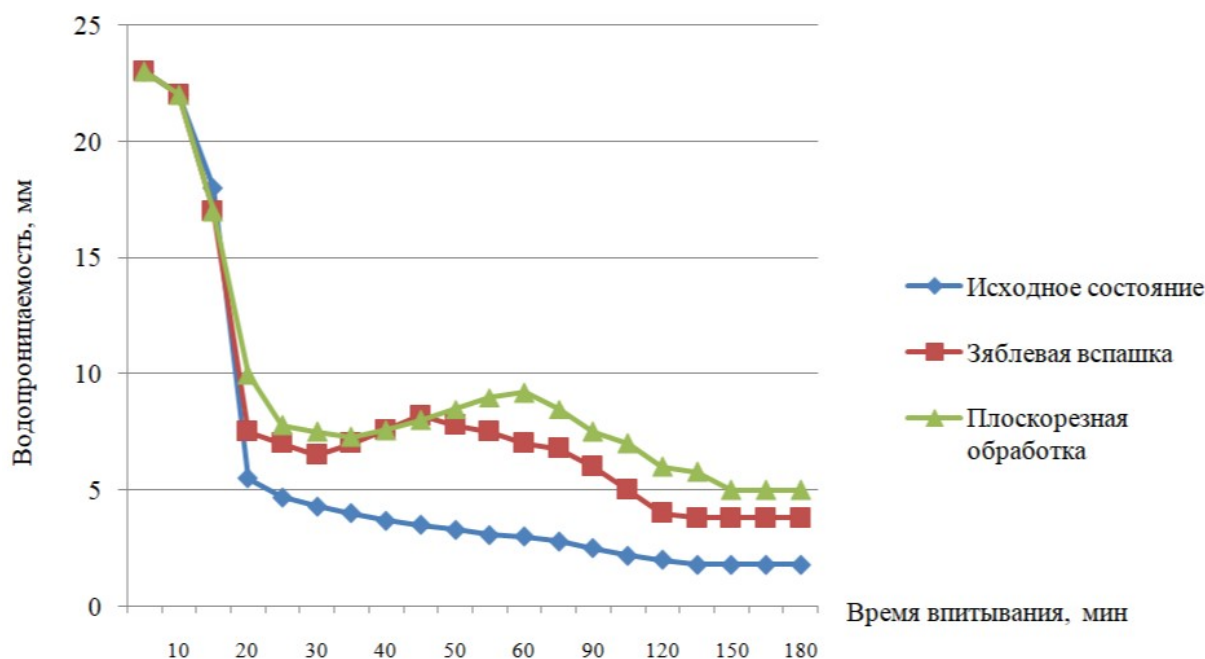


Рисунок 3 – Влияние типа обработки на водопроницаемость почвы после уборки

Figure 3 – Effect of tillage method on soil permeability after harvesting

Водопроницаемость почвы после уборки кукурузы была на 23,3 % выше, чем на отвальной, а в процессе фильтрации выше на 30,0 %.

Развитие промышленного животноводства породило проблему экологического характера: утилизация побочных продуктов, т. е. навозных стоков. Современные научно-практические наработки указывают на эффективность их использования в виде удобрительно-увлажнительных поливов на прифермерских полях орошения. Для реализации данной технологии необходимо наличие специализированной оросительной системы, что является крайне дорогостоящим объектом и под силу крупным, имеющим от 4 тыс. голов КРС, агрохолдингам. Более мелким хозяйствам экономически выгоднее пользоваться мобильными средствами внутрипочвенной утилизации стоков, для чего после небольшого усовершенствования возможно использование мелиоративного плоскореза-глубококорыхлителя-удобрителя². Для этого на бункер 13 устанавливается герметичная крышка, а высоконапорный вентилятор 6 меняется на насос. Навозные стоки, влажностью 85–92 %, подаются в подпочвенный горизонт. Поливная вода, благодаря взрыхленной почве и наличию щели, образованной стойками орудия, интенсивно впитывается, провоцируя рост корневой системы растений в увлажненную и удобренную зону.

Исследованиями [19] установлено влияние глубины внесения животноводческих стоков на послойное содержание углекислого газа. Данные указывают на экологическую эффективность, связанную с «запиранием» самого массового парникового газа CO₂ в слое почвы 0,20–0,40 м более чем на 17 % по сравнению с поверхностным внесением и более 81 % на поверхности почвы.

Выводы. Обеспечение индикаторов прецизионного орошаемого земледелия невозможно достичь без использования инновационных почвооб-

²Пат. 2692626 Российская Федерация, МПК A01B 17/00; A01B 13/08; A01B 49/06. Мелиоративный плоскорез-глубококорыхлитель-удобритель / Абезин В. Г., Агеенко О. М., Семененко А. С., Марченко С. С., Елатонцева Е. А., Никитин К. С.; патентообладатель ФНЦ агроэкологии, комплекс. мелиораций и защит. лесоразведения РАН. № 2018123668; заявл. 28.06.18; опубл. 25.06.19, Бюл. № 18.

рабатывающих орудий, обеспечивающих совмещение технологических операций. В условиях переуплотненных, длительно орошаемых светло-каштановых почв Нижнего Поволжья достичь заданных индикаторов можно в том числе за счет увеличения скорости впитывания поливной воды и глубокой внутрипочвенной заделки органических и минеральных удобрений. Предложенные конструкции почвообрабатывающих мелиоративных орудий для одновременной плоскорезной обработки почвы и внутрипочвенного внесения гранулированных мелиорантов, минеральных удобрений и жидких органических удобрений в виде основного питания в зону раздела границ «педосфера – грунт» обеспечивают лучшие, относительно традиционной вспашки, показатели: плотность почвы после уборки выше на 11,7 %, сумма агрономически ценных агрегатов – на 3,5 %, водопроницаемость – на 23,3 %. В совокупности данные показатели ускоряют время впитывания поливной нормы, обеспечивая уменьшение или ликвидацию поверхностного стока.

Список источников

1. Шевченко А. В. Мелиорация земель – стратегический фактор устойчивости развития сельского хозяйства в решении продовольственной безопасности России // Орошаемое земледелие. 2025. № 2(49). С. 5–6. EDN: XHPRQX.
2. Дубенок Н. Н. Водо-энергосберегающие режимы на мелиорированных землях – основа повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 65. С. 35–40. EDN: IGOGOM.
3. Дубенок Н. Н. Теоретические основы обоснования комплексных мелиораций и управление мелиоративными режимами в агроландшафтах в степной и лесостепной зоне // Научно-агрономический журнал. 2023. № 4(123). С. 16–21. DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.002.16-21. EDN: AMMWCI.
4. Доброхотов А. В., Романов Г. П., Козырева Л. В. Исследование взаимосвязи гидротермических условий почвы с комплексными характеристиками энергомассообмена в системе «почва – растение – приземный слой воздуха» // Агрофизика. 2020. № 1. С. 45–51. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.01.07. EDN: RLTJWQ.
5. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review / S. I. Seneviratne, T. Corti, E. L. Davin, M. Hirschi, E. B. Jaeger, I. Lehner, B. Orłowsky, A. J. Teuling // Earth-Science Reviews. 2010. Vol. 99, no. 3-4. P. 125–161 DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.02.004. EDN: MXYFCD.
6. Сиуков С. С., Семенов С. Я. Поверхностный сток: глобальный и локальный аспекты // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее

профессионально образование. 2025. № 1(79). С. 173–183. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-18. EDN: MUDWBN.

7. Сухановский Ю. П., Прущик А. В. Моделирование водной эрозии почв: монография. Курск: Курский ФАНЦ, 2023. 175 с. ISBN: 978-5-605-11660-8. EDN: LCIFCJ.

8. Барамыков М. Р. Использование акустических приборов для определения твердого стока // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 3(67). С. 140–144. EDN: ZSQGXV.

9. Сдобникова О. В. Повышение эффективности фосфорных удобрений с учетом охраны окружающей среды // Бюллетень ВНИИ удобрений и агропочвоведения. 1991. № 3. С. 3–11.

10. Оценка влияния работы почвообрабатывающей техники на изменение эрозийной устойчивости агроландшафта / С. И. Чучкалов, В. П. Филиппов, В. В. Алексеев, С. А. Васильев, И. И. Максимов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессионально образование. 2025. № 3(81). С. 537–546. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-60. EDN: VEUGRU.

11. Воротников И. Л., Денисов К. Е., Гераскина А. А. Анализ зарубежных научных исследований влияния ресурсосберегающих технологий обработки почвы на продуктивность сельскохозяйственных культур и показатели почвенного плодородия // Научная жизнь. Т. 15, № 12(112). С. 1641–1654. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-12-1641-1654. EDN: KRGBNY.

12. Jaskulska I., Jaskulski D. Strip-Till One-Pass Technology in Central and Eastern Europe: A MZURI Pro-Til Hybrid Machine Case Study // Agronomy. 2020. Vol. 10, iss. 7. 18 p. DOI: 10.3390/agronomy10070925. EDN: DNZFIB.

13. Acharya U., Chatterjee A., Daigh A. L. M. Effect of subsurface drainage, crop rotation, and tillage on crop yield in Fargo clay soil // Journal of Soil and Water Conservation. 2019. Vol. 74, iss. 5. P. 456–465. DOI: 10.2489/jswc.74.5.456.

14. Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности / Е. В. Зинченко, И. Н. Горохова, Н. Г. Круглякова, Н. Б. Хитров // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 68–109. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109. EDN: LSREIQ.

15. Агромелиоративные и организационные способы борьбы с ирригационным стоком в условиях градуированных орошаемых земель (на примере землепользования опытной станции «Орошаемая») / А. Е. Новиков, С. С. Сиуков, М. К. Тихонова, С. Я. Семенов // Орошаемое земледелие. 2025. № 1(48). С. 42–48. DOI: 10.35809/2618-8279-2025-1-7. EDN: PQGIYW.

16. Ольгаренко В. Иг., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного орошения в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 1(29). С. 160–169. EDN: YOTSLV.

17. Агромелиоративные приемы, влияющие на водопроницаемость почвы и урожайность риса на фоне дождевания в условиях Нижнего Поволжья / И. П. Кружилин, М. А. Ганиев, К. А. Родин, А. Б. Невежина // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 2. С. 270–282. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-270-282. EDN: YAMMUN.

18. Влияние агромелиоративных приемов на водно-физические свойства светлокаштановой тяжелосуглинистой почвы при возделывании риса на фоне дождевания в условиях Нижнего Поволжья / И. П. Кружилин, М. А. Ганиев, К. А. Родин, А. Б. Невежина, А. А. Новиков // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 155–166. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-155-166. EDN: VLYHEN.

19. Новиков А. Е., Семенов С. Я., Моторин В. А. Влияние внутрипочвенного внесения побочных продуктов животноводства на содержание диоксида углерода в

почвенном воздухе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессионально образование. 2023. № 3(71). С. 371–384. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-38. EDN: XKFMZY.

References

1. Shevchenko A.V., 2025. *Melioratsiya zemel' – strategicheskiy faktor ustoychivosti razvitiya sel'skogo khozyaystva v reshenii prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii* [Land reclamation – a strategic factor of the sustainable development of agriculture in solving food security of Russia]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 2(49), pp. 5-6, EDN: XHPRQX. (In Russian).
2. Dubenok N.N., 2023. *Vodo-energoberegayushchie rezhimy na meliorirovannykh zemlyakh – osnova povysheniya konkurentosposobnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Water-energy saving regimes on reclaimed lands are the basis for increasing the competitiveness of agricultural production]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* [Bulletin of International Academy of Agrarian Education], no. 65, pp. 35-40, EDN: IGOGOM. (In Russian).
3. Dubenok N.N., 2023. *Teoreticheskie osnovy obosnovaniya kompleksnykh melioratsiy i upravlenie meliorativnymi rezhimami v agrolandshaftakh v stepnoy i lesostepnoy zone* [Theoretical foundations of the complex land reclamation justification and land reclamation regimes management in agrolandscapes in the steppe and forest-steppe zone]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific Agronomy Journal], no. 4(123), pp. 16-21, DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.002.16-21, EDN: AMMWCI. (In Russian).
4. Dobrokhotov A.V., Romanov G.P., Kozyreva L.V., 2020. *Issledovanie vzaimosvyazi gidrotermicheskikh usloviy pochvy s kompleksnymi kharakteristikami energomassoobmena v sisteme «pochva – rastenie – prizemnyy sloy vozdukha»* [Study of interrelation of hydrothermal soil conditions with integrated characteristics of energy and mass transfer in “Soil – plant – atmospheric surface layer” system]. *Agrofizika* [Agrophysics], no. 1, pp. 45-51, DOI: 10.25695/AGRPH.2020.01.07, EDN: RLTJWQ. (In Russian).
5. Seneviratne S.I., Corti T., Davin E.L., Hirschi M., Jaeger E.B., Lehner I., Orlowsky B., Teuling A.J., 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, vol. 99, no. 3-4, pp. 125-161, DOI: 10.1016/j.earsci-rev.2010.02.004, EDN: MXYFCD.
6. Siukov S.S., Semenenko S.Ya., 2025. *Poverkhnostnyy stok: global'nyy i lokal'nyy aspekty* [Surface runoff: global and local aspects]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1(79), pp. 173-183, DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-18, EDN: MUDWBN. (In Russian).
7. Sukhanovsky Yu.P., Prushchik A.V., 2023. *Modelirovanie vodnoy erozii pochv: monografiya* [Modeling of Water Erosion of Soils: monograph]. Kursk, Kursk Federal Academy of Sciences, 175 p., ISBN: 978-5-605-11660-8, EDN: LCIFCJ. (In Russian).
8. Baramykov M.R., 2017. *Ispol'zovanie akusticheskikh priborov dlya opredeleniya tverdogo stoka* [Acoustic devices usage for determining sediment runoff]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(67), pp. 140-144, EDN: ZSQGXB. (In Russian).
9. Sdobnikova O.V., 1991. *Povyshenie effektivnosti fosfornykh udobreniy s uchetom okhrany okruzhayushchey sredy* [Improving the efficiency of phosphorus fertilizers, taking into account environmental protection]. *Byulleten' VNIi udobreniy i agropochvovedeniya* [Bullet. of the All-Russian Research Institute of Fertilizers and Agro-Soil Science], no. 3, pp. 3-11. (In Russian).
10. Chuchkalov S.I., Filippov V.P., Alekseev V.V., Vasiliev S.A., Maksimov I.I., 2025.

Otsenka vliyaniya raboty pochvoobrabatyvayushchey tekhniki na izmenenie erozionnoy ustoychivosti agrolandshafta [Assessing the impact of soil tillage machinery on changes in the erosion resistance of agricultural landscape]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(81), pp. 537-546, DOI: 10.32786/2071-9485-2025-03-60, EDN: VEUGRU. (In Russian).

11. Vorotnikov I.L., Denisov K.E., Geraskina A.A., 2020. *Analiz zarubezhnykh nauchnykh issledovaniy vliyaniya resursosberegayushchikh tekhnologiy obrabotki pochvy na produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pokazateli pochvennogo plodorodiya* [Analysis of foreign scientific studies on the influence of resource-saving tillage technologies on the productivity of agricultural crops and soil fertility indicators]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], vol. 15, no. 12(112), pp. 1641-1654, DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-12-1641-1654, EDN: KRGBNY.

12. Jaskulska I., Jaskulski D., 2020. Strip-Till One-Pass Technology in Central and Eastern Europe: A MZURI Pro-Til Hybrid Machine Case Study. *Agronomy*, vol. 10, iss. 7, 18 p., DOI: 10.3390/agronomy10070925, EDN: DNZFIB.

13. Acharya U., Chatterjee A., Daigh A.L.M., 2019. Effect of subsurface drainage, crop rotation, and tillage on crop yield in Fargo clay soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 74, iss. 5, pp. 456-465, DOI: 10.2489/jswc.74.5.456.

14. Zinchenko E.V., Gorokhova I.N., Kruglyakova N.G., Khitrov N.B., 2020. *Sovremennoe sostoyanie oroshaemykh pochv yuga Privolzhskoy vozvyshennosti* [Modern state of irrigated soils at the south of the Volga Upland]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Science Bulletin], iss. 104, pp. 68-109. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109, EDN: LSREIQ. (In Russian).

15. Novikov A.E., Siukov S.S., Tikhonova M.K., Semenenko S.Ya., 2025. *Agromeliorativnye i organizatsionnye sposoby bor'by s irrigatsionnym stokom v usloviyakh graduiruvannykh oroshaemykh zemel' (na primere zemlepol'zovaniya opytnoy stantsii «Oroshaemaya»)* [Agromeliorative and organizational methods to control irrigation runoff in conditions of graduated irrigated lands (using the example of land use of the experimental station “Irrigated”]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 1(48), pp. 42-48, DOI: 10.35809/2618-8279-2025-1-7, EDN: PQGIYW. (In Russian).

16. Olgarenko V.Ig., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2018. *Nauchnaya kontseptsiya i algoritm realizatsii elementov pretsizionnogo orosheniya v usloviyakh orositel'noy sel'skokhozyaystvennoy melioratsii* [Scientific concept and implementation algorithm of precision farming elements under irrigated agricultural reclamation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(29), pp. 160-169, EDN: YOTSLV. (In Russian).

17. Kruzhilin I.P., Ganiev M.A., Rodin K.A., Nevezhina A.B., 2025. *Agromeliorativnye priemy, vliyayushchie na vodopronitsaemost' pochvy i urozhaynost' risa na fone dozhdevaniya v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya* [Agro-reclamation techniques affecting soil permeability and rice productivity under sprinkling in the Lower Volga region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 2, pp. 270-282, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-270-282, EDN: YAMMUN. (In Russian).

18. Kruzhilin I.P., Ganiev M.A., Rodin K.A., Nevezhina A.B., Novikov A.A., 2024. *Vliyanie agromeliorativnykh priemov na vodno-fizicheskie svoystva svetlo-kashtanovoy tyazhelosuglinistoy pochvy pri vozdeystvovanii risa na fone dozhdevaniya v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya* [The effect of agro-reclamation techniques on water-physical characteristics of light chestnut heavy loamy soil during rice cultivation against the background of sprinkling in the Lower Volga region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 1, pp. 155-166, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-155-166, EDN: VLYHEN. (In Russian).

19. Novikov A.E., Semenenko S.Ya., Motorin V.A., 2023. Vliyanie vnutripochvennogo vneseniya pobochnykh produktov zhivotnovodstva na sodержanie dioksida ugleroda v pochvennom vozdukh [The effect of intra-soil application of animal by-products on the carbon dioxide content in soil air]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(71), pp. 371-384, DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-38, EDN: XKFMZY.

Информация об авторе

С. Я. Семенов – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), sergeysemenenko@list.ru, ORCID: 0000-0001-5992-8127.

Information about the author

S. Ya. Semenenko – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (400002, Volgograd, st. Timiryazev, 9), sergeysemenenko@list.ru, ORCID: 0000-0001-5992-8127.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 15.08.2025; одобрена после рецензирования 11.11.2025; принята к публикации 19.11.2025.
The article was submitted 15.08.2025; approved after reviewing 11.11.2025; accepted for publication 19.11.2025.*