

Почвенно-мелиоративное обоснование и экологическая оценка режима орошения черноземов выщелоченных юга Пензенской области

А. Н. Поршакова[✉], Л. А. Маслова, А. А. Цапина, Д. С. Фадеев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

[✉]E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является научно-практическое обоснование экологически безопасного использования вод местного поверхностного источника для орошения черноземов выщелоченных в условиях юга Пензенской области. **Методы.** В ходе исследований проведен комплексный анализ почв (гранулометрический, агрохимический, физико-химический, оценка засоления) и оросительной воды (минерализация, ионный состав, расчет SAR*). Почвенно-мелиоративная группировка выполнена на основе синтеза полученных данных, а режим орошения рассчитан биоклиматическим методом для озимой пшеницы при 75-процентной обеспеченности осадков. **Научная новизна.** Впервые для склоновых агроландшафтов Муромско-Ломовского прогиба выполнена количественная оценка совместимости свойств почвенного поглощающего комплекса (ППК) легкогоглинистых черноземов с химическим составом местных вод, включая уточненную оценку риска натриевого осолонцевания (SAR*). **Результаты.** Установлено, что исследуемые черноземы легкогоглинистые, среднегумусные (гумус 7,06 %), с высокой емкостью поглощения (ППК > 30 ммоль / 100 г), не засолены и не солонцеваты, что позволило отнести их ко II мелиоративной группе. Качество воды источника соответствует II классу, минерализация составляет 0,61 г/л. Рассчитанный показатель SAR* (2,86) при фактической ППК почв свидетельствует о малой вероятности развития осолонцевания. На этой основе разработан дифференцированный режим орошения озимой пшеницы, включающий 4 полива общей оросительной нормой 185 мм (нетто). **Выводы.** Результаты работы позволяют рекомендовать использование воды из местного пруда для орошения без дорогостоящей предварительной подготовки при условии соблюдения разработанного режима, внесения органических удобрений и организации систематического мониторинга солевого состава почв. Предложенный подход может быть применен для оценки аналогичных проектов в лесостепной зоне.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, орошение, качество воды, натриевое осолонцевание, SAR*, режим орошения, Пензенская область, почвенно-мелиоративная группировка

Благодарности. Авторы выражают признательность за помощь и содействие в проведении научно-исследовательских работ кандидатам экономических наук, доцентам кафедры «Кадастр недвижимости и право» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства М. С. Акимовой и Н. Ю. Карабановой.

Для цитирования: Поршакова А. Н., Маслова Л. А., Цапина А. А., Фадеев Д. С. Почвенно-мелиоративное обоснование и экологическая оценка режима орошения черноземов выщелоченных юга Пензенской области // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1642–1653. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1642-1653>.

Дата поступления статьи: 17.02.2026, **дата рецензирования:** 19.06.2026, **дата принятия:** 17.08.2026.

Soil reclamation substantiation and ecological assessment of the irrigation regime for leached chernozems in the south of the Penza region

A. N. Porshakova[✉], L. A. Maslova, A. A. Tsapina, D. S. Fadeev
Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia
[✉]E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is the scientific and practical justification of the environmentally safe use of water from a local surface source for irrigation of chernozems leached in the south of the Penza region. **Methods.** In the course of the studies, a comprehensive analysis of soils (grain size, agrochemical, physicochemical, salinity assessment) and irrigation water (mineralization, ionic composition, SAR* calculation) was carried out. Soil-reclamation grouping was performed on the basis of the synthesis of the obtained data, and the irrigation mode was calculated by the bioclimatic method for winter wheat with 75 % probability of precipitation. **Scientific novelty.** For the first time for slope agrolandscapes of the Murom-Lomovskiy trough, a quantitative assessment of the compatibility of the properties of the soil absorbing complex (SAC) of light clay chernozems with the chemical composition of local waters was carried out, including an updated risk assessment of sodium salting (SAR*). **Results.** It was found that the studied chernozems are easily clay, medium humus (humus 7.06 %), with a high absorption capacity (SAC > 30 mmol / 100 g), not saline and not solonchic, which made it possible to classify them as II reclamation group. The water quality of the source corresponds to class II, mineralization is 0.61 g/l. The calculated SAR* (2.86) at the actual soil SAC indicates that the development of salinization is unlikely. On this basis, a differentiated winter wheat irrigation regime has been developed, including 4 watering with a total irrigation rate of 185 mm (net). **Conclusions.** The results of the work make it possible to recommend the use of water from a local pond for irrigation without expensive preliminary preparation, subject to compliance with the developed regime, the application of organic fertilizers and the organization of systematic monitoring of the salt composition of soils. The proposed approach can be used to evaluate similar projects in the forest-steppe zone.

Keywords: leached chernozem, irrigation, water quality, sodium solonization, SAR*, irrigation mode, Penza region, soil reclamation grouping

Acknowledgements. The authors express their gratitude for the assistance and support provided during the research to M. S. Akimova and N. Yu. Karabanova, candidates of economic sciences and associate professors at the Department of Real Estate Cadastre and Law of the Penza State University of Architecture and Construction.

For citation: Porshakova A. N., Maslova L. A., Tsapina A. A., Fadeev D. S. Soil and reclamation justification and environmental assessment of the irrigation regime for leached chernozems in the south of the Penza region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1642–1653. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1642-1653>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.02.2026, **date of review:** 19.06.2026, **date of acceptance:** 17.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Взаимосвязь дифференцированного использования природных ресурсов с рентабельностью сельскохозяйственного производства является одним из базовых принципов отечественной агрономии и экономики земледелия [1]. В условиях нарастающей климатической изменчивости, проявляющейся в увеличении повторяемости засушливых периодов и неравномерности выпадения осадков [2; 3], мелиорация становится ключевым фактором обеспечения устойчивости и продуктивности агросистем, особенно в зонах с недостаточным увлажнением.

Наибольшее количество ошибок при проектировании мелиоративных систем допускается в слу-

чаях недостаточного учета почвенных условий, что может привести к неэффективности мероприятий или вторичной деградации земель [4]. Проблема химического состава оросительной воды сегодня выходит далеко за рамки агротехники. На фоне климатических аномалий использование источников с повышенной минерализацией несет скрытую угрозу – провоцирует засоление и, что особенно опасно, натриевое осолонцевание. В итоге почва стремительно теряет свою устойчивость и продуктивность [5].

Среднее Поволжье (в частности, Пензенская область) испытывает острый дефицит влаги в летние периоды, что толкает аграриев на активное применение орошения. Однако ресурсной базой слу-

жат местные водоемы с переменчивым качеством воды, что делает исход оросительных мероприятий непредсказуемым.

Таким образом, существует очевидное противоречие между объективной необходимостью развития орошения для стабилизации растениеводства в регионе и потенциальным риском вызвать вторичную деградацию ценных черноземных почв (засоление, осолонцевание) при использовании водных ресурсов с неидеальным качеством.

Целью исследования является научно-практическое обоснование почвенно-мелиоративной группировки и разработка экологически безопасного режима орошения для черноземов выщелоченных в условиях юга Пензенской области с использованием вод местного поверхностного источника.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- дать комплексную характеристику почвенного покрова и агроклиматических условий проектируемого участка орошения;
- провести оценку качества воды местного источника (пруд на притоке р. Колышлей) по степени опасности развития процессов засоления и осолонцевания;
- выполнить почвенно-мелиоративную группировку территории и оценить потенциальные риски деградации почв при орошении;
- рассчитать и обосновать режим орошения для основной планируемой культуры – озимой пшеницы;
- дать агроэкологическую оценку предлагаемому комплексу мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые для условий склоновых земель Муромско-Ломовского прогиба (юг Пензенской области) проведена комплексная оценка совместимости агрохимических и водно-физических свойств легкоглинистых выщелоченных черноземов с химическим составом воды местного пруда с акцентом на количественную оценку риска натриевого осолонцевания (расчет SAR*). На этой основе разработан дифференцированный режим орошения, направленный не только на компенсацию дефицита влаги, но и на минимизацию вероятности вторичной деградации почвенного плодородия.

Вопросам увлажнения почв и защиты от деградации при поливе мелиораторы и почвоведы уделяют внимание десятилетиями. Обзор этих трудов показывает: исследователи выделяют несколько опорных точек. Именно они легли в основу нашей методологии.

Климат преподносит сюрпризы все чаще. Рост засушливых периодов, сбой сезонных ритмов снижают урожайность [6]. Для нашего региона (а он относится к зоне с повышенными рисками) су-

хость почвы стала привычным фоном. Зерновые культуры оказываются в стрессовых условиях систематически, и это зафиксировано в работах [3; 7; 8]. Орошение в таком раскладе – главный щит от капризов природы [1]. Только есть нюанс, и о нем пишут И. А. Трофимов с соавторами [4]: расширять посевные площади под поливом, не меняя технику, бессмысленно. Ключ к успеху – адаптация. Системы должны «учиться» у местного ландшафта и климатической специфики.

В роли такого адаптера выступает группировка почв – объединение в крупные блоки разрозненных типов, подтипов и разновидностей. Критериями выступают схожесть генетики, агрономических свойств, потенциала плодородия, чтобы при орошении каждая такая группа получила свой режим, щадящий и рациональный.

Как правило, почвенно-мелиоративная группа почв имеет однородные мелиоративные свойства, характер и объем мелиоративных мероприятий, которые должны применяться в орошаемом земледелии. Актуальность детального почвенного картографирования для этих целей подтверждается современными работами, в том числе с применением методов цифрового моделирования [9].

Одним из наиболее серьезных экологических ограничений орошения является риск вторичного засоления и осолонцевания почв, который напрямую зависит от химического состава используемой воды [5]. Для оценки этого риска применяются комплексные методики, включающие определение уровня минерализации и ионного состава, а также расчет интегральных показателей, таких как коэффициент адсорбции натрия (SAR) и его модификацию (SAR*), учитывающую карбонатно-бикарбонатное равновесие [10]. Исследования показывают, что даже при относительно низком уровне общей минерализации воды натриевое осолонцевание может представлять серьезную угрозу, ухудшая физико-химические и водно-физические свойства почвы, особенно в случаях тяжелого гранулометрического состава.

Основой для расчета поливов является принцип поддержания оптимальной влажности в корнеобитаемом слое. Одним из применяемых способов определения потребности сельскохозяйственных культур в воде является биоклиматический метод. Его использование позволяет учитывать изменение водопотребления растений по мере их развития, а также влияние погодных условий. На основании полученных расчетов устанавливаются поливные и оросительные нормы, определяются сроки проведения поливов. Такой подход позволяет обеспечить растения необходимым количеством влаги и одновременно снизить риск возникновения неблагоприятных процессов, в том числе глубинной фильтрации, эрозии почвы и ее переувлажнения [3].

Результативность орошения при этом зависит не только от установленного режима поливов, но и от других агротехнических мероприятий, прежде всего способов обработки почвы и системы внесения удобрений [11].

При оценке устойчивости земледелия в длительной перспективе необходимо учитывать состояние органического вещества почвы (ОВП). Его содержание является одним из показателей, характеризующих уровень плодородия и способность почвы сохранять свои свойства при изменении условий среды. В современных исследованиях особое внимание уделяется динамике органического вещества, а также возможности почв накапливать и удерживать углерод. Для этого применяются различные подходы к моделированию ОВП и оценке потенциала секвестрации углерода почвами исходя из различных внешних факторов [12].

Внедрение адаптивных приемов, таких как прямой посев, использование многолетних трав, сидератов и сохранение растительных остатков, помогает стабилизировать водный режим и делает почву более устойчивой к абиотическим стрессам [13].

Таким образом, анализ литературы свидетельствует о том, что проектирование современных мелиоративных сооружений должно базироваться на комплексном учете почвенно-климатических условий, строгой оценке качества водных ресурсов и применении адаптивных агротехнологий, направленных на сохранение свойств почвы и предотвращение деградации. Настоящее исследование направлено на применение этих принципов для конкретных условий юга Пензенской области, где вопрос обоснованного использования местных во-

дных ресурсов для орошения черноземов остается недостаточно изученным.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились на проектируемом участке орошения, расположенном в южной части Пензенской области и представляющем собой слабосхолмленную равнину с развитой речной и овражно-балочной сетью.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория приурочена к денудационной равнине раннеленоплейстоценового возраста (Q1). Район расположен в пределах надпойменной террасы р. Колышлей и осложнен долиной притока б/н р. Колышлей.

Естественный рельеф территории сохранен. Отмечается уклон поверхности в южном направлении. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 199,47 до 219,14 м.

Макрорельеф соответствует Муромско-Ломовскому прогибу, мезорельеф представлен водоразделом и пологим склоном, микрорельеф – пахотными бороздами. Угодье – пашня.

Климат района умеренно-континентальный. Основные агроклиматические характеристики теплого периода, установленные по среднесезонным данным метеостанции «Пенза» (1990–2019 годы), приведены в таблице 1: продолжительность безморозного периода – 192 сут., сумма температур выше 10 °C – 2810 °C, испаряемость за теплый период – 584 мм, осадки за теплый период – 340 мм, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало теплого периода – 65 мм.

Таблица 1
Основные агроклиматические характеристики теплого периода года
(метеостанция «Пенза», среднее многолетнее)

Показатель	Значение
Высота над уровнем моря, м	160
Продолжительность безморозного периода, сут.	192
Сумма температур воздуха >10 °C, °C	2810
Испаряемость за период $t > 5$ °C, мм	584
Осадки за период $t > 5$ °C, мм	340
Запасы продуктивной влаги на начало теплого периода, мм	65

Table 1
Basic agroclimatic characteristics of the warm period
(meteorological station "Penza", long-term average)

Parameter	Value
Elevation above sea level, m	160
Duration of frost-free period, days	192
Sum of air temperatures above 10 °C, °C	2810
Evaporation during the period with $t > 5$ °C, mm	584
Precipitation during the period with $t > 5$ °C, mm	340
Productive moisture reserves at the beginning of the warm period, mm	65

Таблица 2
Критерии оценки качества оросительной воды (фрагмент, по [15])

Класс воды	Минерализация, г/л (ППК 15–30)	Cl ⁻ , мг-экв/л	Опасность Na-осолонцевания (Ca ²⁺ /Na ⁺)
I	< 0,5	< 2,0	> 2,0
II	0,5–1,0	2,0–4,0	2,0–1,0
III	1,0–1,5	4,0–10,0	1,0–0,5
IV	> 1,5	> 10,0	< 0,5

Table 2
Criteria for assessing the quality of irrigation water (fragment, according to [15])

Water class	Mineralization, g/l (SAC 15–30)	Cl ⁻ , mg-eq/l	The danger of Na-salting (Ca ²⁺ /Na ⁺)
I	< 0.5	< 2.0	> 2.0
II	0.5–1.0	2.0–4.0	2.0–1.0
III	1.0–1.5	4.0–10.0	1.0–0.5
IV	> 1.5	> 10.0	< 0.5

Таблица 3
Оценка вероятности натриевого осолонцевания по величине SAR*

Емкость поглощения почв (ППК), ммоль / 100 г	Вероятность осолонцевания по SAR*		
	Маловероятно	Вероятно	Высокая вероятность
> 30	< 6	6–9	> 9
15–30	< 8	8–16	> 16
< 15	< 16	16–24	> 24

Table 3
Estimation of the probability of sodium salinity based on the SAR* value

Soil absorption capacity (SAC), mmol / 100 g	Probability of salinization according to SAR*		
	Unlikely	Probably	High probability
> 30	< 6	6–9	> 9
15–30	< 8	8–16	> 16
< 15	< 16	16–24	> 24

Методы полевых и лабораторных исследований почв

Почвенно-мелиоративные изыскания проводились с целью получения исходных данных для характеристики почвенного покрова. На участке были заложены почвенные разрезы, отобраны монолиты по генетическим горизонтам и объединенные образцы для лабораторного анализа.

В полевых условиях проведено морфологическое описание почвенных профилей. Лабораторные анализы выполнены по стандартным методикам:

– гранулометрический состав определен пипеточным методом по Качинскому; почвы классифицированы по содержанию физической глины (частицы < 0,01 мм);

– содержание гумуса определено по методу Тюрина в модификации ЦИНАО;

– агрохимические показатели: общий азот – по Кьельдалю, подвижные формы фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O) – по Мачигину и Чирикову соответственно в модификации ЦИНАО;

– физико-химические свойства: pH солевой вытяжки – потенциметрически, гидролитическая

кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО, сумма обменных оснований (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) – по методу Каппена – Гильковица;

– для оценки засоления выполнена водная вытяжка (1 : 5) с последующим определением сухого остатка, анионов (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻) и катионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) в фильтрате.

Методы оценки качества оросительной воды и рисков деградации почв

Качество воды из пруда на притоке р. Колышлей, планируемой для орошения, оценивали по степени опасности развития засоления и осолонцевания почв согласно [10; 14].

В лабораторных условиях определены общая минерализация, ионный состав (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻), общая жесткость и pH.

На основе полученных данных вода отнесена к одному из четырех классов (I–IV) по следующим критериям (таблица 2): минерализация (для почв с разной емкостью поглощения – ППК), опасность хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования.

Таблица 4

Агрохимические и физико-химические свойства черноземов выщелоченных на участке исследований

Глубина, см	Гумус, %	pH (сол.)	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	Сумма обменных оснований, ммоль / 100 г	Гидролитическая кислотность, ммоль / 100 г	ППК, ммоль / 100 г	Насыщенность основаниями, %	Na ⁺ в ППК, ммоль / 100 г
0–20	7,06	6,14	77,0	74,5	28,30	2,67	31,72	91,7	0,10
20–40	5,00	5,77	60,5	70,0	29,25	2,97	31,87	90,5	0,10
40–60	2,30	5,90	33,5	73,5	27,30				

Agrotechnologies

Table 4

Agrochemical and physical-chemical properties of leached chernozems in the research area

Depth, cm	Humus, %	pH of salt extract	P_2O_5 , mg/kg	K_2O , mg/kg	Sum of exchange bases, mmol / 100 g	Hydrolytic acidity, mmol / 100 g	SAC, mmol / 100 g	Saturation of bases, %	Na ⁺ in PPC, mmol / 100 g
0–20	7.06	6.14	77.0	74.5	28.30	2.67	31.72	91.7	0.10
20–40	5.00	5.77	60.5	70.0	29.25	2.97	31.87	90.5	0.10
40–60	2.30	5.90	33.5	73.5	27.30				

Для уточненной оценки риска натриевого осолоднения рассчитан показатель SAR* (Adjusted Sodium Adsorption Ratio) по формуле:

$$SAR* = Na^+ / \sqrt{[(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]},$$

где концентрации ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) скорректированы с учетом равновесия с карбонатами и бикарбонатами и определены по таблицам приложения к работе [10]. Вероятность осолоднения оценена в зависимости от величины SAR* и ППК почв (таблица 3).

Методы почвенно-мелиоративного районирования и расчета режима орошения

Почвенно-мелиоративная группировка выполнена на основе синтеза данных о почвах, рельефе и геологическом строении. Почвы объединены в группы по принципу сходства их генезиса, агрономических свойств, плодородия и требуемого комплекса мелиоративных мероприятий в условиях орошения.

Расчет режима орошения для планируемой культуры (озимая пшеница) выполнен биоклиматическим методом. Исходными данными послужили:

- агроклиматические характеристики района (таблица 1) и среднесезонные декадные данные по температуре, влажности воздуха, скорости ветра и осадкам;

- почвенные параметры: наименьшая влагоемкость (НВ) – 29,1 % от массы, предполивная влажность – 24,2 % от массы, плотность сложения – 1,39 г/см³, динамика нарастания корневой системы;

- фенологические данные по озимой пшенице и ее водопотреблению.

Расчет оросительной нормы проведен как разность между суммарным водопотреблением культуры и природной влагообеспеченностью за вегетацию. Поливные нормы рассчитаны для декад вегетационного периода исходя из дефицита влажности почвы к моменту полива и глубины промачивания. Сроки и частота поливов определены графоаналитическим методом для условий года 75-процентной обеспеченности по осадкам.

Результаты (Results)

Характеристика почвенного покрова и почвенно-мелиоративное районирование

Комплексный анализ почвенного покрова проектируемого участка позволил установить, что он представлен черноземами выщелоченными, среднегумусными, среднесильными, легкоглинистыми. Мощность гумусированной толщи составляет 0,6 м. Почвообразующей породой являются четвертичные аллювиально-делювиальные серовато-коричневые легкие глины.

Детальные лабораторные исследования выявили благоприятные агрохимические и физико-химические свойства почв (таблица 4):

1. Содержание физической глины (< 0,01 мм) составляет 69,7 %, что соответствует легкоглинистой текстуре.

2. Пахотный горизонт (0–20 см) характеризуется высоким содержанием гумуса (7,06 %), относится к среднегумусным. Содержание подвижного фосфора (77,0 мг/кг) и калия (74,5 мг/кг) оценивается как повышенное.

Таблица 5

Сводная оценка качества оросительной воды из пруда на притоке р. Колышлей

Показатель	Значение	Класс качества	Интерпретация
Минерализация, г/л	0,610	II	Допустимая, требует контроля
Cl ⁻ , мг-экв/л	0,82	I	Опасность засоления мала
Ca ²⁺ /Na ⁺	1,55	II	Умеренный риск Na-осолонцевания
Содообразование	1,216	II	Умеренный риск
SAR*	2,86		Осолонцевание маловероятно

Table 5

Summary assessment of irrigation water quality from the pond on the tributary of the Kolysheley river

Indicator	Value	Quality class	Interpretation
Mineralization, g/L	0.610	II	Acceptable, requires monitoring
Cl ⁻ , mEq/L	0.82	I	The danger of salinity is small
Ca ²⁺ /Na ⁺	1.55	II	Moderate risk of Na-salting
Sodation	1.216	II	Moderate risk
SAR*	2.86		Salting is unlikely

3. Реакция среды нейтральная (рН солевой вытяжки 6,14 в пахотном слое) или близкая к нейтральной (рН 5,77–5,90 в нижележащих горизонтах).

4. Сумма обменных оснований в пахотном горизонте составляет 28,30 ммоль / 100 г почвы, емкость поглощения (ППК) – 31,72 ммоль / 100 г. Почвенный поглощающий комплекс насыщен основаниями на 91,7 %. Содержание обменного натрия минимально (0,10 ммоль / 100 г, или 0,35 % от суммы), что позволяет классифицировать почвы как несоленцеватые. Данные водной вытяжки (сухой остаток 0,045–0,079 %) подтверждают отсутствие засоления по всему профилю.

5. Наименьшая влагоемкость (НВ) составляет 29,1 % от массы, что является благоприятным показателем для легкогоглинистых почв. Общая порозность высокая (в среднем 58,2 %), коэффициент фильтрации варьирует от 0,43 до 0,50 м/сут.

На основе полученных данных и с учетом рельефных условий (водораздел и пологий склон) составлена почвенно-мелиоративная карта (рис. 1). Все почвы участка отнесены ко II почвенно-мелиоративной группе. Данная группа объединяет почвы, пригодные для орошения при условии обязательного проведения сопутствующих агрономелиоративных мероприятий, направленных на сохранение и повышение плодородия.

Оценка качества оросительной воды и рисков вторичной деградации

Анализ воды из пруда на притоке р. Колышлей показал, что по химическому составу она является гидрокарбонатной натриево-кальциевой пресной со средней жесткостью (таблица 5).

Классификация по степени опасности развития негативных процессов позволила сделать следующие выводы:

– минерализация воды составляет 0,610 г/л, что соответствует II классу качества для почв с ППК 15–30 ммоль / 100 г;

– опасность хлоридного засоления (Cl⁻ = 0,82 мг-экв/л) и магниевого осолонцевания (Mg²⁺/Mg²⁺+Ca²⁺) = 0,257) оценивается как низкая (I класс);

– показатель содообразования (1,216) и соотношение Ca²⁺/Na⁺ (1,55) соответствуют II классу, указывая на умеренный риск;

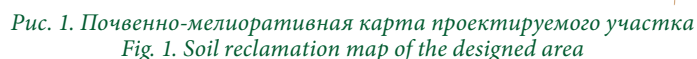
– ключевой для оценки риска натриевого осолонцевания уточненный показатель SAR*, рассчитанный с учетом карбонатного равновесия, составил 2,86. Согласно критериям (таблица 3), для почв с ППК > 30 ммоль / 100 г (фактическое значение 31,7 ммоль / 100 г) такое значение SAR* означает малую вероятность развития натриевого осолонцевания.

Таким образом, вода источника может быть использована для орошения без предварительной водоподготовки, однако требует строгого контроля ее качества и агрохимического мониторинга почв в течение вегетационного периода.

Обоснование режима орошения озимой пшеницы

На основе биоклиматических расчетов для условий среднего по засушливости года (75-процентной обеспеченности) установлено, что для достижения планируемой урожайности озимой пшеницы на исследуемых почвах необходима оросительная норма 185 мм (нетто), что эквивалентно 201 мм (брутто) с учетом потерь воды при поливе.

Данная норма реализуется за 4 полива в критические фазы развития культуры (таблица 6). Поливные нормы дифференцированы в зависимости от глубины корневой системы и водопотребления: от 25 мм на начальных этапах вегетации до 60 мм в период максимального водопотребления (выход в трубку – налив зерна). Для минимизации риска поверхностного стока и эрозии на склоновых землях рекомендовано проводить поливы с нормой более 40 мм за два прохода дождевальными машинами.



Проектный режим орошения озимой пшеницы (год 75-процентной обеспеченности)

Table 6

No. of watering	Watering time	Irrigation norm, mm		Note
		Net	Gross	
1	22.05	25	27	Vegetative – renewal
2	07.06	40	44	Exit to the tube (watering in 2 steps)
3	24.06	60	65	Raking – pouring (watering in 2 steps)
4	17.07	60	65	Milk ripeness (watering in 2 doses)
Total for the season		185	201	

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Отнесение всех почв участка ко II почвенно-мелиоративной группе является закономерным и соответствует общепринятому подходу к классифи-

1649

Дополнительным положительным фактором является отсутствие выраженных признаков солонцеватости и засоления. Содержание обменного натрия составляет менее 0,5 %, а величина сухого остатка находится в пределах 0,08 %. Такие показатели свидетельствуют о невысокой исходной степени риска развития вторичных процессов деградации при орошении.

Вместе с тем водно-физические свойства почв требуют учета при организации поливов. Наименьшая влагоемкость составляет около 29 %, пористость превышает 58 %. Сочетание этих показателей создает достаточно благоприятные условия для накопления влаги и свидетельствует о сохранении удовлетворительного структурного состояния почвы. Однако легкоглинистый гранулометрический состав при несоблюдении установленного режима поливов может способствовать ухудшению водно-физических свойств и уплотнению почвенного профиля. Дополнительным фактором риска может стать использование поливных вод, не соответствующих требованиям к качеству оросительной воды.

В связи с этим в севооборот целесообразно включать многолетние травы и сидеральные культуры [13]. Их использование способствует сохранению и улучшению физического состояния почвы, что особенно актуально при регулярном орошении.

Полученное значение SAR* составляет 2,86. Согласно принятой методике [20], при емкости поглощения почв > 30 ммоль / 100 г и величине SAR* < 6 натриевое осолонцевание почвы маловероятно. Для исследуемого участка величина почвенного поглощенного комплекса в пахотном горизонте составляет 31,72 ммоль на 100 г почвы, а SAR* – 2,86, поэтому по данному показателю натриевое осолонцевание почвы маловероятно.

В соответствии с приведенными расчетами оросительная вода является водой второго класса по минерализации (0,610 г/дм³), первого класса по хлоридному засолению (0,82), первого класса по магниевому осолонцеванию (0,257), второго класса по содообразованию (1,216), второго класса по натриевому осолонцеванию (1,55), при уточненной величине SAR* = 2,86 натриевое осолонцевание почвы маловероятно.

Учитывая вышеизложенное, использование воды из пруда на притоке р. Колышлей возможно без предварительной водоподготовки при строгом контроле ее качества в течение вегетационного периода и контроле агрохимических показателей почвы.

Подобный подход соответствует выводам А. И. Насировой с соавторами [5], отмечающих необходимость постоянного мониторинга при использовании земель в условиях потенциального засоления.

Для участка был разработан режим, предусматривающий четыре полива с общей оросительной нормой 185 мм. Его основная задача заключается в восполнении дефицита влаги, характерного для региона в годы со средней степенью засушливости [7]. Расчет сроков и частоты поливов выполнен графоаналитическим методом.

Схема проведения полива: первый полив проводить расчетной поливной нормой. Последующие поливы проводить за два прохода дождевальной машины нормой за проход, равной $\frac{1}{2}$ расчетной поливной нормы. Это позволяет уменьшить интенсивность поступления воды на поверхность почвы и тем самым снизить вероятность формирования поверхностного стока и водной эрозии. Данное требование особенно актуально в начале вегетационного периода, когда растительный покров еще не полностью сформирован. Кроме того, деление поливной нормы способствует более равномерному распределению влаги в почвенном профиле и позволяет уменьшить ее потери вследствие глубинной фильтрации и поверхностного стока. Такой способ организации полива соответствует принципам рационального использования оросительной воды и снижения нагрузки на почву [16].

Разработанная система мероприятий включает несколько взаимосвязанных этапов: группировку почв по мелиоративным характеристикам, оценку качества оросительной воды, определение режима поливов и разработку агротехнических рекомендаций. Их совместное применение позволяет учитывать не только потребность культуры во влаге, но и возможные изменения состояния почвы в процессе эксплуатации орошаемого участка. Подобный адаптивный подход к организации мелиоративных мероприятий отмечается и в современных исследованиях [1].

Таким образом, проведенная почвенно-мелиоративная оценка и разработка режима орошения для изучаемого участка позволили определить основные условия его дальнейшего использования.

Почвенный покров участка представлен щелочными среднегумусными легкоглинистыми черноземами. Они характеризуются в целом благоприятными агрохимическими показателями: нейтральной реакцией среды, достаточно высоким содержанием гумуса и удовлетворительной обеспеченностью фосфором и калием. Водно-физические свойства также находятся на приемлемом уровне. При этом по результатам химического анализа водной вытяжки признаков засоления и солонцеватости не установлено. Сухой остаток составляет 0,045–0,079 %, содержание обменного натрия – 0,10–0,20 ммоль / 100 г.

С учетом совокупности полученных показателей почвы участка отнесены ко II почвенно-мелиоративной группе. Их использование для орошения

возможно при соблюдении установленных агротехнических и мелиоративных требований.

Исследование воды из местного источника – пруда, расположенного на притоке реки Колышей, – показало, что ее минерализация составляет 0,610 г/л. По химическому составу вода относится к пресным гидрокарбонатным натриево-кальциевым водам.

По совокупности показателей вода отнесена ко II классу с умеренным потенциалом содообразования. Ключевой для прогноза расчетный показатель SAR* составил 2,86. Поскольку фактическая емкость поглощения (ППК) исследуемых черноземов превышает 30 ммоль / 100 г, данное значение SAR* указывает на маловероятность развития натриевого осолонцевания почв при орошении. Таким образом, вода может быть использована без предварительной водоподготовки, но требует строгого периодического контроля химического состава в течение вегетационных сезонов.

Для компенсации дефицита влагообеспеченности в условиях среднего по засушливости года (75-процентной обеспеченности) для озимой пшеницы обоснован режим орошения с оросительной нормой 185 мм (нетто), которая реализуется за 4 полива в критические фазы развития культуры (22.05, 07.06, 24.06, 17.07). Для минимизации рисков поверхностного стока и эрозии на склоновых землях поливы с нормами 40 и 60 мм рекомендовано проводить за два прохода дождевальными машинами. Общий расчетный годовой водозабор для проектируемого участка определен в объеме 251,21 тыс. м³.

В целях обеспечения долгосрочной экологической устойчивости орошаемого агроландшафта и сохранения почвенного плодородия разработан комплекс агромелиоративных мероприятий. В его структуру включены соблюдение севооборота с обязательным присутствием многолетних трав (люцерны) и сидеральных культур; внесение органоминеральных удобрений; систематический мониторинг влажности активного слоя почвы и ее агрохимических параметров. Реализация указанного комплекса нацелена на предотвращение вторичного засоления, осолонцевания, водной эрозии и деградации – процессов, ведущих к деградации почв.

Практическая ценность представленного исследования заключается в разработке конкретного научно обоснованного проекта, позволяющего вовлечь в сельскохозяйственный оборот поверхностный водный источник для целей орошения. Установленный факт пригодности воды без применения дорогостоящих методов предварительной подготовки имеет существенное экономическое значение, снижая пороговые затраты на ввод системы в эксплуатацию.

Полученные результаты и апробированный методический подход обладают потенциалом масштабирования. Они могут быть востребованы при проектировании аналогичных мелиоративных систем на черноземных почвах лесостепной зоны с использованием водных ресурсов малых рек и прудовых хозяйств.

Библиографический список

1. Жученко А. А., Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы): теория и практика: в 3 т. Москва: Агрорус, 2009. 958 с.
2. Ефимов В. М., Речкин Д. В., Гончаров Н. П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. Т. 28, № 2. С. 155–165. DOI: 10.18699/vjgb-24-18.
3. Демакина И. И., Пронько Н. А., Фисенко Б. В., Корсак В. В., Панкова Т. А. О роли водных мелиораций в природных зонах Саратовской области в условиях изменения климата // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 119–138. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-119-138.
4. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Карты агроландшафтно-экологического районирования природных и природно-сельскохозяйственных экосистем Российской Федерации // Поволжский экологический журнал. 2024. № 3. С. 372–382. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-3-372-382.
5. Насирова А. И., Гасанова Т. А., Аскерова Г. Ф., Абасова Н. А. Моделирование электропроводности почвы для устойчивого землепользования в районах, подверженных засолению // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 8. С. 1199–1208. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-08-1199-1208.
6. He L., Cheng L. L., Hu L. L., et al. Deviation from niche optima affects the nature of plant-plant interactions along a soil acidity gradient // Biology Letters. 2016. Vol. 12. Article number 20150925. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0925.
7. Овсянникова Г. В., Попов А. С., Сухарев А. А., Копман И. К., Манукян Ю. В. Влагообеспеченность посевов мягкой и твердой озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 93–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-93-98.
8. Дериглазова Г. М. Влияние климата и погодных условий на динамику урожайности озимой пшеницы в условиях Курской области // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 276–294. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-276-294.

9. Шишконокова Е. А., Аветов Н. А., Чуванов С. В., Жоголев А. В. Цифровое почвенное картографирование заболоченной равнины юга криолитозоны Западной Сибири на основе мультиспектральной спутниковой съемки и наземных исследований // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2025. № 125. С. 6–41. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-6-41.
10. Методика оценки качества вод для орошения сельскохозяйственных культур на черноземах в центрально-черноземных областях. Новочеркасск, 1988. 54 с.
11. Носкова Е. Н., Софронова А. Ю., Светлакова Е. В. Влияние приемов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность озимой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26, № 5. С. 1059–1068. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1059-1068.
12. Семенов В. М., Когут Б. М., Иванов А. Л. Почвенная секвестрация углерода в агроландшафтах: продовольственный императив климатической повестки // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2025. № 124. С. 10–69. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69.
13. Гладышева О. В., Банникова М. И. Урожайность и оценка адаптивности раннеспелых и позднеспелых сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Центрального Черноземья // Аграрная наука. 2021. № 1. С. 129–132. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-344-1-129-132.
14. ГОСТ Р 70568-2022 «Системы и сооружения мелиоративные. Инженерные почвенно-мелиоративные и ботанико-культуртехнические изыскания». Москва: Институт стандартизации, 2023. 32 с.
15. Безднина С. Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. Москва: РОМА, 1997. 185 с.
16. Михайлин А. А. Построение модели движения внутрипочвенной влаги в склоновых обрабатываемых землях // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26, № 1. С. 196–207. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.196-207.
17. Liu Y., Yu D., Su Y., Hao R. Quantifying the effect of trend, fluctuation and extreme event of climate change on ecosystem productivity // Environmental Monitoring and Assessment. 2014. Vol. 186, Iss. 12. Pp. 8473–8486. DOI: 10.1007/s10661-014-4031-z.
18. Han F., Zhang Q., Buyantuev A., et al. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of Inner Mongolia // Journal of Arid Land, 2015. Vol. 7, Iss. 2. Pp. 251–263. DOI: 10.1007/s40333-014-0042-4.
19. Юрова А. Ю., Козлов Д. Н., Холодов В. А., Колчанова К. А. Непрерывная модель качества органического вещества почвы: новые перспективы изучения углеродного цикла в сельскохозяйственном земледелии // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2025. № 124. С. 144–183. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-144-183.

Об авторах:

Анна Николаевна Поршакова, кандидат экономических наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0009-0005-3849-3263, AuthorID 715147. E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Любовь Александровна Маслова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0009-0002-7933-2077, AuthorID 379446. E-mail: maslovaluba@yandex.ru

Антонина Александровна Цапина, аспирант, ассистент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0000-0003-4927-5040, AuthorID 1106802. E-mail: tonya.tsapina@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Фадеев, аспирант, ассистент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-9716-1630, AuthorID 1144297. E-mail: fadeew.dima@mail.ru

References

1. Zhuchenko A. A., Zhuchenko A. A. Adaptive plant production (ecological and genetic foundations): theory and practice: in 3 volumes. Moscow: Agrorus, 2009. 958 p. (In Russ.)
2. Efimov V. M., Rechkin D. V., Goncharov N. P. Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024; 28 (2): 155–165. DOI: 10.18699/vjgb-24-18. (In Russ.)
3. Demakina I. I., Pronko N. A., Fisenko B. V., Korsak V. V., Pankova T. A. The role of hydraulic reclamation in natural zones of Saratov region under climate change. *Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024; 14 (4): 119–138. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-119-138. (In Russ.)

4. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Maps of agrolandscape and ecological zoning of natural and natural-agricultural ecosystems of the Russian Federation. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2024; 3: 372–382. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-3-372-382. (In Russ.)
5. Nasirova A. I., Khasanova T. A., Askerova G. F., Abasova N. A. Modeling of soil electrical conductivity for sustainable land use in salinized areas. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (8): 1199–1208. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-08-1199-1208. (In Russ.)
6. He L., Cheng L. L., Hu L. L., et al. Deviation from niche optima affects the nature of plant-plant interactions along a soil acidity gradient. *Biology Letters*. 2016; 12: 20150925. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0925.
7. Ovsyannikova G. V., Popov A. S., Sukharev A. A., Kopman I. K., Manukyan Yu. V. Moisture supply of the sown winter common and durum wheat. *Grain Economy of Russia*. 2023; 15 (3): 93–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-93-98. (In Russ.)
8. Deriglazova G. M. The influence of climate and weather conditions on the dynamics of winter wheat yield in the Kursk region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025; 15 (3): 276–294. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-276-294. (In Russ.)
9. Shishkonakova E. A., Avetov N. A., Chuvanov S. V., Zhogolev A. V. Digital soil mapping of the boggy plain in the south of the cryolithozone of West Siberia based on multispectral satellite imagery and on-ground soil studies. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2025; 125: 6–41. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-6-41. (In Russ.)
10. *Methodology for assessing the quality of water for irrigation of crops on chernozems in the central chernozem regions*. Novocherkassk, 1988. 54 p. (In Russ.)
11. Noskova E. N., Sofronova A. Yu., Svetlakova E. V. Effect of tillage methods and mineral nutrition levels on winter wheat yield. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025; 26 (5): 1059–1068. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1059-1068. (In Russ.)
12. Semenov V. M., Kogut B. M., Ivanov A. L. Soil carbon sequestration in the agro-landscapes: the food imperative of the climate agenda. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2025; 124: 10–69. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69. (In Russ.)
13. Gladysheva O. V., Bannikova M. I. Productivity and adaptability assessment of early- and latematuring varieties of winter soft wheat in the Central Nonchernozem region. *Agrarian Science*. 2021; (1): 129–132. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-344-1-129-132. (In Russ.)
14. GOST R 70568-2022 “Reclamation systems and structures. Engineering soil-reclamation and botanical-cultural surveys. General provisions”. Moscow: FGBU “Institut standartizatsii”, 2023. 32 p. (In Russ.)
15. Bezdina S. Ya. *Water quality for irrigation: principles and methods of assessment*. Moscow: ROMA, 1997. 185 p. (In Russ.)
16. Mikhaylin A. A. Construction of a model of subsoil moisture movement in cultivated slope lands. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025. 26b (1): 196–207. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.196-207. (In Russ.)
17. Liu Y., Yu D., Su Y., Hao R. Quantifying the effect of trend, fluctuation and extreme event of climate change on ecosystem productivity. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014; 186 (12): 8473–8486. DOI: 10.1007/s10661-014-4031-z.
18. Han F., Zhang Q., Buyantuev A., et al. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of Inner Mongolia. *Journal of Arid Land*. 2015; 7 (2). 251–263. DOI: 10.1007/s40333-014-0042-4.
19. Yurova A. Yu., Kozlov D. N., Kholodov V. A., Kolchanova K. A. Continuous model of soil organic matter quality: new perspectives for studying the carbon cycle in agricultural lands. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2025; 124: 144–183. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-144-183. (In Russ.)

Authors' information:

Anna N. Porshakova, candidate of economic sciences, associate professor, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0009-0005-3849-3263, AuthorID 715147.

E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Lyubov A. Maslova, candidate of agricultural sciences, associate professor, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0009-0002-7933-2077, AuthorID 379446.

E-mail: maslovaluba@yandex.ru

Antonina A. Tsapina, postgraduate, assistant, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0000-0003-4927-5040, AuthorID 1106802. E-mail: tonya.tsapina@mail.ru

Dmitry S. Fadeev, postgraduate, assistant, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-9716-1630, AuthorID 1144297. E-mail: fadeew.dima@mail.ru