

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 633.16:631.432.4

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-161-181

Почвенные влагозапасы и водный баланс посевов ячменя ярового на эрозионно опасном склоне

Иван Владимирович Батищев¹, Изида Николаевна Ильинская²

^{1,2}Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

¹nerbat@ya.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8743-6271>

²izidaar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-1622>

Аннотация. Цель: установление влияния способов обработки почвы на величину почвенных влагозапасов, водный баланс и дефицит водопотребления ячменя ярового на эрозионно опасном склоне на черноземах обыкновенных. **Материалы и методы.** В процессе исследований использованы методические подходы С. А. Воробьева, А. Н. Костякова, С. И. Харченко, А. Н. Постникова. Схемой опыта предусмотрено три варианта обработки почвы: отвальная вспашка, безотвальная (чизельная) и комбинированная (щелевание). **Результаты.** В результате исследований выявлено преимущество чизельной основной обработки почвы в части накопления влагозапасов в снеге: на зяби она позволила в среднем аккумулировать на 16,6 % больше воды, чем при отвальной обработке. Исследования показали, что главный расходный компонент водного баланса – суммарное водопотребление ячменя ярового, которое варьировало в процессе вегетации в зависимости от фазы роста и развития культуры и от способа обработки почвы, отмечены различия в запасах продуктивной влаги с преимуществом безотвальных способов обработки почвы. Наибольшие различия наблюдались на дату посева ячменя, в это время превышение по влагозапасам в метровом слое при комбинированной обработке составило 9,9 %, а при чизельной 10,6 % относительно того же показателя при отвальной обработке. **Выводы.** Выявлено, что интенсивность снижения влагозапасов возросла, начиная с фазы колошения, особенно при отвальной обработке. В наиболее продолжительный период от посева до выхода в трубку (97–110 дней) расходуется в среднем примерно 50 % суммарной влаги, от фазы выхода в трубку до колошения и от фазы колошения до молочно-восковой спелости по 20 %, а в последний период от молочно-восковой до наступления полной спелости зерна всего 10 % влаги. В целом за вегетационный период безотвальные обработки позволили снизить дефицит водопотребления ячменя ярового до 4,7–5,4 % по сравнению с контролем, что весьма существенно в условиях дефицита влагообеспеченности, составившего 276 мм за этот период.

Ключевые слова: ячмень яровой, влагозапасы, водный баланс, водопотребление, склон, чернозем обыкновенный

Для цитирования: Батищев И. В., Ильинская И. Н. Почвенные влагозапасы и водный баланс посевов ячменя ярового на эрозионно опасном склоне // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 161–181. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-161-181>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Soil water storage and water balance of spring barley crops on the erosion-hazardous slope

Ivan V. Batishchev¹, Isida N. Ilyinskaya²

^{1,2}Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet, Russian Federation

¹nerbat@ya.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8743-6271>

²izidaar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-1622>

Abstract. Purpose: to determine the influence of soil cultivation methods on the value of soil water storage, water balance and water consumption deficit of spring barley on an erosion-hazardous slope on ordinary chernozems. **Materials and methods.** During the research, the methodological approaches by S. A. Vorobyev, A. N. Kostyakov, S. I. Kharchenko, A. N. Postnikov were used. The experimental design provides for three options of soil cultivation: moldboard plowing, non-moldboard (chiseling) and combined (slotted) plowing. **Results.** As a result of the research, the advantage of chisel primary cultivation was revealed in terms of moisture reserves accumulation in snow: in the fall-plow it allowed accumulating on average 16.6 % more water than with moldboard tillage. Research has shown that the main flow component of water balance is the total water consumption of spring barley, which varied during the growing season depending on the phase of crop growth and development and on the method of soil cultivation; differences in the productive moisture reserves with the advantage of non-moldboard methods of soil cultivation were noted. The greatest differences were observed on the date of barley sowing; at this time, the excess in water storage in the meter layer was 9.9 % with combined tillage and it was 10.6 % with chiseling, relative to the same indicator with moldboard treatment. **Conclusions.** It was found that the intensity of the decrease in water storage rose, starting from the earing phase, especially during moldboard cultivation. In the longest period from sowing to booting (97–110 days), an average of approximately 50 % of the total moisture is consumed, from the booting phase to the earing and from the earing phase to milky-wax ripeness by 20 %, and in the last period from milky-wax ripeness to the complete ripeness of corn is only 10 % moisture. In general, during the growing season, non-moldboard cultivation allowed reducing the water consumption deficit of spring barley to 4.7–5.4 % compared to the control, which is very significant under the conditions of a moisture deficit amounting to 276 mm during this period.

Keywords: spring barley, soil water storage, water balance, water consumption, slope, ordinary chernozem

For citation: Batishchev I. V., Ilyinskaya I. N. Soil water storage and water balance of spring barley crops on the erosion-hazardous slope. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(4):161–181. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-161-181>.

Введение. Лимитирующий фактор для успешного сельскохозяйственного производства в Приазовской зоне Ростовской области – влага. Поэтому одним из важнейших вопросов богарного земледелия в аридной зоне Ростовской области является накопление и экономное ее использование, особенно на склоновых землях. Основным источником резерва почвенной влаги в условиях автоморфного режима почв – атмосферные осадки, выпадающие крайне неравномерно в течение сезона.

В то же время на склоновых землях существует опасность водной эрозии в результате поверхностного стока талых и дождевых вод. В по-

следнее время нарастает проблема деградации земель в Ростовской области, особенно в эрозионно опасных условиях склоновых земель [1].

В формировании величины поверхностного стока большая роль принадлежит показателю водопроницаемости почвы при различных способах ее обработки. В ходе анализа результатов исследований в условиях склона на черноземах обыкновенных способов основной обработки почвы (отвальная, плоскорезная, чизельная, поверхностная) за период более 40 лет установлена зависимость водопроницаемости от способов основной обработки, от проведения обработки до уборки сельскохозяйственной культуры. Выявлено, что максимальный сток талых вод формируется при поверхностной обработке, а минимальный при чизельной. Наибольший смыв почвы провоцирует отвальная вспашка, далее в убывающем порядке – способы обработки, оставляющие на поверхности стерню и растительные остатки: поверхностная, плоскорезная, чизельная [2].

На юге Нечерноземья на склоновых землях проводили исследования, посвященные выявлению закономерностей формирования поверхностного стока талых вод на различных агрофонах. Установлено, что за 1991–2016 гг. слой стока на зяблевой вспашке в среднем составил 4,0 мм, на уплотненной (посевы озимой пшеницы) – в 2 раза больше [3, 4].

По мнению ряда ученых, необходимы системы земледелия, в которых применяются технологии, основанные на обработке почвы без оборота пласта, что способствует решению проблемы защиты почв от дефляции и водной эрозии, снижению поверхностного стока талых вод и весенне-летней засухи за счет накопления зимних осадков [5–7].

Ученые Хорватии при изучении шести способов обработки почвы в севооборотах на склоне пришли к выводу, что риск эрозии может быть использован в качестве надежного показателя устойчивого управления земельными ресурсами и что использование безотвальной обработки почвы или вспашки и посева перпендикулярно преобладающему склону является эффективным методом сохранения почв в этом регионе [8].

В провинции Хэнань (Китай) были проведены эксперименты по изучению влияния обработки почвы на сток и потери почвы со смывом. Применялись методы обработки почвы: сокращенная обработка почвы (с оставлением стерни и возвратом соломы на поле), нулевая обработка почвы (без обработки), рыхление почвы (глубокое рыхление на глубину до 30 см и боронование на 5–8 см) и традиционная обработка почвы (отвальная вспашка на глубину 20 см). Рыхление снизило сток и потери почвы более чем на 50 % по сравнению с традиционной обработкой почвы. Было обнаружено, что рыхление дает самые высокие урожаи. В среднем наблюдался рост урожайности на 11 % по сравнению с обычной обработкой почвы [9].

В богарном земледелии в условиях недостаточного увлажнения актуален вопрос накопления и сохранения влаги в почве. В разных почвенно-климатических условиях используются различные приемы и способы сохранения влаги в почве при возделывании зерновых колосовых культур (озимой пшеницы и ячменя ярового). Изучение водопотребления ячменя ярового на склоне в условиях черноземов обыкновенных показало, что высокий и стабильный урожай зерна достигается при обеспечении влагой в соответствии с потребностями растений. При этом оптимальные условия произрастания ячменя обеспечивает безотвальная (чизельная) основная обработка почвы [10, 11].

Так, при изучении влияния способов основной обработки почвы (чизельной и отвальной) на урожайность ярового ячменя в севообороте после кукурузы на зерно в Приазовской зоне Ростовской области было установлено, что использование чизельной обработки почвы позволяет накопить на 26 % больше осадков, чем на вариантах с отвальной обработкой, сокращает смыв на 11–17 %, повышает урожайность ярового ячменя с 2,50 т/га на естественном уровне питания до 3,72 т/га при внесении повышенных доз удобрений по сравнению с отвальной обработкой [12].

В Волгоградской области на светло-каштановых почвах в 2015–2017 гг. определяли влияние различных способов основной обработки почвы на урожайность ярового ячменя сортов Прерия и Волгоградский 08. Наибольшее количество влаги в почве перед посевом ячменя отмечали на вариантах с чизельным рыхлением, где получена максимальная в опыте урожайность ярового ячменя. В среднем за три года исследований она составила у сорта Прерия 2,58 т/га, у сорта Волгоградский 08 – 2,82 т/га [13].

В засушливых условиях Нижнего Поволжья также показано преимущество безотвальной технологии, способной накапливать и рационально распределять продуктивную влагу в почве, что способствует получению урожая на 2–6 ц/га больше остальных. Коэффициент водопотребления ячменя показывает, что на образование урожая расходуется меньше всего влаги при выращивании по безотвальной обработке [14].

В Центрально-Черноземном районе в результате исследований получены уточнения по расходу влаги яровым ячменем: от посева до выхода в трубку – 25 % от суммарного расхода влаги, от выхода в трубку до колошения – 45 % и от колошения до уборки – около 30 %. Если до колошения растения используют в основном влагу пахотного слоя, то в последующие фазы роста ячмень способен потреблять влагу с глубины почвы до 1 м¹.

В результате обзора научных публикаций по изучаемой проблеме установлено, что вопросы влияния способов основной обработки почвы на водопотребление ячменя ярового и защиту почв от эрозии нуждаются в совершенствовании с учетом конкретных природных условий.

Цель исследований – выявить влияние способов обработки почвы на величину почвенных влагозапасов, водный баланс и дефицит водопотреб-

¹Водный режим почвы и суммарное водопотребление посевов ярового ячменя [Электронный ресурс]. URL: https://studexpo.net/603408/selskoe_hozyaystvo/vodnyy_rezhim_pochvy_summarnoe_vodopotreblenne_posevov_yarovogo_yachmenya (дата обращения: 01.10.2023).

ления ячменя ярового на эрозионно опасном склоне на черноземах обыкновенных.

Материал и методика исследований. Исследования проводились в многофакторном стационарном опыте, расположенном на склоне балки Большой Лог крутизной до 3,5–4° в Аксайском районе Ростовской области, в течение 2020–2022 гг. Стационарный полевой опыт имеет аттестат № 169 Географической сети как длительный, продолжающийся с 1986 г.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке, среднеэродированный. По почвенно-эрозионному районированию район относится к зоне сильной, местами умеренной водной и ветровой эрозии.

Климат Приазовской зоны – засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Среднее многолетнее количество осадков 492 мм, распределение их в течение сезона неравномерное. За весенне-летний период выпадает 260–300 мм атмосферных осадков. Накопление влаги в почве начинается в основном в конце октября, и максимальный ее запас отмечается ранней весной. Сумма активных температур составляет 3210–3400 °С².

Исследуемая культура – яровой ячмень, сорт Медикум 157, размещенный после подсолнечника в севообороте, возделываемый по ресурсосберегающей агротехнологии [15].

Схемой опыта предусмотрено три варианта обработки почвы:

1) отвальная обработка (О) (отвальная вспашка плугом ПС-3+1 на глубину 25–27 см (контроль));

2) чизельная обработка (Ч) тем же плугом с чизельными стойками на ту же глубину;

3) комбинированная обработка (К) осуществлялась дисковой боронной БДТ-3, затем щелерезом ЩН-1 на глубину 40–45 см.

²Агроклиматические ресурсы Ростовской области. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 250 с.

В процессе исследований использованы общеизвестные методики С. А. Воробьева (1971)³, А. Н. Костякова (1957)⁴. Испарение, мм, с поверхности снегового покрова рассчитывали по формуле А. Н. Постникова, 2016 [16]:

$$E_{\text{сн}} = 0,3 \ln \cdot d, \quad (1)$$

где n – число суток с положительной температурой воздуха в периоде, сут;

d – дефицит насыщенного воздуха за те же дни на высоте 2 м, гПа.

Водный баланс зоны аэрации опытного участка на склоне в условиях глубокого залегания грунтовых вод рассчитан по методу С. И. Харченко (1975)⁵ с учетом приходно-расходных составляющих.

Результаты и обсуждение. К приходной части водного баланса относятся атмосферные осадки и расход влаги из почвы, к расходной части – суммарное водопотребление культуры и возможный поверхностный сток талых и дождевых вод. Рассмотрим отдельно каждый параметр составляющих водного баланса посевов ячменя ярового.

Атмосферные осадки. Метеорологические условия периода роста и развития растений ячменя по годам исследований имели определенные отличия. Так, наибольшее количество осадков выпало в 2021 г. (110 мм), а наиболее жарким был 2022 г., где сумма температур составила 1813 °С (таблица 1).

Таблица 1 – Агроклиматические показатели за вегетационный период ячменя ярового, п. Рассвет

Table 1 – Agroclimatic indicators for the growing season of spring barley, Rassvet settlement

Показатель	Год			Среднее
	2020	2021	2022	
Сумма осадков $\sum P$, мм	78	110	94	94
Сумма температур $\sum T$, °С	1640	1627	1813	1693
Гидротермический коэффициент, ГТК	0,48	0,67	0,52	0,55
Коэффициент увлажнения K_y	0,21	0,35	0,22	0,25
Испаряемость E_0 , мм	370	309	430	370
Дефицит увлажнения D , мм	292	199	336	276

³Практикум по земледелию / под ред. С. А. Воробьева. М.: Колос, 1971. 310 с.

⁴Костяков А. Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1957. 750 с.

⁵Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 373 с.

Степень тепловлагообеспеченности характеризуется гидротермическим коэффициентом (ГТК) по методике Г. Т. Селянинова (1972), значение которого в целом за вегетационный период ячменя изменялось от 0,48 до 0,67, что почти вдвое ниже оптимального. Однако в течение вегетационного периода ячменя он изменялся в значительном диапазоне, достигая наименьших значений: в 2020 г. – 0,32 в период всходов – кущения, в 2021 г. – 0,28–0,33 в критический период выхода в трубку – колошения, а в 2022 г. – 0,0–0,02 также в критический период выхода в трубку – колошения – молочно-восковой спелости зерна. Период колошения и формирования зерна характеризовался почти полным отсутствием осадков и высокой среднесуточной температурой воздуха, что негативно влияло на развитие растений. В среднем за три года наблюдался острый дефицит влаги, особенно в критический межфазный период выхода в трубку – колошения – молочной спелости, подтвержденный ГТК = 0,32...0,36.

Наиболее наглядно метеорологические условия показаны на рисунке 1, где представлена испаряемость, атмосферные осадки и дефицит увлажнения как разность между ними. Период вегетации ячменя в течение трех лет исследований характеризовался высокой испаряемостью и дефицитом естественного увлажнения, наибольший из которых (336 мм) наблюдался в самый жаркий 2022 г. с суммой среднесуточных температур 1813 °С и коэффициентом увлажнения $K_y = 0,22$ (рисунок 1).

Таким образом, вегетационный период ячменя в условиях 2020–2022 гг. характеризовался как засушливый. При этом критический период активной вегетации ячменя ярового отмечен высокими значениями среднесуточной температуры воздуха при дефиците атмосферных осадков и неравномерном их распределении, что создавало неблагоприятные условия для формирования продуктивности этой культуры со средним за три года дефицитом увлажнения 276 мм.

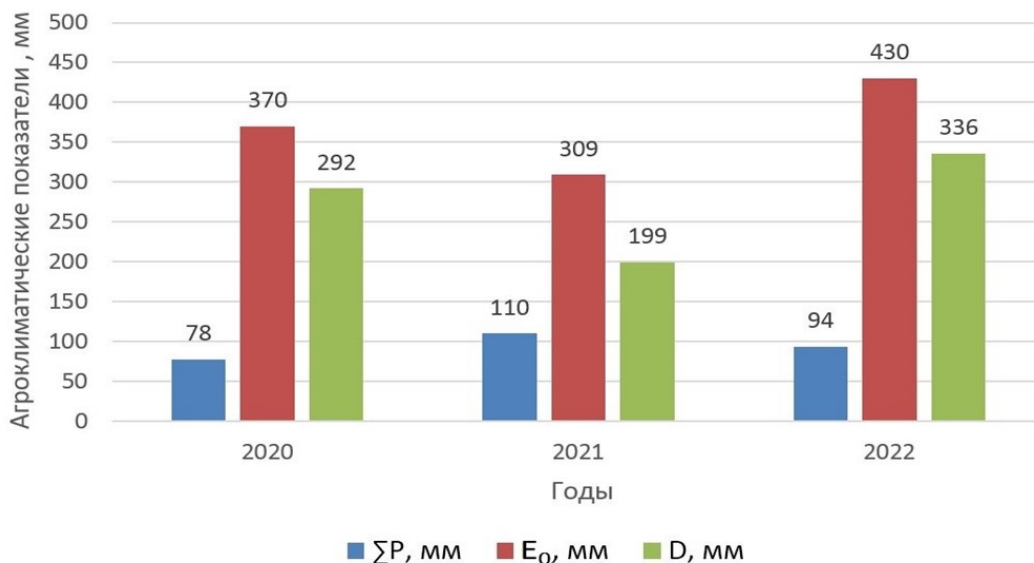


Рисунок 1 – Агроклиматические показатели вегетационного периода ячменя за 2020–2022 гг.

Figure 1 – Agroclimatic indicators of the barley growing season of for 2020–2022

Поверхностный сток воды. Поверхностный сток талых вод формируется в результате весеннего снеготаяния и зависит от высоты снегового покрова и запаса воды в снеге, процесс таяния которого может вызвать сток воды, а вместе с ним и смыв плодородного слоя почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Высота снегового покрова и запасы воды в снеге в зависимости от способа обработки почвы на эрозионно опасном склоне, среднее за 2020–2022 гг.

Table 2 – Height of snow cover and water reserves in snow depending on the method of soil tillage on an erosion-hazardous slope, average for 2020–2022

Способ обработки почвы	Высота снегового покрова, см	Плотность снега, т/м ³	Запас воды в снеге	
			мм	т/га
Чизельная	10,6	0,026	2,7	27,3
Комбинированная	9,9	0,028	2,7	26,6
Отвальная	9,4	0,024	2,3	23,4

На различных вариантах обработки почвы на зяби высота снегового покрова существенно не отличалась и изменялась к концу января в среднем за 2020–2022 гг. от 9,4 см на варианте отвальной обработки до 9,9 мм при комбинированной и до 10,6 см при чизельной. Наибольшая плотность снега

отмечена на варианте комбинированной обработки ($0,028 \text{ т/м}^3$), а наибольшие запасы воды в снеге наблюдались на варианте чизелевания – $27,3 \text{ т/га}$.

В ходе наблюдений выявлено преимущество чизельной основной обработки почвы в части накопления влагозапасов в снеге: на зяби она позволила в среднем аккумулировать на $16,6 \%$ больше воды, чем при отвальной обработке, что имеет большое значение в условиях недостаточного увлажнения.

В период интенсивного снеготаяния при положительной температуре воздуха может испаряться от 5 до 25 мм [6, 16, 17]. В годы исследований температура воздуха в среднем за период снеготаяния составила $5,44$; $6,61$ и $5,95 \text{ }^\circ\text{C}$ с длительностью периода (n) 25 , 15 и 27 дней соответственно. При этом относительная влажность воздуха составила 88 , 90 и 87% , дефицит влажности воздуха (d) $1,11$; $0,97$ и $1,20 \text{ гПа}$, а температура поверхности почвы имела положительные значения: $2,2$; $1,1$ и $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тогда испарение с поверхности снегового покрова (E_{CH}) в период весеннего снеготаяния, рассчитанное по формуле (1) за количество дней с положительной температурой воздуха $t_{\text{в}}$, на эрозионно опасном склоне на черноземах обыкновенных составило в 2020 г. $8,60 \text{ мм}$, в 2021 г. $4,51 \text{ мм}$ и в 2022 г. 10 мм в зависимости от влияющих метеопараметров. Расчет интенсивности испарения снега (I) в период снеготаяния показал изменение значений этой величины по годам в интервале $0,34$; $0,30$ и $0,37 \text{ мм/сут.}$

Для изучения зависимостей испарения снега от максимальной температуры и дефицита влажности воздуха дополнительно привлечены многолетние данные наблюдений лаборатории за 2010 – 2019 гг. Применение корреляционно-регрессионного анализа позволило выявить тесную зависимость испарения с поверхности снега от максимальной температуры воздуха и дефицита его влажности в виде полинома с достоверностью аппроксимации $0,64$ и $0,83$ соответственно (рисунки 2, 3).

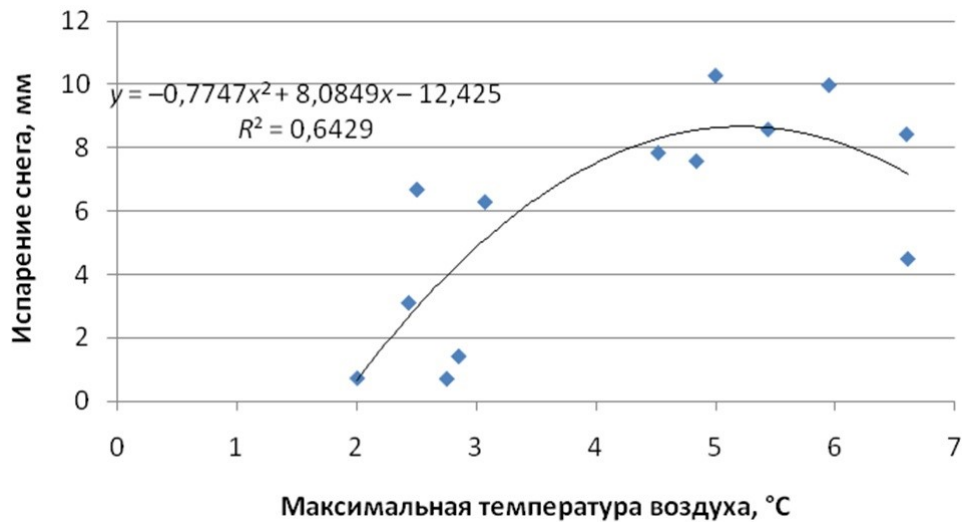


Рисунок 2 – Зависимость испарения снега от максимальной температуры воздуха

Figure 2 – Dependence of snow evaporation on maximum air temperature

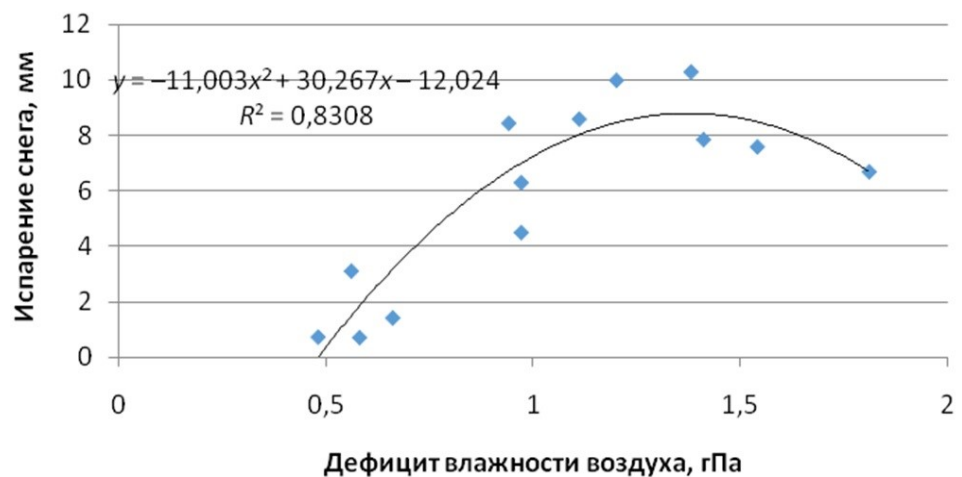


Рисунок 3 – Зависимость испарения снега от дефицита влажности воздуха

Figure 3 – Dependence of snow evaporation on air humidity deficiency

В то же время выявлена высокая степень зависимости интенсивности испарения снега от величины относительной влажности воздуха и наиболее высокая от ее дефицита, что подтверждается очень высокими значениями достоверности аппроксимации $R^2 = 0,96 \dots 0,99$ (рисунок 4).

Таким образом, суммарный запас воды в период интенсивного снеготаяния в зависимости от обработки почвы отличался незначительно и составил всего лишь 2,3–2,7 мм. Выпавшие осадки в виде дождя впитались в почву, чему способствовали положительные значения температуры поч-

вы ($t_{п.} = 1,1 \dots 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$), поэтому в зимне-весенний период 2020–2022 гг. стока и смыва отмечено не было. Однако на данном участке, являющемся эрозийно опасным, возможно проявление водной эрозии в последующие годы.

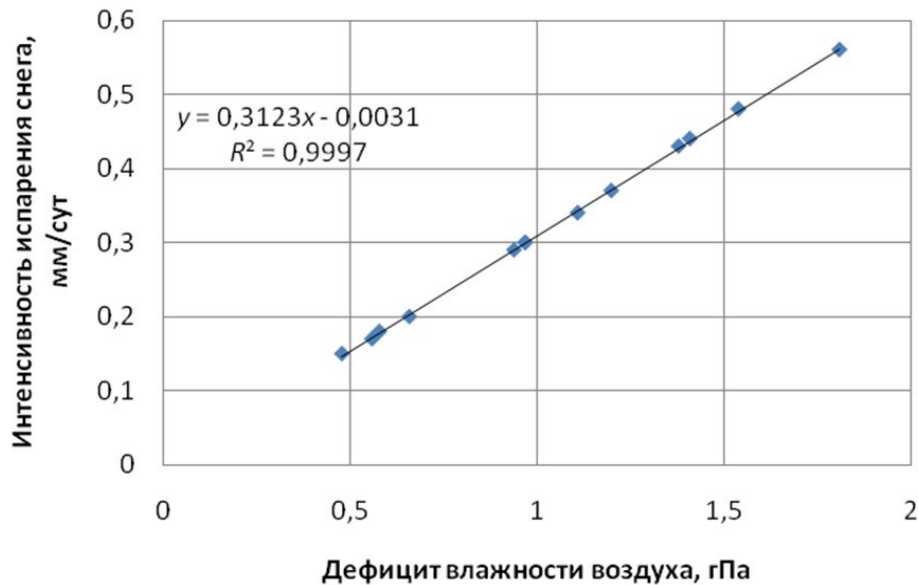


Рисунок 4 – Взаимосвязь между интенсивностью испарения снега и дефицитом влажности воздуха
Figure 4 – Relationship between snow evaporation intensity and air humidity deficiency

Расход влаги из почвы. Оптимальные запасы продуктивной влаги на протяжении всего периода вегетации растений, а особенно в критические фазы, являются определяющим фактором получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в засушливых условиях степной зоны. Дефицит влагообеспеченности в период вегетации растений негативно отражается на формировании урожая.

В условиях проведения исследований естественная влагозарядка почвенного слоя происходит в основном вне периода вегетации. Осадки весенне-летнего периода значительно меньше суммарного расхода влаги на водопотребление растениями, физическое испарение и возможный сток на склоновых землях. Максимум влаги накапливается ранней весной, и обработка почвы и другие приемы должны быть направлены на ее сохранение и эффективное использование.

Перед посевом ячменя почвенные влагозапасы складывались из влаги, накопленной за вневегетационный период, и осадков, выпавших весной. На данный показатель определенное влияние оказывают общий агрофон и способы основной обработки. Анализ полученных данных показал, что применение способов обработки почвы позволило накопить к посеву в среднем до 127–140 мм продуктивной влаги в слое 0–100 см. Количество влаги закономерно возрастало с глубиной слоя почвы: от 12,6–13,8 мм в слое 0–10 см, 37,6–40,8 мм в слое 0–30 см, 63,6–67,8 мм в слое 0–50 см и до 126,7–140,1 мм в метровом слое соответственно (таблица 3).

Таблица 3 – Запасы продуктивной влаги на посевах ячменя ярового при разных способах основной обработки почвы. Среднее за 2020–2022 гг.

В мм

Table 3 – Reserves of productive moisture in spring barley crops under different methods of primary soil cultivation. Average for 2020–2022

In mm

Способ обработки	Слой почвы, см			
	0–10	0–30	0–50	0–100
Посев				
Чизельная	13,7	39,1	67,8	140,1
Комбинированная	13,8	40,8	67,1	139,3
Отвальная	12,6	37,6	63,6	126,7
Выход в трубку				
Чизельная	9,7	25,2	40,8	89,5
Комбинированная	11,2	30,4	48,1	95,5
Отвальная	13,5	26,7	43,0	89,2
Колошение				
Чизельная	5,6	16,8	27,3	62,5
Комбинированная	5,6	17,5	34,0	63,8
Отвальная	5,9	15,1	26,8	62,2
Молочно-восковая спелость				
Чизельная	1,0	3,1	10,2	34,8
Комбинированная	1,3	4,8	10,6	31,8
Отвальная	0,7	2,8	6,7	22,2
Полная спелость				
Чизельная	1,8	4,8	9,3	23,5
Комбинированная	2,1	5,9	9,3	24,0
Отвальная	1,6	3,3	6,3	19,1

При этом наибольший запас продуктивной влаги в метровом слое почвы (140,1 мм) отмечен на варианте с чизельной обработкой (рисунок 5).

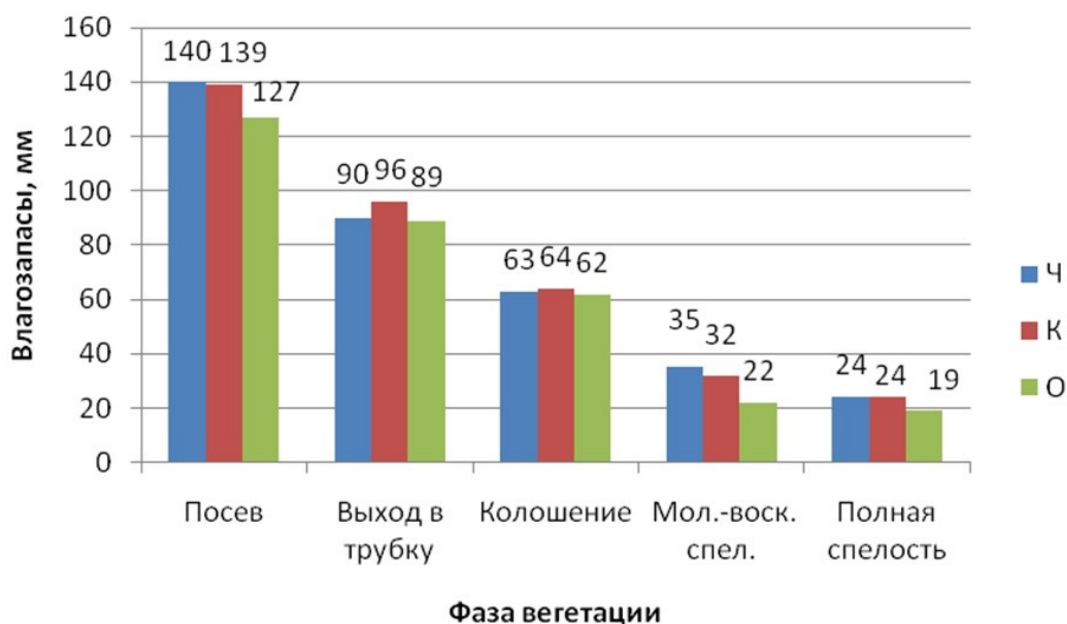


Рисунок 5 – Влагозапасы в метровом слое почвы после различных способов ее основной обработки, мм

Figure 5 – Soil water storage in a meter layer of soil after various methods of its primary soil cultivation, mm

Что касается дальнейшего изменения влагообеспеченности растений, то в начальные фазы вегетации ячмень яровой был достаточно обеспечен влагой, так как в период выхода в трубку отмечались обильные осадки (до 75 мм), а запасы почвенной влаги в слое 1,0 м были в пределах 89,5–95,5 мм. С наступлением фазы колошения усилился расход влаги из нижележащих слоев почвы, где произошло снижение доступных влагозапасов: в слое 0–50 см до 26,8–34,0 мм и в слое 0–100 до 62,2–63,8 мм, или почти на 29,3–37,7 % в сравнении с предыдущим отбором.

Далее при почти полном отсутствии осадков продолжалось снижение доступных влагозапасов, достигшее в фазе молочно-восковой спелости экстремальных значений даже в слое 0–30 см (2,8–4,8 мм) и слое 0–50 см (6,7–10,6 мм). Лишь в метровом слое почвы они сохранились на уровне 22,2–34,8 мм с преимуществом на вариантах безотвальных обработок.

На дату полной спелости зерна на фоне отсутствия активной вегетации растений и минимального выпадения осадков влагозапасы в метровом слое почвы сохранились на уровне 19,1–24,0 мм.

В целом за вегетационный период отмечены различия в запасах продуктивной влаги в зависимости от применявшихся способов основной обработки почвы с преимуществом безотвальных. Наибольшие различия наблюдались на дату посева ячменя, в это время превышение по влагозапасам в метровом слое при комбинированной обработке составило 9,9 %, а при чизельной 10,6 % относительно того же показателя при отвальной обработке. Выявлено, что при вступлении в критическую фазу потребления влаги (колошение) интенсивность снижения влагозапасов возросла, особенно при отвальной обработке.

Главным расходным компонентом водного баланса является суммарное водопотребление ячменя ярового, которое варьировало в процессе вегетации в зависимости от фазы роста и развития культуры и от способа обработки почвы (таблица 4).

Таблица 4 – Водный баланс и водопотребление ячменя ярового, сорт Медикум 157, в зависимости от способа основной обработки почвы, среднее за 2020–2022 гг.

Table 4 – Water balance and water consumption of spring barley, Medicum 157 variety, depending on the method of primary soil cultivation, average for 2020–2022

Основная обработка почвы	Показатель					
	Расход влаги из почвы, мм	Осадки за период, мм	Общий расход влаги, мм	Испаряемость, мм	Дефицит водопотребления, мм	Дефицит влагообеспеченности, мм
1	2	3	4	5	6	7
Посев – выход в трубку						
Чизельная	51	59	110	113	3	54
Комбинированная	44	59	103	113	10	54
Отвальная	38	59	97	113	16	54
Выход в трубку – колошение						
Чизельная	27	10	37	58	21	48
Комбинированная	32	10	42	58	16	48
Отвальная	27	10	37	58	21	48

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3	4	5	6	7
Колошение – молочно-восковая спелость						
Чизельная	28	14	42	96	54	82
Комбинированная	32	14	46	96	50	82
Отвальная	40	14	54	96	42	82
Молочно-восковая – полная спелость						
Чизельная	11	11	22	103	81	92
Комбинированная	8	11	19	103	84	92
Отвальная	3	11	14	103	89	92
За вегетационный период						
Чизельная	117	94	211	370	159	276
Комбинированная	116	94	210	370	160	276
Отвальная	108	94	202	370	168	276

В наиболее продолжительный период от посева до фазы выхода в трубку (97–110 дней) расходуется в среднем примерно 50 % суммарной влаги, от фазы выхода в трубку до фазы колошения и от фазы колошения до фазы молочно-восковой спелости по 20 %, а в последний период, до наступления полной спелости зерна, всего 10 % влаги.

В процессе вегетации наблюдался нарастающий дефицит суммарного водопотребления ячменя ярового от 3–16 мм в период от посева до выхода в трубку, 16–21 мм в период до колошения, 42–54 мм в период до молочно-восковой спелости и до 81–89 мм в период до полной спелости зерна. При этом максимальный дефицит водопотребления отмечен при отвальной основной обработке (кроме периода «колошение – молочно-восковая спелость»). В целом за вегетационный период безотвальные обработки позволили снизить дефицит водопотребления ячменя ярового до 4,7–5,4 %, что весьма существенно в условиях дефицита влагообеспеченности, составившего 276 мм за этот период.

Выводы. Вегетационный период ячменя в условиях 2020–2022 гг. характеризовался как очень засушливый с суммой осадков 94 мм, что почти вдвое ниже нормы. При этом критический период активной вегетации отличался высокими значениями температуры воздуха при дефиците атмо-

сферных осадков, что создавало неблагоприятные условия для формирования урожая культуры с дефицитом увлажнения 276 мм.

Высота снегового покрова на различных вариантах обработки почвы в условиях 2020–2022 гг. находилась в пределах 9,4–10,6 см с большим значением при чизельной обработке почвы. Наибольшее количество воды в снеге накопилось на вариантах комбинированной и чизельной обработки (26,6–27,3 т/га), при отвальной обработке они были на 12–14 % ниже.

Применение корреляционно-регрессионного анализа позволило выявить тесную зависимость величины испарения с поверхности снега и его интенсивности от максимальной температуры воздуха и дефицита его влажности, выраженную достоверностью аппроксимации 0,64–0,83, а для интенсивности испарения – 0,96–0,99 соответственно.

В годы проведения исследований 2020–2022 гг. во время снеготаяния явных признаков водной эрозии на зяби не проявилось, эрозионных процессов в результате стока талых вод не наблюдалось.

В целом за вегетационный период отмечены различия в запасах продуктивной влаги с преимуществом безотвальных способов обработки. Наибольшие различия наблюдались на дату посева ячменя, в это время превышение по влагозапасам в метровом слое при комбинированной обработке составило 9,9 %, а при чизельной 10,6 % относительно того же показателя при отвальной обработке. Выявлено, что интенсивность снижения влагозапасов возросла, начиная с фазы колошения, особенно при отвальной обработке.

В наиболее продолжительный период от посева до фазы выхода в трубку (97–110 дней) расходуется в среднем примерно 50 % суммарной влаги, от фазы выхода в трубку до фазы колошения и от фазы колошения до фазы молочно-восковой спелости по 20 %, а в последний период до наступления полной спелости зерна всего 10 % влаги.

В среднем за вегетационный период суммарное водопотребление ячменя ярового в зависимости от способа основной обработки почвы раз-

личалось незначительно. Однако в целом за вегетационный период безотвальные обработки позволили снизить дефицит водопотребления ячменя ярового до 4,7–5,4 %, что весьма существенно в условиях дефицита влагообеспеченности, составившего 276 мм за этот период.

Список источников

1. Безуглова О. С., Назаренко О. Г., Ильинская И. Н. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2(83). С. 10–15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090.
2. Полуэктов Е. В., Батищев И. В. Мониторинг водопроницаемости и эрозионных процессов при различных способах основной обработки черноземов юга России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 158–173. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1202> (дата обращения: 01.10.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-158-173.
3. Петелько А. И., Барабанов А. Т., Выпова А. В. Весенний сток талых вод на юге Нечерноземья // Земледелие. 2021. № 1. С. 16–19. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10104.
4. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины / А. Т. Барабанов, С. В. Долгов, Н. И. Коронкевич, В. И. Панов, А. И. Петелько // Почвоведение. 2018. № 1. С. 62–69. DOI: 10.7868/S0032180X18010069.
5. Шевченко Д. А., Балакай Г. Т. Формирование поверхностного стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на черноземах обыкновенных в условиях Ставропольского края // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 2(26). С. 19–36. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=313> (дата обращения: 01.10.2023).
6. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.
7. Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т. Влияние изменения климата на юге России на сток талых вод // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 4(40). С. 88–102. URL: <https://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1161> (дата обращения: 01.10.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-88-102.
8. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia / F. Basic, I. Kisic, M. Mesic, O. Nestroy, A. Butorac // Soil & Tillage Research. 2004. Vol. 78, iss. 2. P. 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.007>.
9. Influence of tillage practices on yield, water conservation and soil loss: Results of field experiments in the Eastern Loess Plateau (Henan province, China) / Y. Yao, W. Schiettecatte, J. Lu, Y. Wang, H. Wu, K. Jin, D. Cai, D. Gabriels, R. Hartmann, W. M. Cornelis, M. Baert, T. Buysse // Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions: ISCO 2004 – 13th International Soil Conservation Organisation Conference. Paper No. 233. Brisbane, 2004. 5 p.
10. Рычкова М. И. Влияние способов основной обработки почвы на водопотребление и урожайность ярового ячменя на эрозионно-опасном склоне // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы X Международ. науч.-практ. интернет-конф. 2018. С. 112–116.
11. Рычкова М. И., Ильинская И. Н. Оптимизация основной обработки почвы при возделывании ярового ячменя на эрозионно опасных склонах Ростовской области // Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 3. С. 74–77.

12. Гаевая Э. А. Влияние способов обработки почвы на водно-физические свойства и урожайность ярового ячменя при возделывании на склоновых землях Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 3(31). С. 132–147. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=947> (дата обращения: 01.10.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-132-147.

13. Роль приемов основной обработки почвы при возделывании ярового ячменя / С. И. Воронов, В. П. Зволинский, Ю. Н. Плескачѳв, Н. И. Матвеева, Р. С. Грабов // Земледелие. 2020. № 2. С. 24–26. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10206.

14. Селиванова В. Ю. Влагообеспеченность посевов ячменя при возделывании по классическим технологиям в засушливых условиях Нижнего Поволжья // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция: сб. докл. 3-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых и специалистов с междунар. участием, посвящ. 145-летию со дня рождения Дояренко А. Г., 20–22 марта 2019 г. / ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». Саратов, 2019. С. 190–194. URL: https://www.arisarsar.ru/conference/soil_science-19/Selivanova.pdf (дата обращения: 01.10.2023).

15. Ресурсосберегающая агротехнология возделывания новых сортов ярового ячменя на эрозионно-опасных склонах черноземов обыкновенных / С. А. Тарадин, И. Н. Ильинская, Э. А. Гаевая, Ю. Г. Кузнецов, А. П. Васильченко, Е. Н. Нежинская, М. И. Рычкова, А. В. Мищенко; ФГБНУ «ДЗНИИСХ». п. Рассвет, 2017. 34 с.

16. Постников А. Н. Испарение с поверхности снежного покрова за период его залегания на территории России // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 42. С. 55–63.

17. Калужный И. Л. Особенности испарения со снега при снегонакоплении и снеготаянии // Гидрометеорология и экология. 2022. № 68. С. 422–434. DOI: 10.33933/2713-3001-2022-68-422-434.

References

1. Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N., 2020. *Dinamika degradatsii zemel' v Rostovskoy oblasti* [Land degradation dynamics in Rostov region]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], vol. 26, no. 2(83), pp. 10-15, DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090. (In Russian).

2. Poluektov E.V., Batishchev I.V., 2021. [Monitoring of water permeability and erosion processes with different methods of primary tillage of chernozem in southern Russia]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 158-173, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1202> [accessed 01.10.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-158-173. (In Russian).

3. Petelko A.I., Barabanov A.T., Vypova A.V., 2021. *Vesenniy stok talykh vod na yuge Nechernozem'ya* [Spring runoff of melt water in the south of the Non-Chernozem Region]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 1, pp. 16-19, DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10104. (In Russian).

4. Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petelko A.I., 2018. *Poverkhnostnyy stok i infil'tratsiya v pochvu talykh vod na pashne v lesostepnoy i stepnoy zonakh Vostochno-Yevropeyskoy ravniny* [Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 1, pp. 62-69, DOI: 10.7868/S0032180X18010069. (In Russian).

5. Shevchenko D.A., Balakai G.T., 2017. [Formation of surface runoff of melt water from loose and compacted arable land on ordinary chernozems in Stavropol Territory]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(26), pp. 19-36, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=313> [accessed 01.10.2023]. (In Russian).

6. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Poluektov E.V., Balakay N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyaemogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya* [The Conditions of Formation of Surface Runoff. A Forecast of

the Caused Damage. Compensatory Reclamation Measures]. Novocherkassk, RosNIIPM, 450 p. (In Russian).

7. Poluektov E.V., Balakai G.T., 2020. [Impact of climate change on the meltwater runoff in the south of Russia]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(40), pp. 88-102, available: <https://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1161> [accessed 01.10.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-88-102. (In Russian).

8. Basic F., Kistic I., Mesic M., Nestroy O., Butorac A., 2004. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, vol. 78, iss. 2, pp. 197-206, <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.007>.

9. Yao Y., Schiettecatte W., Lu J., Wang Y., Wu H., Jin K., Cai D., Gabriels D., Hartmann R., Cornelis W.M., Baert M., Buysse T., 2004. Influence of tillage practices on yield, water conservation and soil loss: Results of field experiments in the Eastern Loess Plateau (Henan province, China). *Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions: ISCO 2004 – 13th International Soil Conservation Organization Conference*. Paper no. 233. Brisbane, 5 p.

10. Rychkova M.I., 2018. *Vliyanie sposobov osnovnoy obrabotki pochvy na vodopotreblenie i urozhaynost' yarovogo yachmenya na erozionno-opasnom sklone* [The influence of primary soil cultivation methods on water consumption and spring barley yield on an erosion-hazardous slope]. *Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK: materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* [Scientific and Information Support for Innovative Development of the Agro-Industrial Complex: Proc. of the X International Scientific-Practical Internet Conference], pp. 112-116. (In Russian).

11. Rychkova M.I., Ilyinskaya I.N., 2018. *Optimizatsiya osnovnoy obrabotki pochvy pri vozdeleyvanii yarovogo yachmenya na erozionno opasnykh sklonakh Rostovskoy oblasti* [Optimization of primary soil cultivation of spring barley on eroded slopes in Rostov region]. *Izvestiya Orenburgskogo GAU* [Bull. of Orenburg State Agrarian University], no. 3, pp. 74-77. (In Russian).

12. Gaevaya E.A., 2018. [The tillage methods influence on the water-physical properties and spring barley yield when cultivated on slope lands in Rostov region]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(31), pp. 132-147, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=947> [accessed 01.10.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-132-147. (In Russian).

13. Voronov S.I., Zvolinsky V.P., Pleskachev Yu.N., Matveeva N.I., Grabov R.S., 2020. *Rol' priemov osnovnoy obrabotki pochvy pri vozdeleyvanii yarovogo yachmenya* [The role of primary cultivation techniques in the spring barley cultivation]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 2, pp. 24-26, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10206. (In Russian).

14. Selivanova V.Yu., 2019. *Vlagoobespechennost' posevov yachmenya pri vozdeleyvanii po klassicheskim tekhnologiyam v zasushlivykh usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya* [Moisture availability of barley crops when cultivated by classical technologies under arid conditions of the Lower Volga region]. *Ekologiya, resursosberezhenie i adaptivnaya selektsiya: sbornik dokladov 3-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashch. 145-letiyu so dnya rozhdeniya Doyarenko A. G.* [Ecology, Resource Saving and Adaptive Selection: Proc. of the 3rd All-Russian scientific-practical Internet conference of young scientists and specialists from international participation, dedicated to the 145th anniversary of the birth of Doyarenko A.G.]. Agricultural Research Institute of South-East Region, Saratov, pp. 190-194, available: https://www.arisersar.ru/conference/soil_science-19/Selivanova.pdf [accessed 01.10.2023]. (In Russian).

15. Taradin S.A., Ilyinskaya I.N., Gaevaya E.A., Kuznetsov Yu.G., Vasilchenko A.P., Nezhinskaya E.N., Rychkova M.I., Mishchenko A.V., 2017. *Resursosberegayushchaya agrotekhnologiya vozdeleyvaniya novykh sortov yarovogo yachmenya na erozionno-opasnykh sklonakh chernozemov obyknovennykh* [Resource-Saving Agricultural Technology for Culti-

vating New Varieties of Spring Barley on Erosion-Hazardous Slopes of Ordinary Chernozems]. FSBSI “DZNIISH”, settl. Rassvet, 34 p. (In Russian).

16. Postnikov A.N., 2016. *Isparenie s poverkhnosti snezhnogo pokrova za period yego zaleganiya na territorii Rossii* [Evaporation from the surface of snow cover for the period of its occurrence on the territory of Russia]. *Uchenye zapiski RGGMU* [Scientific Notes of RGGMU], no. 42, pp. 55-63. (In Russian).

17. Kalyuzhny I.L., 2022. *Osobennosti ispareniya so snega pri snegonakoplenii i snegotayanii* [Specific features of evaporation from the snow cover under snow accumulation and snow melting]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and Ecology], no. 68, pp. 422-434, DOI: 10.33933/2713-3001-2022-68-422-434. (In Russian).

Информация об авторах

И. В. Батищев – младший научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация, nerbat@ya.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8743-6271>, Author ID: 1047740;

И. Н. Ильинская – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация, izidaar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-1622>, Author ID: 331396.

Information about the authors

I. V. Batishchev – Junior Researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet, Russian Federation, nerbat@ya.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8743-6271>, Author ID: 1047740;

I. N. Ilyinskaya – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet, Russian Federation, izidaar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7876-1622>, Author ID: 331396.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.10.2023; одобрена после рецензирования 15.11.2023; принята к публикации 15.11.2023.

The article was submitted 04.10.2023; approved after reviewing 15.11.2023; accepted for publication 15.11.2023.