

Влияние орошения на температурный режим чернозема

Л. А. Сенькова¹, Л. В. Гринец^{2, 3}✉

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: grinez.larisa@mail.ru

Аннотация. Роль орошаемого земледелия во всем мире все более увеличивается в связи с необходимостью обеспечения роста производства продовольствия в условиях аридизации климата и деградации почвенного покрова. Ресурсный потенциал территории России при современном фундаментальном изменении научно-технологической стратегии требует более глубокого исследования проблем орошения черноземных почв. Глобальное изменение климата в сторону аридизации, недостаточное естественное увлажнение почв требуют исследования влияния орошения на тепловой режим почвы. **Цель исследования** заключается в выявлении воздействия режимов орошения на температурный режим и продуктивность яровой пшеницы первоочередного объекта орошения Северной Кулунды – чернозема южного легкосуглинистого. **Методы.** В микроделяночных опытах испытывались варианты с нижним порогом увлажнения почвы в режимах 80 %, 70 % и 60 % от наименьшей влагоемкости (НВ), с мощностью увлажняемого слоя 40 см, 60, 80 см и с дифференцированной мощностью увлажняемого слоя в зависимости от фазы развития растений. Изучение температурного режима, корневой системы растений проводилось в соответствии с принципами организации и методами стационарного изучения почв. **Научная новизна.** Определены оптимальная глубина (0–40 см) и степень увлажнения чернозема южного легкосуглинистого (НВ-60 % НВ), обеспечивающих в условиях Северной Кулунды благоприятный температурный режим почвы и высокий урожай зерна яровой пшеницы. **Результаты.** Температурный режим чернозема южного легкосуглинистого различается по уровню увлажнения, но остается благоприятным как в течение суток, так и за вегетацию. Увлажнение 0–40 см слоя в диапазоне НВ-70 % НВ и НВ-60 % НВ наиболее оптимально, осуществимо на практике и обеспечивает условно урожай зерна 4,3–4,2 т/га. Для поддержания такого режима влажности почвы требуется 4–7 поливов общей оросительной нормой 1700–2200 м³/га. Наибольшая доля корней пшеницы (62–76 % от общей массы) концентрируется в верхней части почвы.

Ключевые слова: чернозем южный, режимы орошения, глубина увлажнения почвы, степень увлажнения почвы, предполивной порог увлажнения, доступность влаги растениям, температурный режим почвы, корневая система растений.

Для цитирования: Сенькова Л. А., Гринец Л. В. Влияние орошения на температурный режим чернозема // Аграрный вестник Урала. 2022. Специальный выпуск «Биология и биотехнологии». С. 58–68. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-58-68.

Дата поступления статьи: 11.11.2022, **дата рецензирования:** 24.11.2022, **дата принятия:** 02.12.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Устойчивое высокопродуктивное земледелие в степных районах возможно только на основе оптимизации водного режима почв путем регулярного орошения. Поэтому в Федеральной целевой программе (ФЦП) «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 гг.» в качестве причин негативного состояния мелиоративного комплекса выделены компоненты технологической безопасности сельского хозяйства

с мелиоративным земледелием. [1, с. 222]. Были проведены многочисленные и разнообразные исследования: влияние орошения на солеустойчивость почв [2], природной тепловлагообеспеченности и дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур [3], особенностей почв с лимитом увлажнения [4, с. 170], разработка перспективного комплекса технико-технологических средств дождевальной техники для прецизионного орошения [5] и др.

По мнению И. П. Айдарова [6, с. 5], при сохранении существующего состояния земледелия и орошения производство продовольствия к 2030 г. упадет до уровня 1900 г., а состояние сельскохозяйственных угодий ухудшится.

Сокращение водных ресурсов в странах Средней Азии и снижение в связи с этим темпов прироста орошаемых земель обусловили включение в состав важнейших направлений государственной деятельности оросительную мелиорацию. В южных регионах Европы также наиболее ощутимы проблемы, связанные с повсеместным применением орошения. Во всех странах одинаково остро стоит проблема деградации земель, связанная с орошением [7; 8].

Тем не менее роль орошаемого земледелия во всем мире все более увеличивается в связи с необходимостью обеспечения роста производства продовольствия в условиях аридизации климата и деградации почвенного покрова. Ресурсный потенциал территории России при современном фундаментальном изменении научно-технологической стратегии требует более глубокого фундаментального исследования проблемы орошения черноземных почв.

Таким образом, для сохранения биосферы в условиях глобального изменения климата требуется проведение интенсивных исследований комплекса социально-экономических проблем в сельскохозяйственном производстве и лесной промышленности [9, с. 532]. При этом исследователями уже давно подчеркивается необходимость экспериментального выявления рациональной глубины и степени увлажнения черноземных почв при орошении с учетом их генетических особенностей и почвенных режимов и вместе с тем важность строжайшего соблюдения научно-обоснованных режимов орошения сельскохозяйственных культур, управления поливами [10; 11; 12; 13, с. 14].

В практике орошаемого земледелия до сих пор принято рассчитывать поливные нормы, в том числе и для зерновых культур, на слой 0–100 см, 0–90 см, 0–80 см, например, по формуле А. Н. Костякова, без учета свойств почв, особенностей поведения влаги в их профиле, а также иногда и биологических особенностей выращиваемой культуры. Планирование режима орошения сводится к решению управления водным балансом и определению влагозапасов в почве на участке на начало и конец орошаемого расчетного периода. Изменение влагозапасов определяется по уравнению водного баланса на основе эмпирических моделей [14; 15, с. 17; 16; 17].

При таких подходах к технологии орошения почв быстро нарушается их экологическое равновесие. Поэтому в настоящее время исследования рациональных водо- и почвосберегающих технологий орошения становятся особенно актуальными.

Устойчивое высокопродуктивное земледелие в степной зоне Западной Сибири возможно только на основе оптимизации водного режима почв путем регулярного научно обоснованного орошения. Орошение остро необходимо в Кулундинской степи, прежде всего в ее центральных и северных районах, где черноземные зональные почвы имеют легкий гранулометрический состав и, как следствие, малую водоудерживающую способность, весьма неустойчивый, неудовлетворительный для сельскохозяйственных культур водный режим и ограниченные возможности его регулирования агротехническими приемами.

Для обоснования высокоэффективной и, что не менее важно, почвосберегающей технологии орошения в этом специфичном по природно-мелиоративным условиям регионе необходимо знание взаимозависимостей водно-физических свойств, особенностей передвижения и удержания влаги в почве и ее доступности растениям в зависимости от глубины и степени увлажнения почвенного профиля. Наиболее пригодными и перспективными для орошаемого земледелия в Северной Кулунде являются черноземы южные легкосуглинистого гранулометрического состава.

Исследованиями показано, что важнейшим фактором, определяющим урожайность при различных режимах увлажнения при глобальной аридизации климата, является температурный режим почв [18–20].

По температурному режиму черноземы южные Западной Сибири относятся к фации холодных почв. Для них характерны глубокое интенсивное промерзание в зимний период, позднее оттаивание, заканчивающееся в начале мая. Но в летний период черноземы южные, особенно легкосуглинистые, самые теплые среди западносибирских черноземов.

Почвы Северной Кулунды, характеризующиеся лимитом тепло- и влагообеспеченности, интенсивно орошаются, но научно-экспериментальное обоснование рационального использования и охраны черноземов остается недостаточным.

Отмеченные актуальные в научном и практическом отношении вопросы агрофизики черноземов южных Северной Кулунды в связи с их орошением послужили темой исследования.

Цель – изучение воздействия режимов увлажнения на температурный режим чернозема южного легкосуглинистого и продуктивность яровой пшеницы.

Методология и методы исследования (Methods)

Все полевые, лабораторные исследования и статистическая обработка материалов проводились в соответствии с принципами организации и методами стационарного изучения почв [21].

Проведены микроделяночные опыты в условиях Северной Кулунды. Размер каждой делянки

1,05 × 2,0 м. Общая площадь делянки при этом составляет 2,1 м², учетная – 0,49 м². Размещение делянок систематическое; повторность в опыте трехкратная. Метод учета урожая – сплошной. При этом урожай каждой делянки взвешивался и учитывался отдельно.

Испытывались варианты с режимами увлажнения 80 %, 70 % и 60 % от НВ и мощностью увлажняемого слоя 40 см и 60 см, а также глубоким (0–80 см) промачиванием профиля чернозема южного легкосуглинистого, которые характерны для современной практики орошаемого земледелия. Опыт не включал вариант с увлажнением слоя 0–20 см, требующего большого количества поливов. Изучался также вариант с дифференцированной мощностью увлажняемого слоя в зависимости от фазы развития растений. Этот вариант введен в опыт в связи с учетом того, что в начальный период развития сельскохозяйственных культур не следует давать большие нормы полива вследствие слабого развития корневой системы. Поливы проводились вручную водой с температурой 20–23 °С.

Контроль влажности почвы в заданных режимах осуществлялся нейтронным влагомером НИВ-2. Тарировался прибор путем определения влажности и расчета запасов влаги термостатно-весовым методом. Для этого трижды за сезон производились отборы проб для последующего определения влажности почвы.

Температурный режим в слое 0–20 см изучался с использованием срочных, максимальных и минимальных вытяжных почвенных колечатых термометров Савинова, глубже – электротермометром АМ-2М. Корневая система пшеницы исследовалась методом отбора монолитов с последующей ее отмывкой.

Результаты (Results)

Особенности климата и составляющих ландшафта Северо-Кулундинской равнины оказали существенное значение на особенности физических и водных свойств черноземов южных легкосуглинистых, имеющих широкое распространение здесь. Профиль черноземов южных легкосуглинистых сформирован из следующих горизонтов:

A_д (1–3 см) – маломощная дернина;

A (15–25 см) – гумусово-аккумулятивный горизонт, свежий, темно-серый с буроватым оттенком, непрочный-комковатый, рыхлый или слабо уплотненный, переход в следующий горизонт постепенный;

B₁ (15–30 см) – переходный гумусовый, свежий, буровато-серый, комковатый или ореховато-комковатый, уплотненный, переход в следующий горизонт постепенный;

B₂ (18–22 см) – переходный горизонт затеков, влажный, бурый с затеками гумусовых веществ, комковатый, уплотненный, карбонаты мучнистые и в виде белоглазки, переход в следующий горизонт постепенный;

C_к (на глубине от 60 до 100 см) – влажный, палево-бурый, призматический, плотный, карбонаты мучнистые и в виде белоглазки.

Легкий гранулометрический состав почв и почвообразующих пород черноземов южных легкосуглинистых обеспечивает хорошую проницаемость их профиля от легкорастворимых солей. Плотный остаток по профилю почвы в пределах 0,680–0,100 %. Только в почвообразующей породе, за пределами корнеобитаемого слоя, имеется небольшое количество легкорастворимых солей (таблица 1).

Высокая плотность сложения определяется преобладанием крупных фракций гранулометрического состава.

Таблица 1
Свойства чернозема южного

Глубина, см	Частицы < 0,01 мм	Сухой остаток, %	Плотность, г/см ³		Пористость, % от объема	Гумус, %	pH _v
			сложения	твердой фазы			
0–20	27,0	0,100	1,31	2,65	50,5	1,85	6,9
20–50	29,3	0,700	1,49	2,69	44,5	0,75	7,8
50–70	20,7	0,068	1,55	2,70	42,6	0,05	8,2
70 и более	13,8	0,181	1,60	2,70	40,0	–	8,4

Table 1
Properties of southern chernozem

Depth, cm	Particles < 0.01 mm	Dry residue, %	Density, g/cm ³		Porosity, % of volume	Humus, %	pH _e
			additions	solids			
0–20	27.0	0.100	1.31	2.65	50.5	1.85	6.9
20–50	29.3	0.700	1.49	2.69	44.5	0.75	7.8
50–70	20.7	0.068	1.55	2.70	42.6	0.05	8.2
70 and more	13.8	0.181	1.60	2.70	40.0	–	8.4

Общая пористость обеспечивает благоприятное соотношение водной и воздушной фаз по всему профилю почвы.

Содержание гумуса низкое, в гумусово-аккумулятивном горизонте 1,85 %, в переходном горизонте В снижается до 0,75 %, что определяется легким гранулометрическим составом в условиях замедленного биологического круговорота веществ.

Реакция почвенного раствора характерна для зональных почв: в верхних горизонтах нейтральная или близкая к ней, в нижележащих, обогащенных карбонатами, становится щелочной (таблица 1).

Наблюдения за температурой почвы показали, что к началу вегетации почвенный профиль был прогрет до активных температур более +10 °С до глубины 50–60 см, а ко времени проведения первого полива, в конце первой декады июня, на вариантах высокого увлажнения только поверхностный слой 0–20 см прогрелся до температуры более +20 °С, вся глубележащая толща имела температуру от +14 до +18 °С.

Характеризуя в целом температурный режим чернозема южного легкосуглинистого как благоприятный следует отметить, что он несколько различался в зависимости от увлажнения вариантов опыта. В начале периода вегетации, когда еще не сильно проявляется затеняющая роль растений, почвенный профиль в варианте увлажнения НВ-70 % НВ был теплее, чем в варианте с влажностью НВ-90 % НВ.

При режимах увлажнения более глубоких слоев появляются заметные температурные различия. В течение суток значительные колебания температуры охватывают толщу почвы в 30–40 см, ниже остается на уровне среднесуточной.

Наибольшая амплитуда колебаний температуры характерна для поверхности почвы.

Степень увлажнения почвы повлияла и на скорость изменения температуры. В варианте с влажностью НВ-70 % НВ минимум температуры почвы приходится на 2 часа, а при увлажнении в диапазоне НВ-60 % НВ почва охлаждается раньше – в 23 часа. Наиболее быстро нагревается почва с 8 до 11 часов практически независимо от степени увлажнения.

По мере развития растений различия температур в поверхностных слоях почвы в вариантах опыта становятся менее значительными. Закономерность распределения температур ниже 40 см при всех режимах орошения остается одинаковой.

Установлено также, что в периоды похолодания и снижения температуры воздуха температура почвы в верхних слоях выше на 2 градуса в наиболее увлажненных вариантах. Это особенно важно для Западной Сибири в начальный период вегетации растений. Сильнее охлаждается почва при малой степени увлажнения в варианте НВ-60 % НВ. Так, в

фазу восковой спелости пшеницы температура поверхности почвы в ночное время опускалась до +6 °С, в то время как в вариантах с большим увлажнением – до +8...+9 °С.

Таким образом, температурный режим чернозема в июне характеризовался невысокими показателями в слоях почвы глубже 20 см. В течение июля – августа происходило нагревание почвы, но даже в жаркий летний период слои, находящиеся глубже 40 см, не прогревались выше +20 °С. Не происходило излишне высокого перегрева и поверхностных слоев чернозема, что было обусловлено хорошим развитием пшеницы, хотя в отдельные периоды поверхность почвы вслед за резким повышением температуры воздуха нагревалась до +25...+26 °С. В целом в исследованных вариантах увлажнения не замечено негативного влияния температурного режима, создаваемого поливами на черноземе и произрастающие на нем растения, поскольку он был практически одинаковым на всех вариантах опыта. Результаты исследований показали, что самый высокий урожай с наименьшим коэффициентом влагопотребления получен при увлажнении 0–40 см слоя почвы при всех испытываемых степенях увлажнения (таблица 2).

Высоко увлажненный вариант этой серии опыта (НВ-80 % НВ) с глубиной увлажняемого слоя 0–40 см был наиболее продуктивным и дал 340 г зерна на делянку (в условном пересчете 5,3 т/га). Однако он характеризуется большим расходом воды (187 л/делянку или 3000 м³/га) и большим количеством поливов – 15 за вегетацию. Для поддержания режимов влажности почвы в слое 0–40 см в диапазоне НВ-70%НВ и НВ-60 % НВ потребовалось значительно меньше поливов: 7 и 4 соответственно при снижении оросительной нормы на 45 л и 80 л.

Характерно также, что на всех вариантах, предусматривающих увлажнение поливами слоя почвы до глубины 60 см и 80 см, в том числе и сна варианте увлажнения в диапазоне НВ-60 % НВ, урожайность пшеницы была значительно ниже, чем на вариантах, аналогичных по степени увлажнения почвы в слое 0–40 см. причем для поддержания в слоях 0–60 см и 0–80 см поливного режима с высоким порогом предполивной влажности почвы (80 % НВ) неизменно требуются учащенные поливы, неизбежным следствием такого режима являются безвозвратно инфильтрационные потоки влаги. В то же время для поддержания в этих слоях режима увлажнения с низким порогом предполивной влажности почвы (60 % НВ) требуется проведение поливов нормами, превышающими предельно допустимые (прежде всего в эрозионном отношении) значения и практически трудно осуществимыми способами дождевания.

Таблица 2

Влияние глубины и степени увлажнения чернозема южного легкосуглинистого на урожай яровой пшеницы Омская 42 (2019–2021 гг.)

Вариант увлажнения, % НВ	Число поливов	Средняя норма полива	Оросительная норма	Суммарный расход воды	Урожайность		Коэффициент влагопотребления, л/г зерна
		л/делянка			г/делянка	т/га	
Глубина увлажнения – 80 см (контроль)							
60 (к)	2	50,0	100	173	205	3,2	0,84
70	4	37,5	150	223	235	3,7	0,95
80	6	26,5	159	232	234	3,7	0,99
Глубина увлажнения – 60 см							
60 (к)	3	35,7	107	180	186	2,9	0,97
70	5	27,2	136	209	271	3,7	0,77
80	8	20,2	162	235	273	4,2	0,86
Глубина увлажнения – 40 см							
60 (к)	4	26,7	107	181	269	4,2	0,67
70	7	20,3	142	215	279	4,3	0,77
80	15	12,4	187	260	340	5,3	0,76
Глубина увлажнения: до фазы трубкавания – 40 см, после – 60 см							
70	6	22	132	205	279	4,3	0,73
НСР ₀₅					39	0,23	

Table 2

Influence of depth and moisture degree of southern light loamy chernozem for the spring wheat harvest Omskaya 42 (2019 year)

Moisturizing option, % of the smallest moisture capacity	Number of waterings	Average watering rate	Irrigation rate	Total water consumption	Harvest grain		Moisture consumption coefficient, liter/gram grain
		liter/plot			gram/plot	t/ha	
Humidification depth – 80 cm (control)							
60 (c)	2	50.0	100	173	205	3.2	0.84
70	4	37.5	150	223	235	3.7	0.95
80	6	26.5	159	232	234	3.7	0.99
Humidification depth – 60 cm							
60 (c)	3	35.7	107	180	186	2.9	0.97
70	5	27.2	136	209	271	3.7	0.77
80	8	20.2	162	235	273	4.2	0.86
Humidification depth – 40 cm							
60(c)	4	26.7	107	181	269	4.2	0.67
70	7	20.3	142	215	279	4.3	0.77
80	15	12.4	187	260	340	5.3	0.76
Humidification depth: before the piping phase – 40 cm, after – 60 cm							
70	6	22.0	132	205	279	4.3	0.73
LSD ₀₅					39	0.23	

Что касается варианта, в котором от посева до фазы трубкования увлажняли 0–40 см слой в диапазоне НВ-70 % НВ, а в остальной период вегетации в том же диапазоне, но до глубины 60 см, то на нем сформировался такой же урожай зерна (279 г/делянку, или условно 4,3 т/га), как и на варианте с глубиной увлажнения слоя до 40 см в диапазоне увлажнения НВ – 70 % НВ. Эти сравниваемые варианты были близки по числу поливов, оросительной норме, суммарному расходу влаги и коэффициенту водопотребления (таблица 2).

Таким образом, из рассмотренных вариантов микроделяночного опыта по всем водно-балансовым показателям, продуктивности использования влаги пшеницей и ее урожайности выделяется вариант с поддержанием влажности в диапазоне НВ-60 % НВ в слое 0–40 см, как наиболее приемлемый, целесообразный в практическом, в том числе и почвенно-охранном отношении.

Полученные данные показывают, что в черноземе южном легкосуглинистом в слое глубже 40 см влага малоактивна. Вследствие этого очевидно, что проведение дифференцированных поливов на этих почвах Северной Кулунды практически нецелесообразно.

Глубина и степень увлажнения чернозема оказала прямое влияние на развитие корневой системы пшеницы (таблица 3).

Результаты этих наблюдений подтверждают, что при возделывании сельскохозяйственных культур массой и глубиной проникновения можно и нужно управлять, особенно в условиях орошения. Более того, расчет поливных норм рекомендуется вести с учетом мощности слоя наибольшего распространения массы корней и активной их десукции [22; 23, с. 782].

В орошаемом черноземе легкосуглинистом наиболее высокие запасы корней пшеницы сформировались в вариантах увлажнения почвы в диапазоне НВ-80 % НВ (таблица 3).

Основная масса корней пшеницы сосредоточилась в слое 0–20 см, а уже в слое 20–40 см запасы резко уменьшались. На вариантах с увлажнением почвы в диапазоне НВ-60 % НВ масса корней пшеницы в почве, особенно в слое 0–20 см, была заметно меньше, чем в вариантах с повышенной предполивной влажностью почвы. Вместе с тем характерно, что во всех вариантах с заданным увлажнением слоя 0–40 см в верхней его половине концентрировалась наибольшая доля корней растений (до 62–76 % от общей массы).

Таблица 3
Влияние режимов увлажнения на корневую систему яровой пшеницы

Глубина увлажняемого слоя, см	Вариант увлажнения, % НВ	Слой почвы, см	Масса корней		Корни в слое, % от общей массы в профиле
			г/делянка	г/м ²	
80	80	0–20	400	625	52
		20–40	227	355	29
		40–60	100	156	13
		60–80	45	70	6
	60	0–20	282	440	53
		20–40	157	245	30
		40–60	50	78	10
		60–80	37	58	7
60	80	0–20	417	652	52
		20–40	238	373	30
		40–60	146	228	18
	60	0–20	307	480	55
		20–40	161	253	29
		40–60	86	130	16
40	80	0–20	500	783	76
		20–40	157	245	24
	60	0–20	213	330	62
		20–40	128	200	38
Дифференцированный полив	70	0–20	310	480	64
		20–40	122	191	25
		40–60	54	84	11

Table 3
Influence of moisture regimes on the root system of spring wheat

Depth of the moistened layer, cm	Moisturizing option, % of the smallest moisture capacity	Soil layer, cm	Root mass		Roots, % from the mass of roots
			g/plot	g/m ²	
80	80	0–20	400	625	52
		20–40	227	355	29
		40–60	100	156	13
		60–80	45	70	6
	60	0–20	282	440	53
		20–40	157	245	30
		40–60	50	78	10
		60–80	37	58	7
60	80	0–20	417	652	52
		20–40	238	373	30
		40–60	146	228	18
	60	0–20	307	480	55
		20–40	161	253	29
		40–60	86	130	16
40	80	0–20	500	783	76
		20–40	157	245	24
	60	0–20	213	330	62
		20–40	128	200	38
Differentiated irrigation	70	0–20	310	480	64
		20–40	122	191	25
		40–60	54	84	11

Чем больше мощность увлажняемого слоя и выше предполивной порог увлажнения, тем равномернее распределяется корневая система яровой пшеницы. Однако в слое 60–80 см формируется незначительная их доля. Следовательно, увлажнение этого слоя не является эффективным. Вариант с дифференцированным режимом увлажнения почвы не являлся исключением. Основное количество корней (64 %) здесь сосредоточено также в слое 0–20 см. В слое 40–60 см их было всего 11 % от общей массы корней.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Данные микроделяночного опыта показали не только высокую эффективность орошения черноземов южных легкосуглинистых, но и, что особенно важно, позволили обосновать с учетом особенностей поведения и доступности растениям почвенной влаги, основные элементы водо-и почвоохранной технологии орошения. Ими являются рациональная мощность увлажняемого при орошении почвенного слоя, допустимый предел снижения влажности почвы перед поливом и, следовательно, оптимальные нормы вегетационных поливов для яровых зерновых культур.

Установлено, что применительно к черноземам южным легкосуглинистым поливной режим с увлажнением 0–40 см слоя в диапазоне НВ-70 %

НВ и НВ-60 % НВ наиболее оптимальный и реально осуществимый на практике. Урожай зерна при таком увлажнении почвы высокий и составляет 4,2–4,3 т/га. В типичные по атмосферному увлажнению для данной зоны и засушливые годы для поддержания установленного оптимального режима влажности почвы и получения высокого урожая яровых зерновых потребуется 4–7 поливов общей оросительной нормой 1700–2200 м³/га. При таком режиме увлажнения почвенная, в том числе и поливная вода расходуется экономно, о чем свидетельствуют низкие величины коэффициента водопотребления на единицу урожая. При этом инфильтрация поливных вод за пределы слоя 0–40 см не происходит.

В исследованных вариантах увлажнения не замечено негативного влияния температурного режима, создаваемого поливами на чернозем и произрастающие на нем растения, поскольку он был практически одинаковым на всех вариантах опыта. Не происходило излишне высокого перегрева и охлаждения поверхностных слоев почвы.

Наибольшая масса корней пшеницы сформировались во всех вариантах высокого предполивного порога увлажнения (НВ-80 % НВ). Основная масса корней сосредоточена в слое 0–20 см (таблица 3).

Во всех режимах увлажнения наибольшая масса корней формируется в слое 0–20 см. Однако наибольшее их количество в этом слое характерно для вариантов увлажнения 40 см слоя с предположенным порогом увлажнения 60 и 80 % НВ (62–76 % от общего количества).

Библиографический список

1. Угрюмова А. А., Замаховский М. П., Капустина Т. А. Технологическая безопасность сельского хозяйства в регионах с мелиоративным земледелием // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. № 2. С. 221–235.
2. Клименко О. Е., Евтушенко А. П., Клименко Н. И. Изменение солевого состава почв при орошении соленоватыми водами в степном Крыму // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1557–1570.
3. Поддубский А. А., Шуравилин А. В., Сурикова Н. В. Влияние влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Московской области // Природообустройство. 2017. № 2. С. 68–73.
4. Senkova L., Grinets L., Vyatkina G., Tarbeeva D. The soil bank models for information support for the training of agrarian specialists // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture – development strategy". Series: Advances in Intelligent Systems Research (ISPC 2019). Pp. 168–173.
5. Ольгаренко, В. И., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Принципы применения элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения в сельскохозяйственном производстве // Новости науки в АПК. 2018. № 2-2(11). С. 23–26.
6. Айдаров И. П. Проблемы мелиорации земель и водопользования // Природообустройство. 2008. № 2. С. 5–19.
7. Илюшина Т. В. Научные исследования в области искусственного орошения засушливых территорий Средней Азии (конец XIX в. – начало XX в.) // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2019. № 2 (45). С. 34–38.
8. Состояние водных ресурсов Европы (часть четвертая) [Электронный ресурс]. URL: <https://watermagazine.ru/novosti/za-rubezhom/24437-sostoyanie-vodnykh-resursov-evropy-chast-chetvertaya.html> (дата обращения: 18.10.2022).
9. Чугункова А. В., Пыжев А. И., Пыжева Ю. И. Влияние глобального изменения климата на экономику лесного и сельского хозяйства: риски и возможности // Russian Journal of Economics and Law. 2018. № 3 (47). С. 523–537.
10. Апальков А. Ф., Апальков С. А., Погорелов Н. П. Исследования и обоснование расчетных схем процесса впитывания при поливе по бороздам // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 45. С. 54–59.
11. Панфилов В. П., Слесарев И. В., Сеньков А. А. [и др.] Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: ИПА СО РАН, 1988. 256 с.
12. Андреев С. А. Энерго-ресурсосберегающий способ управления поливом // Природообустройство. 2017. № 5. С. 95–101.
13. Senkova L. A., Karpukhin M. Yu. Justification irrigated farming technologies on the example of moistures behavior in soil // International journal of applied and fundamental research. 2016. No. 6. URL: <http://www.science-sd.com/468-25158> (date of reference: 04.11.2022).
14. Терпигорев А. А., Зверьков М. С. Основные методы обоснования рациональных элементов технологии поверхностного полива по бороздам // Экология и строительство. 2017. № 2. С. 25–29.
15. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика расчета поливных норм, обеспечивающих формирование заданных параметров увлажнения почв при капельном поливе // Мелиорация и гидротехника. 2018. № 4 (32). С. 17.
16. Апальков С. А., Апальков А. Ф., Курень С. Г., Марченко Ю. В. Определение оросительной нормы при поливе по бороздам [Электронный ресурс] // ИВД. 2019. № 1 (52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-orositelnoy-normy-pri-polive-po-borozdam> (дата обращения: 08.11.2022).
17. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика расчета поливных норм, обеспечивающих формирование заданных параметров увлажнения почв при капельном поливе [Электронный ресурс] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 4 (32). С. 60–76. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567&id=571> (дата обращения: 08.11.2022).
18. Галимова Р. Г., Горшкова Д. В. Изменчивость агрометеорологических условий территории как фактор сельскохозяйственной эффективности [Электронный ресурс] // Экономика: экономика и сельское хозяйство. 2017. № 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenchivost-agrometeorologicheskikh-usloviy-territorii-kak-faktor-selskohozyaystvennoy-effektivnosti> (дата обращения: 08.11.2022).
19. Goncharov V. M., Lipatov D. N., Tymbaev V. G., Butylkina M. A., Faustova E. V., Mazirov M. A. Principles and methods of complex agrophysical researches // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,

IOP Publishing Bristol, UK, England, 2019. Vol. 368. Article number 012014. Pp. 2–7. DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012014.

20. Belenkov A., Mazirov M., Arefieva V. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // Eurasian Journal of Soil Science, Federation of Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 300–307. DOI: 10.18393/ejss.448593.

21. Принципы организации и методы стационарного изучения почв / Отв. ред. А. А. Роде. Москва: Наука, 1976. 305 с.

22. Най П. Х., Тинкер Н. Б. Давление растворов в системе почва – растение / Пер. с англ. Москва: Колос, 1980. 365 с.

23. Raterya Nader et al. Contribution des reserves profondes du soi au bilan hydrique des cultures. Determination et importance // Agronomit. 1984. Vol. 4. No. 8. Pp. 779–787.

Об авторах:

Лидия Андреевна Сенькова¹, доктор биологических наук, профессор, ORCID 0000-0002-2597-662X, AuthorID 433356; +7 902 500-80-74, senkova_la@mail.ru

Лариса Владимировна Гринец^{2, 3}, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент², старший научный сотрудник³, ORCID 0000-0003-3723-7784, AuthorID 148353; +7 964 241-96-33, grinez.larisa@mail.ru

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Influence of irrigation on the temperature regime of chernozem

L. A. Senkova¹, L. V. Grinets^{2, 3}✉

¹ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: grinez.larisa@mail.ru

Abstract. The role of irrigated agriculture around the world is increasingly increasing due to the need to ensure the growth of food production in the conditions of climate aridity and soil degradation. The resource potential of the territory of Russia with the current fundamental change in the scientific and technological strategy requires a deeper fundamental study of the problems of irrigation of chernozem soils. Global climate change towards aridization, insufficient natural soil moisture requires the study of the effect of irrigation on the thermal regime of the soil. **The purpose of the research** is to study the impact of irrigation regimes on the temperature regime and productivity of spring wheat, the primary object of irrigation of the Northern Kulunda – southern light loamy chernozem. **Methods.** In microplot experiments, variants were tested with a lower moisture threshold of 80 %, 70 %, and 60 % of the lowest moisture capacity (LW) and a wetted layer thickness of 40 cm, 60, 80 cm, and with a differentiated wetted layer thickness depending on the phase of plant development. Methods for studying the temperature regime and the root system of plants are generally accepted. **Scientific novelty.** The optimal depth (0–40 cm) and the degree of moistening of the southern light loamy chernozem (HB-60 % HB) were determined, which ensure a favorable temperature regime of the soil under the conditions of Northern Kulunda and a high yield of spring wheat grain. **Results.** The temperature regime of the southern light loamy chernozem differs in the level of moisture, but remains favorable both during the day and during the growing season. Humidification of the 0–40 cm layer in the range of HB-70 % HB and HB-60% HB is the most optimal, feasible in practice and provides a conditional grain yield of 4.3–4.2 t/ha. To maintain such a regime of soil moisture, 4–7 irrigations are required with a total irrigation rate of 1700–2200 m³/ha, respectively. The largest share of wheat roots (62–76 % of the total mass) is concentrated in its upper part.

Keywords: southern chernozem, irrigation regimes, soil moisture depth, degree of soil moisture, pre-watering moisture threshold, moisture availability to plants, soil temperature regime, plant root system.

For citation: Senkova L. A., Grinets L. V. Vliyanie orosheniya na temperaturnyy rezhim chernozema [Influence of irrigation on the temperature regime of chernozem] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Biology and biotechnologies". Pp. 58–68. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-229-14-58-68. (In Russian.)

Date of paper submission: 11.11.2022, **date of review:** 24.11.2022, **date of acceptance:** 02.12.2022.

References

1. Ugryumova A. A., Zamakhovskiy M. P., Kapustina T. A. Tekhnologicheskaya bezopasnost' sel'skogo khozyaystva v regionakh s meliorativnym zemledeliem [Technological security of agriculture in regions with meliorative farming] // National Interests: Priorities and Security. 2018. Vol. 14. No. 2. Pp. 221–235. (In Russian.)
2. Klimenko O. E., Evtushenko A. P., Klimenko N. I. Izmeneniye solevogo sostava pochv pri oroshenii solonovatyimi vodami v stepnom Krymu [Changes in the salt composition of soils when irrigated with brackish water in the steppe Crimea] // Pochvovedeniye. 2022. No. 12. Pp. 1557–1570. (In Russian.)
3. Poddubskiy A. A., Shuravilin A. V., Surikova N. V. Vliyaniye vlagooobespechennosti na urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Moskovskoy oblasti [Influence of moisture availability on crop yields under Moscow Oblast conditions] // Prirodoobustroystvo. 2017. No. 2. Pp. 68–73. (In Russian.)
4. Senkova L., Grinets L., Vyatkina G., Tarbeeva D. The soil bank models for information support for the training of agrarian specialists // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture – development strategy". Series: Advances in Intelligent Systems Research (ISPC 2019). Pp. 168–173.
5. Ol'garenko, V. I. Printsipy primeneniya elementov tekhnologii tochnogo zemledeliya i pretsizionnogo orosheniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Principles of Application of Elements of Precision Agriculture and Precision Irrigation Technology in Agricultural Production] // Novosti nauki v APK. 2018. No. 2-2 (11). Pp. 23–26. (In Russian.)
6. Aydarov I. P. Problemy melioratsii zemel' i vodopol'zovaniya [Problems of land reclamation and water use] // Prirodoobustroystvo. 2008. No. 2. Pp. 5–19. (In Russian.)
7. Ilyushina T. V. Nauchnyye issledovaniya v oblasti iskusstvennogo orosheniya zasushlivykh territoriy Sredney Azii (konets XIX v. – nachalo XX v.) [Scientific research in the field of artificial irrigation of arid territories of Central Asia (late XIX century – early XX century)] // Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic. 2019. No. 2 (45). Pp. 34–38. (In Russian.)
8. Sostoyaniye vodnykh resursov Evropy (chast' chetvertaya) [State of Europe's water resources (part four)] [e-resource]. URL: <https://watermagazine.ru/novosti/za-rubezhom/24437-sostoyanie-vodnykh-resursov-evropy-chast-chetvertaya.html> (date of reference: 18.10.2022). (In Russian.)
9. Chugunkova A. V., Pyzhev A. I., Pyzheva Yu. I. Vliyaniye global'nogo izmeneniya klimata na ekonomiku lesnogo i sel'skogo khozyaystva: riski i vozmozhnosti [Impact of Global Climate Change on the Forest and Agricultural Economy: Risks and Opportunities] // Russian Journal of Economics and Law. 2018. No. 3 (47). Pp. 523–537. (In Russian.)
10. Apal'kov A. F., Apal'kov S. A., Pogorelov N. P. Issledovaniya i obosnovaniye raschetnykh skhem protsessa vpiyvaniya pri polive po borozdam [Research and justification of calculation schemes of soakage process in furrow irrigation] // Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2019. No. 45. Pp. 54–59. (In Russian.)
11. Panfilov V. P., Slesarev I. V., Sen'kov A. A. et al. Chernozemy: svoystva i osobennosti orosheniya [Black soils: properties and peculiarities of irrigation]. Novosibirsk: IPA SO RAN, 1988. 256 p. (In Russian.)
12. Andreev S. A. Energo-resursosberegayushchiy sposob upravleniya polivom [Energy-saving method of irrigation control] // Prirodoobustroystvo. 2017. No. 5. Pp. 95–101. (In Russian.)
13. Senkova L. A., Karpukhin M. Yu. Justification irrigated farming technologies on the example of moistures behavior in soil // International journal of applied and fundamental research. 2016. No. 6. URL: <http://www.science-sd.com/468-25158> (date of reference: 04.11.2022).
14. Terpigorev A. A., Zver'kov M. S. Osnovnyye metody obosnovaniya ratsional'nykh elementov tekhnologii poverkhnostnogo poliva po borozdam [Basic methods of justification of rational elements of surface furrow irrigation technology] // Ekologiya i stroitel'stvo. 2017. No. 2. Pp. 25–29. (In Russian.)
15. Shtan'ko A. S., Shkura V. N. Metodika rascheta polivnykh norm, obespechivayushchikh formirovaniye zadannykh parametrov uvlazhneniya pochv pri kapel'nom polive [Calculation methodology of irrigation rates, providing the formation of specified parameters of soil moisture during drip irrigation] // Melioratsiya i gidrotekhnika. 2018. No. 4 (32). P. 17. (In Russian.)
16. Apal'kov S. A., Apal'kov A. F., Kuren' S. G., Marchenko Yu. V. Opredeleniye orositel'noy normy pri polive po borozdam [Determination of irrigation rate for furrow irrigation] // IVD [e-resource]. 2019. No. 1 (52). Pp. 1–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-orositelnoy-normy-pri-polive-po-borozdam> (date of reference: 08.11.2022). (In Russian.)

17. Shtan'ko A. S., Shkura V. N. Metodika rascheta polivnykh norm, obespechivayushchikh formirovaniye zadannykh parametrov uvlazhneniya pochv pri kapel'nom polive [Calculation methodology of irrigation rates, providing the formation of specified parameters of soil moisture during drip irrigation] [e-resource] // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii. 2018. No. 4 (32). Pp. 60–76. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567> (date of reference: 08.11.2022) (In Russian.)
18. Galimova R. G., Gorshkova D. V. Izmenchivost' agrometeorologicheskikh usloviy territorii kak faktor sel'skokhozyaystvennoy effektivnosti [Variability of agrometeorological conditions of the territory as a factor of agricultural efficiency] [e-resource] // Aekonomika: ekonomika i sel'skoe khozyaystvo. 2017. No. 2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenchivost-agrometeorologicheskikh-usloviy-territorii-kak-faktor-selskokhozyaystvennoy-effektivnosti> (date of reference: 08.11.2022). (In Russian.)
19. Goncharov V. M., Lipatov D. N., Tymbaev V. G., Butylkina M. A., Faustova E. V., Mazirov M. A. Principles and methods of complex agrophysical researches // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing Bristol, UK, England, 2019. Vol. 368. Pp. 2–7. DOI: 10.1088/1755-1315/368/1/012014.
20. Belenkov A., Mazirov M., Arefieva V. Theoretical and practical aspects of basic soil treatment in the conditions of modern soil management systems in Russia // Eurasian Journal of Soil Science. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 300–307. DOI: 10.18393/ejss.448593.
21. Printsipy organizatsii i metody statsionarnogo izucheniya pochv [Principles of organization and methods of stationary soil research] / A. A. Rode (Ed.). Moscow: Nauka, 1976. 305 p. (In Russian.)
22. Nay P. Kh., Tinker N. B. Davleniye rastvorov v sisteme pochva-rasteniye (perevod s angliyskogo) [Solution pressure in the soil-plant system]. Mpscpw: Kolos, 1980. 365 p. (In Russian.)
23. Raterya Nader et al. Contribution des reserves profondes du soi au bilan hydrique des cultures. Determination et importance // Agronomit. 1984. Vol. 4. No. 8. Pp. 779–787.

Authors' information:

Lidiya A. Senkova¹, doctor of biological sciences, professor, ORCID 0000-0002-2597-662X, AuthorID 433356; +7 902 500-80-74, senkova_la@mail.ru

Larisa V. Grinets^{2,3}, candidate of agricultural sciences, associate professor², senior researcher³, ORCID 0000-0003-3723-7784, AuthorID 148353; +7 964 241-96-33, grinez.larisa@mail.ru

¹ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³ Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia