УДК 631.675.2:631.859 DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.20

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ НА ДИНАМИКУ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Н.М. Троц, д.с.-х.н., В.Б. Троц, д.с.-х.н., Н.В. Боровкова,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет»
446442, Самарская обл., ПГТ Усть-Кинельский, Учебная ул., 1

Изучено влияние многолетнего регулярного орошения на изменение физико-химических и агрофизических свойств черноземных почв Среднего Поволжья с 2011 по 2024 г. Выявлена устойчивая тенденция к подщелачиванию профиля: показатели обменной кислотности возросли на 0,9, а актуальной – на 1,1 ед. pH. *Ведущим фактором деградации выступает полив гидрокарбонатными водами (*HCO_3 *– 159 мг/дм³). Это создает потенциальную угрозу засоления и инициирует начальные этапы трансформации солевого режима по хлоридно-сульфатному типу, хотя плотный остаток пока удерживается в пределах 0,1%.*

Длительная мелиоративная нагрузка спровоцировала негативные изменения в почвенном поглощающем комплексе: отмечен дефицит обменного кальция (–1,2 ммоль/100 г) на фоне фиксации магния (+0,8 ммоль/100 г). Дисбаланс катионов привел к деструкции агрегатного состояния: при визуально хорошем макроагрегатном составе водопрочность структуры оценивается как неудовлетворительная. Наблюдается переуплотнение пахотного горизонта средних суглинков (до 1,54 г/см³), что вызывает угнетение корневых систем культур и ухудшение водно-физических свойств. Для предотвращения дальнейшей деградации агроценозов обоснована необходимость мониторинга качества поливных вод и применения химической мелиорации для восстановления структуры почв.

Ключевые слова: орошение, деградация почв, подщелачивание, гидрокарбонатные воды, засоление, водопрочность структуры, уплотнение почв, водно-физические свойства.

Для цитирования: *Троц Н.М., Троц В.Б., Боровкова Н.В.* Влияние длительного орошения на динамику свойств черноземных почв Среднего Поволжья// Плодородие. – 2026. – №3. – С. 113-120. DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.20.

В условиях рискованного земледелия Самарской области искусственное орошение выступает ключевым фактором интенсификации земледелия. Расширение площади поливных земель осуществляется в рамках профильных госпрограмм и нацпроектов, обеспечивая стабильный рост урожайности. К 2025 г. площадь орошаемых земель в регионе достигла 35 тыс. га, причем в мелиорацию вовлечены как крупные агрохолдинги, так и КФХ. Флагманом орошаемого земледелия региона является Приволжский район (свыше 19 тыс. га), на территории которого функционирует одна из крупнейших в стране оросительных систем – Спасская оросительная система (СОС) (рис. 1). При общем мелиоративном потенциале региона в 140 тыс. га, развитие данной отрасли важно для обеспечения продовольственной безопасности засушливых территорий.



Рис. 1. Канал Спасской оросительной системы

Исследовательские работы проводились на участках, расположенных в зоне Заволжской степной провинции Приволжского муниципального района Самарской области. Данный регион характеризуется умеренно континентальным климатом с резкими температурными контрастами, дефицитом влаги (рис. 2, 3).

Значительная часть территории области относится к зоне рискованного земледелия, где урожай напрямую зависит от количества осадков. Среднегодовое количество осадков составляет 350–550 мм. Недостаток влаги за вегетационный период доходит до 260 мм, а вероятность засух – до 60 %.

Наибольшая потребность растений во влаге приходится на май и июнь, поэтому в разные периоды вегетации существует риск засух. Засуха в июне может привести к значительному снижению урожайности.

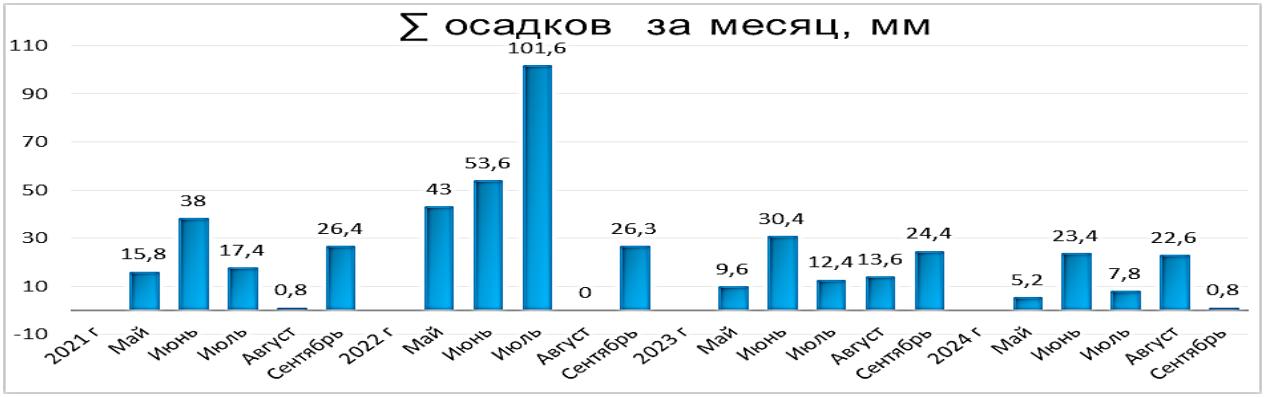


Рис. 2. Среднемесячные осадки вегетационных периодов

Несмотря на климатические риски в условиях засухи, высоких температур и недостаточного количества осадков, в регионе возможно выращивание многих видов сельскохозяйственных культур, однако для получения стабильных урожаев требуется применение орошения. В данной зоне распространены типичные, обыкновенные и южные черноземы в основном глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава.

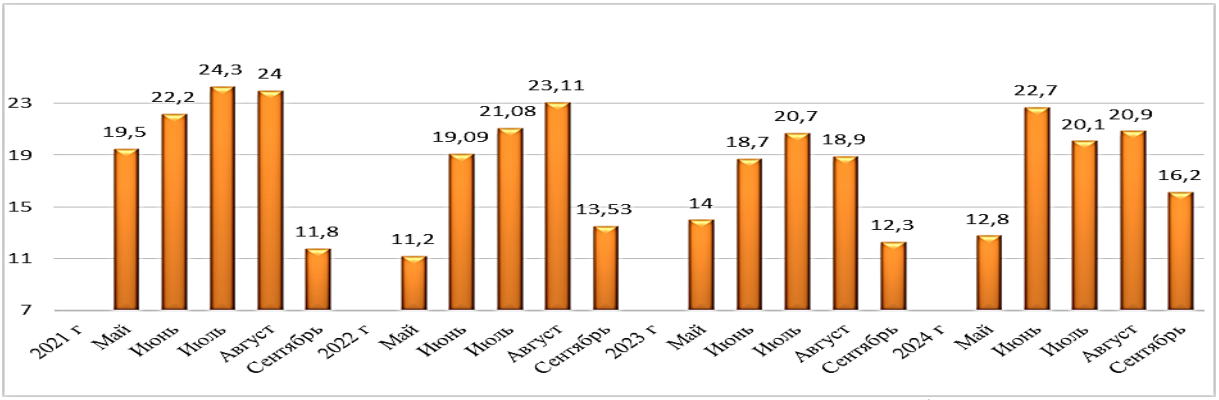


Рис. 3. Среднемесячная температура воздуха вегетационных периодов, ^{0}C

Методика. Исследования проводили в 2011-2014 г., 2016-2019 г., 2021-2024 г. на полях крестьянско-фермерского хозяйства. Предприятие специализируется на выращивании картофеля, овощей, сои с применением регулярного орошения более 20 лет. Все изучаемые типы и разновидности почв сформированы на однородных почвообразующих породах, которые представлены в основном древнеаллювиальными средними суглинками и глинами с невысоким содержанием карбонатов. Древнеаллювиальные породы служат почвообразующей породой для различных типов почв, включая чернозёмы и луговые почвы. На них, как правило, могут формироваться чернозёмы обыкновенные среднегумусные террасовые и обыкновенные карбонатные (перерытые) среднегумусные террасовые. На большей части территории области почвообразующие породы не засолены легкорастворимыми солями. Верхним почвообразующим горизонтом являются светло-бурые тонкопористые слабокарбонатные суглинки.

Отбор проб почвы для анализов осуществляли на глубину до 1,5 м по горизонтам: 0–30, 30–60, 60–90, 90–120, 120–150 см.

Исследования проводили на производственных полевых участках в естественных условиях в составе существующих севооборотов на площади: 2011-2014 г. – 210 га, 2016-2019 г. – 438 га, 2021-2024 г. – 462 га.

Почвенные анализы выполняли в сертифицированных лабораториях ФГБУ САС «Самарская» в Самарской испытательной лаборатории ФГБУ «ВНИИЗЖ» и в научно-исследовательской испытательной лаборатории ФГБОУ ВО Самарский ГАУ.

Для решения поставленных целей и задач в двухфакторном полевом опыте проведены следующие учеты, наблюдения и анализы:

- отбор и подготовку проб почвы для химического анализа (ГОСТ Р 58595-2019) проводили буром Малькова в пахотном слое каждого варианта 1 и 3 повторностей из пятиточечных проб методом конверта на делянках.

В смешанных образцах определяли:

• обменную кислотность pH_{KCl} потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85);

• актуальную кислотность pH_{H2O} потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85);

• содержание органического вещества – гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91);

• содержание общего азота (ГОСТ 26107-84);

• содержание подвижных форм фосфора и обменного калия – по методу Ф. В.Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91), в карбонатных почвах по Б. П. Мачигину (ГОСТ 26205-91);

• гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);

Цель исследования – выявить направленность и интенсивность трансформации признаков свойств черноземных почв Среднего Поволжья в условиях длительного орошения.

Объект исследования – черноземы обыкновенные остаточно-луговатые, сформированные на слабоволнистой

второй надпойменной террасе р. Волги в условиях длительного орошения.

Изучаемые почвы развиты на древнеаллювиальных средних суглинках. Все массивы интенсивно орошаются, поэтому свойства и качество поливной воды напрямую влияют на их агрохимическое состояние. Качество поливной воды влияет на плодородие: минерализованная или содосодержащая вода вызывает вторичное засоление и осолонцевание пашни. В рамках мониторинга был оценен химический состав воды, забираемой для орошения из оросительного канала. Величина плотного остатка, согласно группировке природных вод по степени минерализации, позволяет отнести орошаемые воды к бикарбонатной щелочности с содержанием гидрокарбонатов 159 мг/дм^3 и общей минерализацией воды 3,16 г/л. Физико-химические свойства поливной воды: карбонаты – 26 мг/дм^3, гидрокарбонаты – 159 мг/дм^3, общая жесткость – 4,0 ж, pH 8,2, железо – 0,32 мг/дм^3, кальций – 64, магний – 10, нитрат-ион – 0,74, нитрит – ион – 0,038, сухой остаток – 316, сульфат-ионы – 60, фосфат-ион <0,05, хлорид-ионы – 36 мг/дм^3.

По уровню pH поливная вода среднещелочная, по жесткости − средняя. Общая минерализация оросительной воды (общее содержание солей) составляет 3,16 г/л, которая относится к IV классу опасности. Данный класс оросительной воды неблагоприятно влияет на плодородие почвы. Происходит снижение урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается до 20-50%. По степени опасности засоления почва относится к IV_2 классу, или условно пригодна на песках для культур средней и сильной солеустойчивости (определяется по соотношению Cl^-/SO_4^{2-}, где данный показатель составляет 0,6). Оценка оросительной воды по опасности магниевого осолонцевания и содообразования почв относится к безопасному 1-му классу (определяется соотношением Mg/Ca (10/64) и равна 0,16).

В основу сравнительного анализа при проведении исследований в 2011-2024 г. положена идентичность почвенных, геоморфологических, гидрологических условий, почвообразующих пород (древнеаллювиальные суглинки), сельскохозяйственного использования в специализированных севооборотах овощных культур (картофель, лук, морковь) и способа полива (дождевание) [1, 2].

Результаты и их обсуждение. Почвенный покров исследуемой территории обследования в границах ключевых участков представлен 1-м типом, 1-м подтипом, с разделение по родовым признакам и тремя почвенными разновидностями. Названия почв даны по действующей классификации (табл. 1).

Почвообразующими породами черноземов обыкновенных остаточно-луговатых служат древнеаллювиальные тяжелые и средние суглинки. Среди фракций мелкозема преобладают крупная пыль и ил.

Черноземы обыкновенные остаточно-луговатые получили распространение на слабоволнистой второй надпойменной террасе р. Волги. Содержание гумуса в этих почвах относительно небольшое (5,0-4,0 %), вниз по профилю убывание гумуса идет очень постепенно. На глубине 1,0 м его обнаруживается 1,5 %, что характерно для остаточно-луговатых черноземов. Сумма поглощенных оснований в пахотном слое составляет 39,7-28,0 мг-экв/100 г почвы, с преобладанием поглощенного кальция, что также типично для этих почв.

1. Классификация почвенного покрова исследуемых орошаемых черноземных почв

Тип	*Подтип*	*Род*	*Разновидность*
Чернозем	Чернозем обыкновенный	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый	Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный мощный орошаемый среднесуглинистый
			Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый слабогумусированный среднемощный орошаемый среднесуглинистый
		Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный	Комплекс: 1.Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый малогумусный среднемощный орошаемый среднесуглинистый
			2.Чернозем обыкновенный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный среднемощный среднесуглинистый

Черноземы обыкновенные остаточно-луговатые карбонатные приурочены к повышенным частям второй надпойменной террасы. Они, как правило, встречаются в виде пятен среди обычных остаточно-луговатых черноземов. Реакция почвенной среды слабощелочная (pH 7,5). Сумма поглощенных оснований 27,9 мг-экв/100 г почвы, для них характерно устойчивое поверхностное вскипание, т.е. наличие карбонатов во всем почвенном профиле, начиная с поверхности. В карбонатных почвах содержится повышенное количество Ca^{2+}, Mg^{2+}и HCO^{3-}, что определяет их слабощелочную реакцию. В условиях промывного водного режима повышенная карбонатность почв способствует усилению аккумулятивных почвообразовательных процессов и ослаблению элювиальных, оптимизации гумусового состояния, физико-химических и физических свойств.

Результаты сравнительного анализа проведенных исследований на идентичных почвенных участках показали, что в процессе протекания почвообразовательных процессов при длительном орошении происходят негативные почвенные изменения. Влияние орошения на свойства черноземных почв носит сложный и неоднозначный характер. С одной стороны, рядом исследователей неоднократно отмечалась стабилизация режима влажности почв и некоторое улучшение гумусового состояния [3]. В результате исследований были получены показатели состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения за период между обследованиями (2011- 2024 г.), что позволяет выявить динамику основных свойств и признаков почв. Наиболее динамичным показателем в пахотном слое является содержание гумуса – основного показателя плодородия почв. Данный показатель подтверждается результатами исследования на опытных почвенных участках в условиях долговременного орошения.

Запас гумуса в 1,0 м слое чернозема обыкновенного остаточно-луговатого карбонатного перерытого слабогумусированного среднемощного орошаемого среднесуглинистого в сравнении с 2003 г. ниже на 30%, но соответствует исходной градации (табл. 2).

Согласно расчетным данным, запасы органического вещества в метровом слое чернозема обыкновенного остаточно-луговатого малогумусного среднемощного среднесуглинистого соответствуют среднему уровню обеспеченности почв органическим веществом и на

20,8% превосходит аналогичный показатель для слабогумусированных разностей (табл. 3).

2. Динамика питательных веществ и pH по профилю карбонатной почвы (для расчета запаса гумуса)

Глубина взятия образцов, см	pH	Гумус, %	Содержание подвижных форм (в пересчёте по Чирикову), мг/кг	
			фосфор	калий
0-30	7,6	2,7	208,0	94,2
30-60	7,6	2,7	183,2	92,7
60-90	7,7	2,0	132,0	73,2
90-120	7,8	1,4	-	-
120-150	7,9	1,2	-	-
ИТОГО запас гумуса 297,0 т/га				

3. Динамика питательных веществ и pH по профилю некарбонатной почвы (для расчета запаса гумуса), 2020 г.

Глубина взятия образцов, см	pH	Гумус, %	Содержание подвижных форм (по методу Чирикова), мг/кг	
			фосфор	калий
0-27	6,2	4,3	208,0	70,4
27-36	6,5	4,2	201,8	59,5
36-75	6,7	2,5	203,8	53,85
75-100	7,1	2,0	-	-
100-130	7,3	0,8	-	-
ИТОГО запас гумуса 374,9 т/га				

По расчетам 2024 г., запасы органического вещества в 1,0 м слое малогумусных почв составляют 244,8 т/га (средние), слабогумусированных почв – 148,8 т/га (низкие).

Изучена динамика содержания общего гумуса в верхнем (0-20 см) горизонте почвы под влиянием антропогенной водной нагрузки (орошение дождеванием) за период 2011-2024 г. Согласно концепции [6], трансформация органического вещества почвы – процессы деструкции и гумификации – делятся на аэробные и анаэробные. Оптимальные почвенно-экологические условия для произрастания культурных растений формируются исключительно при сбалансированном сопряжении аэробных и анаэробных процессов. Данный синергизм обеспечивает активное гумусонакопление и реализуется преимущественно в высокопористых, хорошо аэрируемых почвах с благоприятным структурно-агрегатным состоянием [7]. Согласно данным, полученным за исследуемый период (2011–2024 г.), в условиях длительного орошения в почвах активизировался процесс гумификации, протекающий по анаэробному типу. На фоне интенсивной системы земледелия, включающей диверсификацию севооборота, а также систематическое внесение минеральных и органических удобрений, зафиксировано снижение содержания гумуса на 0,2% за десятилетний период. Данная тенденция к деградации органического вещества служит индикатором преобладания анаэробной деструкции над процессами синтеза гумусовых соединений.

В научной литературе превалирует мнение о росте мобильности гумусовых соединений под воздействием ирригации, что детерминирует их вертикальную миграцию по почвенному профилю и последующий вынос за его пределы. Наряду с интенсификацией иллювиально-элювиальных процессов, допускается увеличение доли углерода негидролизуемого остатка (детрита). Трансформация качественного состава органического вещества при этом характеризуется сужением отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот Сгк/Сфк. Данное изменение обусловлено кумуляцией фульвокислотных фракций, протекающей как на фоне стабильного содержания гуминовых кислот, так и в условиях их абсолютного регресса.

Исследования [8], посвященные трансформации органического вещества черноземов при ирригации слабоминерализованными водами с неблагоприятным ионно-солевым составом, свидетельствуют, что развитие процессов осолонцевания инициирует регресс содержания общего гумуса и фракций гуминовых кислот на фоне сопутствующей аккумуляции фульвокислот. Обобщение накопленного массива научно-производственных данных, преимущественно валидированных для черноземного типа почвообразования и в меньшей степени – для подтипов каштановых почв, позволяет констатировать направленную модификацию как количественных параметров, так и качественного состава гумусового профиля под воздействием длительного орошения [9]. Оценка качественного состава гумуса орошаемых остаточно-луговатых черноземов Спасской оросительной системы приводится по данным в 2021-2024 г. по фракционно- групповому составу гумуса этих почв в вариантах опыта с внесением различных доз химического мелиоранта – фосфогипса (табл. 4.).

4. Гумусовое состояние орошаемых черноземных почв на участках выращивания картофеля (в среднем за 2021-2024 г.)

Показатель	Вариант опыта				
	$N_{150}P_{150}K_{300}$	+ ФГ, т/га			
		2	4	6	8
Плотность сложения, г/см^3	1,39	1,36	1,24	1,46	1,50
Общая пористость, %	37	41	56	56	52
Содержание гумуса, %	4,3	4,8	4,5	4,7	4,5
Углерод общий, %	0,82	1,43	1,21	0,97	1,32
Углерод гуминовых кислот, %	0,20	0,36	0,52	0,36	0,53
Углерод фульвокислот, %	0,62	1,07	0,69	0,61	0,79
Степень гумификации органического вещества, $С_{ГК}:С_{ФК}\cdot100$	24	25	43	37	39
Тип гумуса, $С_{ГК}$: $С_{ФК}$	0,32	0,34	0,75	0,59	0,67

Результаты исследований показали, что содержание гумуса в зависимости от варианта опыта варьирует от 4,3 % (контроль без мелиоранта) до значений, превышающих исходные на 0,2–0,5 % при внесении различных доз фосфогипса. На фоне применения мелиоранта зафиксированы качественные изменения гумусового состояния. Степень гумификации органического вещества улучшилась со средних значений (на контроле) до высоких и очень высоких. Качественная оценка состава гумуса показала, что если в контрольном варианте в условиях анаэробиоза сформировался сильнофульватный тип (Сгк : Сфк = 0,32–0,34), то внесение фосфогипса способствовало трансформации органического вещества. На мелиорированных участках соотношение Сгк:Сфк сместилось в сторону фульватного типа (0,59-0,67), а в вариантах опыта с фосфогипсом достигло гуматно-фульватного характера (0,75).

Результаты исследований выявили прямую зависимость между качественным составом гумуса и плотностью сложения верхнего горизонта изучаемых почв. Внесение химического мелиоранта (фосфогипса) оказало существенное влияние на их физическое состояние.

Оптимальные значения плотности сложения были зафиксированы исключительно в варианте с дозой фосфогипса 4 т/га, где этот показатель составил 1,24-1,30 г/см³. На фоновом (контрольном) участке, а также при дозах внесения 2, 6 и 8 т/га плотность сложения превышала оптимум и варьировала в пределах 1,36-1,54 г/см³ (табл. 5). Подобное переуплотнение привело к негативной трансформации порового пространства: увеличился объем неактивных пор с недоступной для растений влагой, снизилась скорость фильтрации и ухудшились условия для распространения корневых систем. И лишь оптимизация дозы мелиоранта до 4 т/га способствовала улучшению агрегатного состояния, снижению плотности, а также нормализации водного и воздушного режимов почвы.

5. Оценка плотности и общей пористости орошаемых черноземных почв на участках выращивания картофеля (в среднем за 2021–2024 г.)

Вариант опыта	Плотность твердой фазы почвы	Плотность почвы	Степень уплотнения пашни	Характеристика растительных свойств	Общая пористость, %	Качественная оценка пористости
	г/см³					
Тяжелосуглинистая почва						
$N_{150}P_{150}K_{300}$	2,4	1,39	Средне-уплотнена	Влияние на корневые системы незначительное	37	Чрезмерно низкая
+ ФГ, 2 т/га	2,3	1,36	То же	То же	41	То же
+ ФГ, 4 т/га	2,8	1,24	Уплотнена	>>	56	Отличная
+ ФГ, 6 т/га	3,3	1,46	Очень сильно уплотнена	Корневая система испытывает угнетение	56	>>
+ ФГ, 8 т/га	3,1	1,50	>>	То же	52	Удовлетворительная
Среднесуглинистая почва						
$N_{150}P_{150}K_{300}$	2,4	1,54	>>	>>	36	Чрезмерно низкая
+ ФГ, 2 т/га	2,3	1,54	>>	>>	33	То же
+ ФГ, 4 т/га	3,6	1,30	Уплотнена	Влияние на корневые системы незначительное	64	Отличная
+ ФГ 6 т/га	3,3	1,50	Очень сильно уплотнена	Корневая система испытывает угнетение	55	Удовлетворительная
+ ФГ 8 т/га	3,1	1,54	>>	То же	50	То же

Процессы подщелачивания и осолонцевания широко распространены на орошаемых массивах, проявляясь наиболее интенсивно при использовании слабоминерализованных и слабощелочных бикарбонатных вод. В современной науке и практике комплексная оценка качества оросительной воды базируется на синергетическом применении различных методик. Данный подход позволяет своевременно идентифицировать риски развития таких деградационных процессов, как вторичное засоление, осолонцевание и содообразование почв, ведущих к падению урожайности культур. Кроме того, методы диагностики направлены на предотвращение технологических рисков: кольматации (засорения) элементов поливных систем и коррозии оборудования [4].

Как правило, процессы подщелачивания и осолонцевания почв сопровождаются, их последующим уплотнением, дегумификацией, накоплением токсичных соединений и дисбалансом элементов минерального питания [5, 6]. Результаты многолетнего мониторинга (2011–2024 г.) на орошаемых участках со сходным почвенным покровом выявили выраженную тенденцию к подщелачиванию. Наблюдается изменение обменной кислотности от нейтральной pH_{KCl} 6,2 до слабощелочной pH_{KCl} 7,3, аналогичные изменения к подщелачиванию подтверждаются данными актуальной кислотности, где pH_{H2O} изменяется от нейтрального (pH 6,9) до среднещелочного (pH 8,0). При этом признаки осолонцевания за весь период наблюдений не обнаружены, что доказывается крайне низким участием обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе — менее 1% емкости катионного обмена (ЕКО) (табл. 6).

6. Агрохимические показатели орошаемых черноземных почв

№	Период исследования, годы	pH_{KCl} обменная кислотность	pH_{H2O} актуальная кислотность	Гумус, %	Азот NO_3^-	Азот ЛГ	Подвижные формы, мг/кг		ЕКО мг-экв/100 г почвы
					мг/кг		P_2O_5	K_2O	
1	2011-2014	6,8	7,3	4,5	16,4	-	132,0	108,0	27,9
2	2016-2019	6,2	6,9	4,3	7,6	76	208,0	215,0	28,4
3	2021-2024	7,3	8,0	4,3	55,0	70	191,4	265,0	26,0

Основной причиной подщелачивания является высокая гидрологическая нагрузка, обусловленная как выпадением атмосферных осадков, так и, главным образом, подачей оросительных вод. Последние характеризуются выраженной бикарбонатной щелочностью при концентрации гидрокарбонат-ионов 159 мг/дм³.

Ведение орошаемого земледелия сопровождается не только благоприятными (рассоление, рассолонцевание, увлажнение), но и негативными (вторичное засоление, осолонцевание, ощелачивание) почвообразовательными процессами. Орошение влияет на химические свойства почвы еще и потому, что в оросительной воде всегда содержатся соли. Содержание водорастворимых солей в почвах может быть лимитирующим фактором их использования в сельскохозяйственном производстве.

Результаты анализа водной вытяжки почв опытных участков показали, что плотный остаток невысокий, по степени засоления почвы слабозасолены, по химизму засоления в основном относятся к хлоридно-сульфатному с участием соды типу засоления (табл.7).

7. Результаты почвенной водной вытяжки орошаемых черноземных почв

№	Период исследования, годы	Плотный остаток, %	Содержание, ммоль/100 г							
			SO_4^{2--}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-},	HCO_3^-	K^+	Na^+
1	2016-2019	0,10	0,5	0,35	0,7	0,01	0,95	0,48	0,02	0,21
2	2021-2024	0,08	0,7	0,32	0,8	0,7	1,42	0,71	0,03	0,18

Содообразование является еще одним неблагоприятным почвенным процессом, влекущим за собой снижение продуктивности сельскохозяйственных культур, ухудшение водно-воздушного режима зоны аэрации, развитие засоления. Использование для орошения некачественной воды – одна из причин, которая может привести к его развитию. Для предупреждения содообразования в отечественной и зарубежной практике исследователи проводят оценку состава водных ресурсов с точки зрения возможности развития данного негативного почвенного процесса. По результатам почвенной водной вытяжки за период исследования наблюдаются: подщелачивание почвенного раствора на 1,1 ед., рост содержания анионов гидрокарбонатов HCO_3^- и их отношения к хлоридам и сульфатам, увеличение электропроводности от 0,1 до 0,3 мСМ/см, подтверждающие рост засоленности хлоридно-сульфатной с участием соды (табл.8).

8. Химизм засоления орошаемых черноземных почв

№	Период исследования	$pH_{вод.}$	Плотный остаток, %	Отношение анионов, ммоль			Электропроводность, мСМ/см	Химизм (тип) засоления
				$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{HCO_3^-}{Cl^-}$	$\frac{HCO_3^-}{SO_4^{2-}}$		
1	2016-2019	6,9	0,10	0,2-1,0	>1	< 1	0,1	Слабозасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды»
2	2021-2024	8,0	0,08	0,2-1,0	> 2	> 1	0,30	Слабозасоленное хлоридно-сульфатное «с участием соды»

Примечание. Ионы CO_3^{2-} – менее 20 % суммы анионов, мг-экв., но более 0,03 мг-экв/100 г почвы, засоление определяется по соотношению преобладающих ионов с добавлением в название «с участием соды».

В название почвенной разновидности на участках под воздействием длительного орошения к видовым признакам добавляются степень и химизм засоления. Почвенная разновидность представлена черноземом обыкновенным остаточно-луговатым малогумусным среднемощным слабозасоленным хлоридно-сульфатным с участием соды тяжело- и среднесуглинистым.

С другой стороны, при длительном орошении проявлялись ухудшение структурного состояния, снижение содержания обменного кальция на 1,2 ммоль/100 г почвы, рост содержания обменного магния на 0,8 ммоль/100 г почвы, негативно влияющие на формирование урожайности сельскохозяйственных культур (табл. 9).

9. Соотношение кальция и магния (Ca:Mg) в орошаемом черноземе (в среднем за 2011–2024 г.)

№	Период исследования, годы	ЕКО, мг-экв/ 100 г почвы	% сод. Ca + Mg от ЕКО	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca : Mg
				ммоль/ 100 г почвы		
1	2011-2014	27,9	-	-	-	5:1
2	2016-2019	28,4	77	20,0	2,0	10:1
3	2021-2024	26,0	83	18,8	2,8	7:1

Орошение сильно влияет на физические параметры почв. Так, в исследованиях [9] отмечаются увеличение плотности всех типов почв в первые 10-15 лет орошения, особенно верхнего (0-40 см) слоя, и уменьшение их пористости. Постепенно в верхних горизонтах орошаемых почв прослеживается разрушение структуры, почва распыляется, в сухом состоянии растрескивается, во влажном – заплывает, становится вязкой и практически непроницаемой для воды и воздуха [7].

Длительное орошение привело к заметным изменениям структурного состояния почв. Структура пахотного и подпахотного слоев приобрела отчетливо выраженные черты глыбистости. Структурные агрегаты состоят из отдельных частиц (механических элементов), связанных веществами, обладающими клеящей способностью (новообразованные гумусовые вещества, соединения кальция, железа и др.). Эти вещества обуславливают механическую прочность и водоустойчивость агрегатов степного типа почвообразования [10]. Как отмечалось, содержание гумуса невысокое, наблюдается вымывание кальция, что сказалось на структурном состоянии.

Водопрочными называются агрегаты, которые противостоят размывающему действию воды. В условиях орошения этот показатель играет важную роль, так как черноземы уплотняются, теряют в пахотном слое агрономически ценную структуру, одновременно усиливаются минерализация гумуса и вымывание кальция (табл.10).

10. Оценка структурного состояния орошаемых черноземных почв

Период исследования, годы	Содержание агрегатов 0,25-10 мм, % массы воздушно-сухой почвы			
	Сухое просеивание (макроагрегаты)		Мокрое просеивание (водопрочность)	
	Содержание агрегатов 0,25-10 мм, %	Оценка структурного состояния	Содержание агрегатов 0,25-10 мм, %	Оценка структурного состояния
Тяжелосуглинистая почва				
2021-2024	64,3	Хорошее	28,0	Неудовлетворительное
Среднесуглинистая почва				
2021-2024	65,6	Хорошее	30,2	Неудовлетворительное

Чем больше водопрочных агрегатов такого размера содержится в почве, тем она плодороднее, поскольку такие агрегаты определяют наиболее оптимальные для растений водный и воздушный режимы. По оценке структуры почвы, на исследуемых участках с различным гранулометрическим составом состояние макроагрегатов хорошее, однако водопрочность неудовлетворительная.

К общим физическим свойствам почвы относятся: плотность твёрдой фазы почвы, плотность сложения (плотность почвы) и порозность (пористость, скважность) почвы. От этих показателей зависят поглощение влаги, воздухообмен, жизнедеятельность микроорганизмов и развитие корневых систем растений. Черноземы лесостепной и степной зон при промывном режиме орошения теряют устойчивость, применение тяжелой техники приводит к их переуплотнению. Оптимальные значения структурного состояния 10-0,25 мм 60-80%, пористость агрегатов (5-7 мм) – 42-44 % [11].

Результаты исследований подтверждают, что длительное орошение изменяет физическое состояние почв (плотность, пористость, структура), что выступает определяющим фактором развития корневых систем, продуктивности агроценоза и долгосрочной производительной способности земель (табл. 11).

11. Оценка плотности почвы и общей пористости орошаемых черноземных почв на опытных участках выращивания картофеля

Период исследования, годы	Плотность твердой фазы почвы, г/см^3	Плотность почвы, г/см^3	Степень уплотнения пашни	Характеристика растительных свойств	Общая пористость, %	Качественная оценка пористости
Тяжелосуглинистая почва						
2021-2024	2,4	1,39	Средне уплотнена	Влияние на корневые системы незначительное	37	Чрезмерно низкая
Среднесуглинистая почва						
2021-2024	2,4	1,54	Очень сильно уплотнена	Корневая система испытывает угнетение	36	Чрезмерно низкая

В минеральных почвах плотность твёрдой фазы в среднем составляет 2,6–2,8 г/см³, чем выше плотность почвы, тем меньше её пористость, и наоборот. При оптимальной плотности почвы 1,0-1,2 г/см^3 на исследуемых участках она гораздо выше и по оценке степени уплотнения почвы пашни характеризуются: на тяжелосуглинистых почвах 1,39 г/см³ – средне уплотнена, на среднесуглинистых 1,54 г/см³ – очень сильно уплотнена.

При таком уплотнении условия произрастания растений значительно различаются и оказывают влияние на развитие корневой системы: на тяжелосуглинистых почвах с плотностью 1,39 г/см^3 оказывает незначительное влияние, а на среднесуглинистых с плотностью 1,54 г/см^3 корневая система испытывает угнетение. Как отмечалось ранее, на пористость существенно влияет плотность почвы. При выявленной плотности сложения 1,39-1,54 г/см³ общая пористость почв падает до 36-37%, что оценивается чрезмерно низким показателем, лимитирующим их продуктивность.

Заключение. Выявлена общая тенденция к изменению реакции почвенной среды – подщелачиванию обменной кислотности на 0,9 ед. pH и актуальной на 1,1 ед. pH за период наблюдения (2011-2024 г.). Причиной подщелачивания являются большие оросительные нагрузки, состоящие из атмосферных осадков, в основном из оросительных вод, характеризуемых бикарбонатной щелочностью с содержанием гидрокарбонатов 159 мг/дм^3.

Проведенные исследования указывают на невысокую удельную электропроводность с изменением показателя на 0,2 дСм/м в сторону повышения. Установлено засоление при невысоком показателе плотного остатка: не превышает 0,1% – почвы слабозасолены, по химизму засоления относятся к хлоридно-сульфатному типу засоления с участием соды. Длительное орошение проявлялось в ухудшении структурного состояния, снижении содержания обменного кальция на 1,2 ммоль /100 г почвы, росте содержания обменного магния на 0,8 ммоль/100 г, которые оказывают негативное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур.

При оценке структурного состояния почв на исследуемых участках с различным гранулометрическим составом установлено: состав макроагрегатов – хороший, при этом оценка структуры по водопрочности неудовлетворительная. По оценке плотности почвы (по степени уплотнения пашни): на тяжелосуглинистых почвах 1,39 г/см³ – средне уплотнена, на среднесуглинистых 1,54 г/см³ – очень сильно уплотнена. В первые 10–15 лет орошения наблюдаются рост плотности верхнего слоя почвы (например, 0–30 см) и уменьшение пористости. Это может затруднять доступ корней к воде и питательным веществам.

При среднем и сильном уплотнении изменяются растительные свойства почв, которые влияют на корневую систему растений: на тяжелосуглинистых почвах с плотностью 1,39 г/см^3 оказывают незначительное влияние, а на среднесуглинистых с плотностью 1,54 г/см^3 корневая система испытывает угнетение.

В верхних горизонтах орошаемых почв постепенно происходит разрушение почвенной структуры. В сухом состоянии почва растрескивается, во влажном – заплывает, становится вязкой и практически непроницаемой для воды и воздуха. Щелочная вода может сильнее способствовать разрушению структуры почв, тогда как нейтральная вода оказывает менее выраженное воздействие.

Литература

1. *Кирюшин, В. И.* Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель / В. И. Кирюшин // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 871-879.
2. *Панкова, Е. И.* Проблемы засоления и осолонцевания орошаемых почв России / Е. И. Панкова // Почвоведение. – 2015. – № 9. – С. 1134–1145.
3. *Щедрин В. Н.* Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв / В. Н. Щедрин, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова // Мелиорация и гидротехника. – 2018. – №2. – С. 1-21.
4. *Шевченко В.А., Бубер А.Л.* Состояние, проблемы и перспективы использования мелиорированных земель и водных ресурсов в агропромышленном комплексе в условиях климатических рисков// Плодородие. – 2026. – №1. – С. 4-8.
5. *Горбунова Н.С., Куликова Е.В.* Изменение физических и физико-химических свойств чернозема выщелоченного под влиянием дождевального орошения в условиях производственного использования почв свекловичного севооборота / Н. С. Горбунова, Е. В. Куликова // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2017. – №3. – С. 47 – 52.
6. *Кононова, М.М.* Органическое вещество целинных и освоенных почв. – М. Кононова. – М.: Наука, 1972. – 277 с.
7. *Ковда, В. А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1981. – С. 28-79.

8. *Попова Т.В.* О гумусе целинных и орошаемых светлых сероземов северной части Голодной степи // Генезис, география и мелиорация почв Узбекистана. – Ташкент,1972. – С. 94–113.
9. *Лозовский П.С.* Мониторинг гумусового состояния почв Ингулецкой оросительной системы / П. С. Лозовский //Почвоведение. – 2012. – №3.- С. 336-349.
10. *Приходько В. Е.* Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. – М.: Интеллект, 1996. – 168 с.
11. *Шевченко В.А., Бубер А.Л.* Состояние, проблемы и перспективы использования мелиорированных земель и водных ресурсов в агропромышленном комплексе в условиях климатических рисков// Плодородие. – 2026. – №1. – С. 4-8. DOI: 10.25680/S19948603.2026.148.01.

UDK 631.675.2:631.859

THE EFFECT OF LONG-TERM IRRIGATION ON THE DYNAMICS OF PROPERTIES OF CHERNOZEM SOILS OF THE MIDDLE VOLGA REGION

N. M. Trots, V. B. Trots, N. V. Borovkova
Samara State Agrarian University 446442, Samara Region, Ust-Kinelsky Settlement, Uchebnaya Street, 1

The study examines the long-term impact of regular irrigation on the transformation of physicochemical and agrophysical properties of Chernozem soils in the Middle Volga region from 2011 to 2024. A steady trend toward profile alkalinization was revealed: exchangeable acidity increased by 0.9 and actual acidity by 1.1 pH units. Irrigation with bicarbonate waters (HCO_3 – 159 мг/дм³). acts as the leading degradation factor. This poses a potential threat of soda formation and initiates the initial stages of salt regime transformation toward the chloride-sulfate type, although the total dissolved solids (TDS) remain within 0.1%.
Long-term reclamation load provoked negative changes in the soil-adsorbing complex: a deficit of exchangeable calcium (–1.2 mmol/100 g) was noted against the background of magnesium fixation (+0.8 mmol/100 g). The cation imbalance led to the destruction of the aggregate state: while the macroaggregate composition appears visually good, the water stability of the structure is assessed as unsatisfactory. Critical overcompaction of the arable horizon of medium loams is observed (up to 1.54 g/cm³), causing inhibition of crop root systems and deterioration of hydro-physical properties (slaking, low water permeability). To prevent further degradation of agrocenoses, the necessity of irrigation water quality monitoring and the implementation of chemical reclamation to restore soil structure has been substantiated.
Keywords: irrigation, soil degradation, alkalinization, bicarbonate waters, salinization, structural water resistance, soil compaction, water-physical properties