

Сравнительная оценка урожайности зерновых культур в зависимости от лимитирующих факторов в условиях почвозащитного земледелия

Д. В. Митрофанов[✉]

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

[✉]E-mail: dvm.80@mail.ru

Аннотация. Цель работы – выявить влияние лимитирующих факторов на повышение урожайности зерновых культур в севооборотах и плодородия почвы в условиях склонового ландшафта. В ходе исследования были использованы следующие методы: полевой, Косырева, термостатно-весовой, ионметрический, Мачигина, Тюрина, количественный, балансовых расчетов урожайности. **Научная новизна.** Впервые оценена урожайность полевых культур в зернопаровых севооборотах от влияния метеорологических условий, влаги, подвижных форм питательных веществ, гумуса, всходов и засоренности посевов в засушливых условиях Оренбургского Зауралья. **Результаты.** В результате исследований (2021–2023 гг.) выявлено, что за вегетационный период (май – август) среднемесячная температура воздуха (18,6 °С) и число суховейных дней (76) неблагоприятно влияют (55,85 и 67,50 %) на урожайность (1,00 т/га) ячменя в нижней части склона. В верхней и средней частях склона отрицательно воздействуют (56,75 и 64,45 %) суховейные дни на урожай (1,44 и 1,20 т/га) ячменя. Выпавшие осадки в виде дождя (116 мм) за период вегетации благоприятно влияют (53,05 %) на урожайность (1,34 т/га) твердой пшеницы в средней части склона. Весенние запасы влаги (152,1 мм) в метровом слое почвы положительно воздействуют (75,15 %) на урожайность (1,30 т/га) мягкой пшеницы в верхней части склона. Увеличение урожайности твердой пшеницы (1,45 т/га) и ячменя (1,44 т/га) в верхней части склона происходит за счет влияния (72,30 и 56,05 %) содержания (4,7 и 4,1 мг / 100 г) фосфора в пахотном слое почвы к концу вегетации. В средней и нижней частях склона урожайность мягкой пшеницы (1,20 и 1,10 т/га) зависит от воздействия (65,50 и 54,01 %) остаточного содержания (4,7 и 4,4 мг / 100 г) фосфора. Применение агротехнических почвозащитных приемов повышает урожайность зерновых культур в севооборотах и плодородия почвы на склоне, особенно на верхней части.

Ключевые слова: метеорологические условия, продуктивная влага, формы питательных веществ, содержание гумуса, число всходов, засоренность посевов, урожайность зерна, зерновая культура, часть склона, предшественник севооборота

Благодарности. Научно-исследовательская работа выполнена в рамках государственного задания Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук в соответствии с тематическим планом на 2022–2024 гг. (№ FNWZ-2022-0014).

Для цитирования: Митрофанов Д. В. Сравнительная оценка урожайности зерновых культур в зависимости от лимитирующих факторов в условиях почвозащитного земледелия // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 07. С. 870–884. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-870-884>.

Дата поступления статьи: 04.04.2024, **дата рецензирования:** 02.05.2024, **дата принятия:** 22.05.2024.

Comparative assessment of the yield of grain crops depending on limiting factors in the conditions of soil conservation agriculture

D. V. Mitrofanov✉

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉E-mail: dvm.80@mail.ru

Abstract. The purpose of work is to identify the influence of limiting factors on increasing the yield of grain crops in crop rotations and soil fertility in a sloping landscape. The following methods were used during the study: field, Kosyrev, thermostatic-weight, ionometric, Machigin, Tyurin, quantitative, balance calculations of yield. **Scientific novelty.** For the first time, the yield of field crops in grain-steam crop rotations was estimated from the influence of meteorological conditions, moisture, mobile forms of nutrients, humus, seedlings and weed infestation in the arid conditions of the Orenburg Trans-Urals. **Results.** As a result of research (2021–2023), it was revealed that during the growing season (May – August), the average monthly air temperature (18.6 °C) and the number of dry days (76) adversely affect (55.85 and 67.50 %) the yield (1.00 t/ha) of barley in the lower part of the slope. In the upper and middle parts of the slope, dry days (56.75 and 64.45 %) negatively affect the yield (1.44 and 1.20 t/ha) of barley. Precipitation in the form of rain (116 mm) during the growing season has a beneficial effect (53.05 %) on the yield (1.34 t/ha) of durum wheat in the middle part of the slope. Spring moisture reserves (152.1 mm) in a meter layer of soil have a positive effect (75.15 %) on the yield (1.30 t/ha) of soft wheat in the upper part of the slope. The increase in yield (1.45 t/ha) of durum wheat and (1.44 t/ha) of barley in the upper part of the slope is due to the influence of (72.30 and 56.05 %) phosphorus content (4.7 and 4.1 mg / 100 g) in the arable soil layer by the end of the growing season. In the middle and lower parts of the slope, the yield of soft wheat (1.20 and 1.10 t/ha) depends on the effect (65.50 and 54.01 %) of the residual content (4.7 and 4.4 mg / 100 g) of phosphorus. The use of agrotechnical soil protection techniques increases the yield of grain crops in crop rotations and soil fertility on the slope, especially on the upper part.

Keywords: meteorological conditions, productive moisture, forms of nutrients, humus content, number of shoots, weediness of crops, grain yield, grain culture, part of the slope, predecessor of crop rotation

Acknowledgements. The research work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences in accordance with the thematic plan for 2022–2024 (No. FNWZ-2022-0014).

For citation: Mitrofanov D. V. Comparative assessment of the yield of grain crops depending on limiting factors in the conditions of soil conservation agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (07): 870–884. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-870-884>. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.04.2024, **date of review:** 02.05.2024, **date of acceptance:** 22.05.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Оренбургская область – один из регионов России по производству зерновой продукции в условиях склонового ландшафта. Основным звеном в системе контурно-ландшафтного земледелия является севооборот. В резко континентальных климатических условиях степной зоны Оренбургского Зауралья почвозащитному севообороту принадлежит главная роль в повышении урожайности зерновых культур и плодородия почвы. В настоящее время актуальной проблемой является повышение продуктивности зернопаровых севооборотов, размещенных на склонах степной зоны, предрасположенных к водной, ветровой и биологической (минерализация гумуса) эрозии почвы.

В Оренбургской области дефляционно опасная почва занимает 5304,3 тыс. га из общей площади пашни 6240,0 тыс. га. Почва подвержена водной эрозии на площади 2214,9 га, ветровой – 279,4 га. В результате эрозионных процессов южных черноземов происходят потери запасов гумуса на 1–6 т/га. При применении контурно-ландшафтного земледелия повышается плодородие склоновых почв, урожайность культурных растений, снижается действие засушливых условий Оренбуржья [1].

На северо-восточном склоне с крутизной 1–3° оставления пожнивно-корневых остатков и организацией полей контурно-буферными полосами являются высокоэффективным приемом защиты почвы от эрозии и накопления запасов воды в снеге. Для

незащищенных полей от эрозии почвы разработана почвозащитная технология выращивания твердой пшеницы после занятого (посев сунданской травы) и сидерального (горох с ячменем) паров в системе пятипольного зернопарового севооборота [2].

Большие потери гумуса в почве происходят в связи с частым парованием в бессменном и плоскорезном парах в пахотном слое 0–30 см и составляют 26,80 и 13,30 т/га по сравнению (1,76 т/га) с черным паром. Резервы почвенного плодородия теряются за счет усиленной минерализации гумуса и эрозии почвы на пахотных склонах. В результате проявления водной и ветровой эрозии, наносящей ущерб плодородию почвы, применяются различные агротехнические приемы [3]. В севооборотах с почвозащитным и сидеральным парами наблюдается активный процесс минерализации гумуса в связи с выращиванием культур и последующей запашкой их в паровом поле при помощи применяемой агротехники. Снижение содержания гумуса отмечается в бессменном пару (4,98–3,41 т/га), так как происходит процесс деградации почвы за счет отсутствия поступления в течение 30 лет растительных (органических) остатков [4].

Формирование урожайности зерна твердой пшеницы зависит от температурного режима. В результате роста засушливости климата во второй половине вегетации культуры сформировались неблагоприятные погодные условия. Повышение значений температуры воздуха снижает прирост урожайности зерна твердой пшеницы и в среднем составляет 1,14 и 1,29 т/га [5]. В связи с засушливыми условиями отмечаются недостаточные запасы продуктивной влаги в почве для формирования урожая твердой пшеницы. Содержание продуктивной влаги в слоях почвы 0–30 и 0–100 см к концу вегетации положительно связано с урожайностью зерна твердой пшеницы, так как корреляционные отношения составляют 0,743 и 0,828 [6]. Наибольшие запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см на склоне увеличивают количество всходов мягкой пшеницы (особенно на восточной и западной экспозиции), отмечаются сильные корреляционные связи ($\eta_x = 0,855–0,887$) [7]. Для формирования в засушливых условиях урожайности мягкой пшеницы около 2,00 т/га необходимо получить количество всходов после посева 389 шт/м² и к уборке не менее 352 шт/м², поскольку между ними имеется тесная корреляционно-регрессионная связь [8].

Использование зерновыми культурами азота в почве имеет основное значение для развития производства зерна. Многие научно-исследовательские работы проведены по изучению азота для роста и развития зерновых культур [9]. Сочетание уровня азота и фосфора в целом существенно влияет на урожайность зерна пшеницы. Последовательное увеличение содержания фосфора при определен-

ном уровне азота приводит к увеличению количества зерен в колосе. Содержание фосфора оказывает дополнительное воздействие на рост сельскохозяйственных культур, если его вносить пропорционально применяемому азоту [10]. Влияние засухи оказывают значительное влияние на содержание калия в почве. Засушливые условия вызывают изменения урожайности ячменя в зависимости от содержания калия. Использование калия зависит от уровня засухоустойчивости ячменя. Наибольшее содержание калия в почве существенно влияет на повышение урожайности ячменя [11].

В засушливые годы повышение урожайности зерна твердой пшеницы обусловлено последствием минеральных удобрений ($N_{40}P_{40}$ кг действующего вещества на 1 га) и предшественника (кукуруза на силос) севооборота за счет пониженной засоренности однолетними и многолетними сорняками [12]. В засушливых условиях наибольшая урожайность зерна мягкой пшеницы получена по предшественнику (твердая пшеница) в севообороте на удобренном фоне питания 10,8 и неудобренном – 10,0 т/га в связи с низким уровнем сорной растительности [13]. Внесение минеральных удобрений увеличивает засоренность посевов и урожайность ячменя по всем предшественникам севооборотов. В 2017 году наблюдается наибольшая урожайность зерна ячменя по предшественнику мягкая пшеница в севообороте с почвозащитным паром и составляет на удобренном фоне питания 3,25 т и неудобренном – 2,79 т/га. В среднем урожайность зерна ячменя по предшественнику (мягкая пшеница) севооборота составляет соответственно 1,44 и 1,15 т/га [14].

В результате изменения климата возникает проблема деградации почв вследствие применяемой агротехнологии. В связи с этим следует рассмотреть агротехнические приемы, способствующие более рациональному использованию влаги в период вегетации зерновых культур и исключить ее потери в почве. Для сохранения и повышения почвенного плодородия необходимо исключить агрессивные способы обработки почвы и использование минеральных удобрений [15]. В Оренбургской области засеянная площадь зерна твердой и мягкой пшеницы составляет 398,5 тыс. га при урожайности 0,98 т/га и валового сбора 1610,1 тыс. т. В исследовании проведен статистический анализ 12-летних временных рядов площадей посева и уборки, урожайности и валовых сборов зерна яровой пшеницы. В результате анализа выявлена сильная связь валовых урожаев с продуктивностью пшеничных полей и площадями уборки [16].

Таким образом, для оценки урожайности яровых зерновых культур в полевых севооборотах и плодородия почвы необходимо изучить влияние метеорологических условий, запасов влаги, макро-

элементов питания, гумуса, количество всходов и засоренности посевов в системе контурно-ландшафтного земледелия на черноземах южных Оренбургского Зауралья.

Для достижения цели научно-исследовательской работы формируются следующие задачи:

1) анализировать полученные данные по метеорологическим условиям вегетационного периода зерновых культур на стационарном опытном участке;

2) установить запасы воды в снеге, продуктивной влаги, основных подвижных форм питательных веществ и содержание гумуса в почве в зависимости от части склона и предшественника севооборота;

3) определить число всходов и засоренность посевов в весенний период в зависимости от склонового ландшафта и культуры;

4) выявить зависимость урожайности зерна твердой, мягкой пшеницы и ячменя от лимитирующих (ограничивающих) факторов в условиях почвозащитного земледелия.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевые исследования велись в 2021–2023 гг. на многолетнем стационарном участке по почвозащитному земледелию, заложенном в 1987 году, в ФГБУ «Опытная станция „Советская Россия“» с. Елизаветинка Адамовского района восточной зоны Оренбургской области. Территория исследований находилась по координатам 51°43'56.0"N, 59°47'34.0"E. Полевой опыт закладывался в системе контурно-ландшафтного земледелия в типичных почвенно-климатических условиях Оренбургского Зауралья. Объектом исследований выступали склоновая почва и зерновые культуры (твердая, мягкая пшеница и ячмень), размещенные по предшественникам зернопарового (четырёхпольного) севооборота. Склоновая почва с крутизной 1–3° являлась черноземом южным среднemosным карбонатным малогумусным тяжелосуглинистым на желто-бурых делювиальных суглинках. Рельеф склона в северо-восточной экспозиции – спокойно-ровный. На стационарном опытном поле склоновая черноземная почва была подвержена водной, ветровой и биологической эрозии.

В исследовании применялся полевой метод. Заложка полевого опыта проводилась с помощью методики Б. А. Доспехова. Изучалась схема опыта двухфакторная: 3А × 3В, где А – три части склона: верхняя, средняя, нижняя; В – зерновая культура по предшественнику севооборота: твердая пшеница по черному пару, мягкая пшеница по твердой, ячмень по мягкой пшенице.

Три части склона имели длину 400 м и ширину 500 м: верхняя с уклоном 2–3°; средняя – 1–2°, нижняя – 0–1°. В частях склона размещались зернопаровые (четырёхпольные) севообороты: пар

(черный) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – ячмень (двурядный). Полевой опыт закладывался в трехкратной повторности в пространстве и во времени. Общая длина одной повторности опыта – 1200 м, ширина – 166,7 м, площадь составила 200 040 м², или 20 га. Размер прямоугольной делянки: 40 × 160,7 м. Площадь опытной делянки составила 6428 м², или 0,6 га. Расположение вариантов опыта систематическое (последовательно 1, 2, 3, 4...), всего изучалось 12. Делянки в каждой повторности располагались в один ярус, длинной стороной поперек склонового ландшафта. Полевой опыт занимал площадь 60 га: из них делянки – 48 га, буферные полосы – 10,8 га, кустарниковые кулисы – 1,2 га.

Буферные полосы состояли из посева многолетних трав (20 × 500 м), которые размещались по всей длине склона через 80 м. Весной в 2011 г. посередине буферных полос высаживалась в один ряд смородина золотистая в качестве кустарниковой кулисы на расстоянии между ними по склону 100 м.

В весенний период для закрытия влаги и при наличии небольшого количества стерни велось боронование с помощью зубовых борон БЗУ2-11. Первая культивация черного пара совмещалась с внесением локально фосфорных удобрений (P₅₀ кг действующего вещества на 1 га) стерневой сеялкой на глубину 8–10 см. Последующие культивации (КСУ-15) применялись по мере необходимости в зависимости от степени засоренности сорняками парового поля, с увеличением глубины обработки почвы на 1,5–2,0 см. Посев яровых зерновых культур проводился сеялкой СКП-2.1 «Омичка» на глубину 6–8 см с одновременным внесением азотно-фосфорных удобрений (аммофос) в дозе N₂₀P₂₀ действующего вещества на 1 га. Норма высева сортов твердой пшеницы (Целинница, Оренбургская 10) составила 170 кг/га, или 3,5 млн шт. семян на 1 га. Сорта мягкой пшеницы (Оренбургская 13, Учитель) и ячменя (Первоцелинник, Оренбургский 11) высевались с рекомендуемой нормой 180 кг/га, или 4,0 млн шт. семян на 1 га. Весенний срок посева был 15–20 мая. Уборка твердой, мягкой пшеницы и ячменя проводилась во второй декаде августа при помощи прямого комбайнирования (Sampro 500 и Terrion SR2010) с одновременным измельчением и разбрасыванием соломы по полевым делянкам, создавая тем самым мульчирующий покров почвы. В качестве основной обработки почвы в паровых и зерновых делянках после уборки применялось глубокое рыхление (25–27 см) плоскорезом (КПГ-2-150 и стойками СИБИ-МЭ). В полевом опыте применялись агротехника и агротехнология возделывания зерновых культур в соответствии с рекомендациями для степной зоны Оренбургского Зауралья.

Проводился анализ полученных данных по метеорологическим условиям (среднемесячная температура воздуха, дождевые осадки, число суховей-

ных дней) от метеостанции Айдырля (п. Красноярский). Гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянину находилась на основании суммы выпавших осадков и температуры воздуха за каждый месяц и вегетационный период зерновых культур. Снегомерная съемка проводилась перед началом снеготаяния (вторая декада марта) по частям склона (верхняя, средняя, нижняя). Высота снега измерялась переносной рейкой по диагонали каждой делянки в 20 точках через 10 м в двукратной повторности с интервалом в 2 м. Плотность снега определялась снегомером Косырева в трехкратной повторности. Запасы воды в снеге рассчитывались в соотношении высоты и плотности снега. Образцы почвы отбирались с каждого варианта опыта в двукратной повторности по частям склона после посева и уборки (в конце вегетации). Запасы продуктивной влаги в слое почвы (0–30 и 0–100 см) находились через каждые 10 см с помощью термостатно-весового метода С. А. Воробьева. Содержание основных подвижных форм питательных веществ и гумуса в слое почвы 0–30 см определялось в трех точках делянки опыта в первой и третьей повторностях после посева и уборки. Запасы нитратного азота в почве устанавливались ионометрическим методом. Количество подвижного фосфора и обменного калия в почве определялось методом Мачигина. Содержание гумуса в почве рассчитывалось с помощью фракционного состава по методу И. В. Тюрина. На каждой делянке зерновых культур определялись число всходов и засоренность посевов. Подсчет всходов и сорных растений велись в весенний период после посева количественным методом по всем вариантам культур и повторениям опыта. Учет проводился в десятикратной повторности по диагонали делянки при помощи накладной рамки размером 0,5 м × 0,5 м с площадью 0,25 м². Урожайность каждой зерновой культуры на всех делянках и повторностях взвешивалась, учитывалась масса зерна. Опытная делянка имела учетную площадь 333,4 м². Урожайность определялась методом балансовых расчетов на основании полученных фактических данных о сборе и потерях зерна. Результаты по урожайности переводились на 1 га с учетом установленной влажности (14 %) и чистоты зерна (100 %) полевых культур. В исследовании проводились дисперсионный и статистический анализ (множественная регрессия) полученных данных с помощью компьютерной программы Statistica 6.0 (Stat Soft Inc., США).

Результаты (Results)

По данным метеостанции Айдырля, в зоне проведения исследований (2021–2023 гг.) май был прохладнее многолетних значений на 1,9 °С, особенно во второй декаде, осадков выпало 23 мм, что составило 76,7 % от нормы (таблица 1).

В мае проходило нарастание засушливости, и последняя декада была острозасушливой. В июне

среднемесячная температура воздуха была на 1,7 °С ниже нормы, но в первой декаде она была значительно (на 7,7 °С) выше, чем в третьей. Осадки в данном месяце выпадали неравномерно и при общем количестве, превысившем норму на 64 %, основная их часть была в третьей декаде. В этом месяце 24 дня были суховейными, что, несмотря на выпавшие осадки, позволяло характеризовать условия июня как недостаточно благоприятные. В июле температурный режим воздуха был благоприятным с превышением нормы на 1,5 °С, и на фоне почти двукратного превышения ее осадков условия этого месяца отмечались достаточно благоприятными для формирования урожайности, несмотря на значительно большее количество суховейных дней. В августе температура воздуха превышала норму на 2,7 °С в основном из-за роста их значений в первой и второй декадах. Количество осадков превысило норму на 39,4 %, что снизило количество суховейных дней в августе до наименьших показателей по сравнению с более ранними месяцами. В целом метеорологические условия периода вегетации в зоне проведения опытов сложились неблагоприятными для яровых зерновых культур, которые изучались в опыте.

В засушливых условиях Оренбургской области запасы продуктивной влаги в почве в основном формировались за счет осенне-зимних и весенних осадков. Многолетними исследованиями установлено, что в сентябре они усваивались всего на 0,25 %, в октябре – на 0,75, в ноябре – на 0,88 %. По данным гидрометеостанции Айдырля, среднемноголетние осадки за теплый период составили 230 мм, в холодный – 86 мм.

Высота снега в значительной степени определялась частью склона и возрастала от нижней к верхней, и, соответственно, увеличивались запасы воды в нем. Превышение запасов воды в верхней части склона по сравнению со средней составило 1,58 раза, нижней – 3,51 раза (таблица 2).

Весенние запасы продуктивной влаги в почве под посевами зерновых культур зависели от накопления воды в снеге. На запасы продуктивной влаги в почве, которые определялись после посева, заметное влияние оказывал не только вид склона, но и предшественник севооборота. В слое почвы 0–30 см содержание продуктивной влаги было удовлетворительное в нижней части склона и хорошее в средней и нижней (таблица 3). На склоне различия по запасам влаги в данном горизонте по предшественникам были незначительными.

В слое почвы 0–100 см количество полезной влаги по культурам снижалось в зависимости от предшественника последовательно: ячмень – пар черный – твердая пшеница – мягкая пшеница и укладывались в рамках оценочной шкалы как хорошие.

Таблица 1

Метеорологические условия вегетационного периода зерновых культур (2021–2023 гг.)

Показатели	Декада месяца	Данные метеоусловий по временам года				
		Май	Июнь	Июль	Август	За период
Среднемесячная температура воздуха, °С	I	12,4	22,6	24,5	21,0	20,1
	II	10,8	17,8	20,5	21,2	17,6
	III	19,8	15,5	22,8	14,2	18,1
	За месяц	14,3/16,2	18,6/16,9	22,6/21,1	18,8/16,1	18,6/17,6
Осадки в виде дождя, мм	I	18	4	12	13	47
	II	5	7	13	5	30
	III	0	14	2	23	39
	За месяц	23/30	25/41	27/51	41/34	116/156
Количество суховейных дней	I	5	9	7	4	25
	II	0	8	4	9	21
	III	11	7	11	1	30
	За месяц	16	24	22	14	76
Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова		0,51	0,45	0,39	0,75	0,53

Примечание. Перед чертой – сведения метеостанции Айдырля; после черты – среднесезонные данные изучаемой территории.

Table 1

Meteorological conditions of the growing season of grain crops (2021–2023)

Indicators	The decade of the month	Weather conditions data by season				
		May	June	July	August	For the period
Average monthly air temperature, °C	I	12.4	22.6	24.5	21.0	20.1
	II	10.8	17.8	20.5	21.2	17.6
	III	19.8	15.5	22.8	14.2	18.1
	Per month	14.3/16.2	18.6/16.9	22.6/21.1	18.8/16.1	18.6/17.6
Precipitation in the form of rain, mm	I	18	4	12	13	47
	II	5	7	13	5	30
	III	0	14	2	23	39
	Per month	23/30	25/41	27/51	41/34	116/156
The number of dry days	I	5	9	7	4	25
	II	0	8	4	9	21
	III	11	7	11	1	30
	Per month	16	24	22	14	76
Hydrothermal coefficient of G. T. Selyaninov		0.51	0.45	0.39	0.75	0.53

Note. Before the line – information from the Aydyrlya weather station; after the line – the average long-term data of the studied territory.

Таблица 2

Высота снега, плотность и запасы воды в снеге перед снеготаянием (2021–2023 гг.)

Часть склона	Высота снега, см	Плотность снега, г/см ³	Запасы воды в снеге, мм
Верхняя	41,7	0,68	283,5
Средняя	32,9	0,54	178,9
Нижняя	24,4	0,33	80,7

Table 2

Snow height, density and water reserves in the snow before snowmelt (2021–2023)

Part of the slope	Snow height, cm	Density snow, g/cm ³	Water reserves in the snow, mm
Upper	41.7	0.68	283.5
Medium	32.9	0.54	178.9
Lower	24.4	0.33	80.7

Таблица 3

Почвенные запасы продуктивной влаги в зависимости от части склона и предшественника, мм (2021–2023 гг.)

Часть склона	Севооборот	Предшественник	Слой почвы (см)	
			0–30	0–100
Верхняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	49,5/31,5	168,1/138,1
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	42,2/22,2	155,8/55,8
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	41,1/21,1	152,1/52,1
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	40,2/20,2	138,0/38,0
Средняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	47,8/27,8	165,6/135,6
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	42,7/21,8	153,0/53,0
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	41,8/20,7	149,4/49,4
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	39,4/19,4	136,5/36,5
Нижняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	37,0/19,1	154,3/124,3
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	39,0/17,0	151,3/51,3
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	36,1/16,0	140,4/40,4
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	35,0/15,0	135,0/35,0

Примечание. Здесь и далее: до черты – после посева; за чертой – после уборки.

Table 3

Soil reserves of productive moisture, depending on the part of the slope and the predecessor, mm (2021–2023)

Part of the slope	Crop rotation	The predecessor	Soil layer (cm)	
			0–30	0–100
Upper	Steam (black)	Barley (double row)	49.5/31.5	168.1/138.1
	Wheat (durum)	Steam (black)	42.2/22.2	155.8/55.8
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	41.1/21.1	152.1/52.1
	Barley (double row)	Wheat (soft)	40.2/20.2	138.0/38.0
Medium	Steam (black)	Barley (double row)	47.8/27.8	165.6/135.6
	Wheat (durum)	Steam (black)	42.7/21.8	153.0/53.0
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	41.8/20.7	149.4/49.4
	Barley (double row)	Wheat (soft)	39.4/19.4	136.5/36.5
Lower	Steam (black)	Barley (double row)	37.0/19.1	154.3/124.3
	Wheat (durum)	Steam (black)	39.0/17.0	151.3/51.3
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	36.1/16.0	140.4/40.4
	Barley (double row)	Wheat (soft)	35.0/15.0	135.0/35.0

Note. Here and further: before the line – after sowing; beyond the line – after harvesting.

После уборки зерновых культур содержание продуктивной влаги в нижней части склона в слое почвы 0–30 см было неудовлетворительное (15,0–19,1 мм) независимо от предшественника и культуры. В средней части склона изменялись почвенные запасы влаги после твердой и мягкой пшеницы, ячменя до удовлетворительного значения (19,4–27,8 мм), в верхней – 20,2–31,5 мм.

На черных парах запасы влаги как в слое почвы 0–30 см, так и в метровом горизонте были удовлетворительными. В метровом слое почвы количество полезной влаги было незначительное по всем вариантам опыта. На паровых полях севооборотов в метровом горизонте сохранилось удовлетворительное количество продуктивной влаги с тенденцией к снижению последовательно от верхней к нижней

части склона. В целом в сложившихся условиях на опытном участке в корнеобитаемом горизонте почвы сохранилось удовлетворительное количество продуктивной влаги.

На запасы основных подвижных форм питательных веществ оказывали влияние многие факторы, но основными из них являлись влажность почвы, температура воздуха, предшественник и другие. В условиях повышенной температуры воздуха и хороших запасов продуктивной влаги в почве интенсивно происходил процесс минерализации нитратного азота. В этом отношении пар черный занимал первое место, и содержание нитратного азота по всему склону составило от 12,6 до 18,7 мг / 100 г почвы (таблица 4).

Почвенные запасы основных подвижных форм питательных веществ в зависимости от части склона и предшественника, мг / 100 г (2021–2023 гг.)

Часть склона	Севооборот	Предшественник	Слой почвы 0–30 см		
			N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Верхняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	18,7/31,4	4,9/4,9	38,1/44,2
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	12,6/12,5	5,1/4,7	40,8/39,0
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	17,4/16,0	5,5/4,8	43,3/38,0
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	17,7/17,4	4,5/4,1	39,0/40,5
Средняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	12,6/28,7	5,3/4,3	43,9/38,6
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	13,6/15,2	5,5/4,7	38,8/35,8
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	14,7/13,2	5,3/4,7	42,6/36,5
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	16,7/12,3	3,8/4,3	38,4/36,7
Нижняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	14,8/23,0	5,1/4,5	44,2/34,9
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	12,1/6,9	5,0/4,7	37,4/36,1
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	9,9/9,7	5,2/4,4	39,9/31,6
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	9,7/14,7	4,9/4,0	39,2/32,4

Table 4

Soil reserves of the main mobile forms of nutrients, depending on the part of the slope and the precursor, mg / 100 g (2021–2023)

Part of the slope	Crop rotation	The predecessor	Soil layer 0–30 cm		
			N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Upper	Steam (black)	Barley (double row)	18.7/31.4	4.9/4.9	38.1/44.2
	Wheat (durum)	Steam (black)	12.6/12.5	5.1/4.7	40.8/39.0
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	17.4/16.0	5.5/4.8	43.3/38.0
	Barley (double row)	Wheat (soft)	17.7/17.4	4.5/4.1	39.0/40.5
Medium	Steam (black)	Barley (double row)	12.6/28.7	5.3/4.3	43.9/38.6
	Wheat (durum)	Steam (black)	13.6/15.2	5.5/4.7	38.8/35.8
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	14.7/13.2	5.3/4.7	42.6/36.5
	Barley (double row)	Wheat (soft)	16.7/12.3	3.8/4.3	38.4/36.7
Lower	Steam (black)	Barley (double row)	14.8/23.0	5.1/4.5	44.2/34.9
	Wheat (durum)	Steam (black)	12.1/6.9	5.0/4.7	37.4/36.1
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	9.9/9.7	5.2/4.4	39.9/31.6
	Barley (double row)	Wheat (soft)	9.7/14.7	4.9/4.0	39.2/32.4

Наибольшее количество нитратного азота в черном пару наблюдалось в верхней части склона. В начале парования большой разницы в накоплении нитратного азота не было между черным паром и непаровыми предшественниками. Однако после уборки урожая его количество в паровом поле существенно увеличивалось до 31,4 мг / 100 г почвы. Особенно больше он накапливался в верхней и средней частях. В то же время по непаровым предшественникам содержание нитратного азота в почве в результате использования их на формирование урожая снижался в 2–3 раза. На накопление почвенных запасов нитратного азота оказывал влияние и вид склона. В значительной степени это явление наблюдалось после посева зерновых культур в верхней и средней частях склона при наибольшем количестве нитратного азота в почве.

По почвенным запасам подвижных форм фосфора и обменного калия не наблюдалось таких изменений, как с нитратным азотом. Единственным разли-

чием являлось снижение количества после уборки в связи с использованием их на рост и формирование урожая. Особенно эта закономерность относилась к фосфору. В связи с тем, что содержание калия на черноземах южных высокое, отмечались незначительные изменения как по частям склона, так и по срокам определения.

В почве опытного участка почвозащитного стационара до внедрения зернопаровых (четырёхпольных) севооборотов содержалось 4,0 % гумуса. В результате наблюдений установлено, что предшественник севооборота и часть склона влияли на содержание гумуса в пахотном слое почвы. Вследствие сложившихся почвенно-климатических условий проявилась в паровом поле сильная водная и биологическая (минерализация гумуса) эрозия почвы на склоне, что повлияло на снижение запасов плодородия. В целом по зернопаровому севообороту содержание гумуса в зависимости от части склона стало ниже в верхней на 0,28 %, средней – на 0,70 %, нижней – на 0,66 % (таблица 5).

Таблица 5

Почвенные запасы гумуса в зависимости от части склона и предшественника, % (2021–2023 гг.)

Агротехнологии

Часть склона	Севооборот	Предшественник	Слой почвы 0–30 см
Верхняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	4,16/3,90
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	3,43/3,87
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	3,92/3,10
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	3,38/3,88
	По севообороту		3,72/3,69
Средняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	3,25/2,81
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	3,16/3,38
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	3,67/3,18
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	3,14/3,47
	По севообороту		3,30/3,21
Нижняя	Пар (черный)	Ячмень (двурядный)	3,22/2,88
	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	3,27/3,14
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	3,82/3,40
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	3,07/3,23
	По севообороту		3,34/3,16

Table 5

Soil reserves of humus depending on the part of the slope and the predecessor, % (2021–2023)

Part of the slope	Crop rotation	The predecessor	Soil layer 0–30 cm
Upper	Steam (black)	Barley (double row)	4.16/3.90
	Wheat (durum)	Steam (black)	3.43/3.87
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	3.92/3.10
	Barley (double row)	Wheat (soft)	3.38/3.88
	By crop rotation		3.72/3.69
Medium	Steam (black)	Barley (double row)	3.25/2.81
	Wheat (durum)	Steam (black)	3.16/3.38
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	3.67/3.18
	Barley (double row)	Wheat (soft)	3.14/3.47
	By crop rotation		3.30/3.21
Lower	Steam (black)	Barley (double row)	3.22/2.88
	Wheat (durum)	Steam (black)	3.27/3.14
	Wheat (soft)	Wheat (durum)	3.82/3.40
	Barley (double row)	Wheat (soft)	3.07/3.23
	By crop rotation		3.34/3.16

Изучаемые факторы (предшественник севооборота и часть склона) оказывали значительное влияние на содержание гумуса после посева в пахотном горизонте почвы. На склоне наиболее значимые различия содержания гумуса по культурам и предшественникам севооборотов составили в нижней и средней частях в пользу мягкой пшеницы после твердой, в верхней – по черному пару после ячменя и по мягкой пшенице после твердой. На средней и нижней частях склона в связи с пониженной урожайностью предшественников севооборотов было наименьшее количество пожнивно-корневых остатков в почве, что повлияло на накопление запасов гумуса.

При осеннем определении (после уборки) количества гумуса в пахотном слое почвы сохранилось

преимущество верхней части склона (3,69 %) при разнице между средней и нижней на 0,48–0,53 %. Содержание гумуса в почве незначительно снизилось к концу парования и вегетации зерновых культур в верхней части склона на 0,03 %, в средней – 0,09 %, в нижней – на 0,18 %.

В результате проведенных полевых опытов определено, что наибольшее снижение содержания гумуса до 3,16 % в слое 0–30 см отмечалось в нижней части склона при плоскорезной обработке почвы в зернопаровом севообороте. При сложившихся погодных условиях, глубоком рыхлении (плоскорез) почвы и многочисленных культивациях в паровом поле на нижней части склона проявлялась усиленная минерализация, что приводило к значительному снижению содержания гумуса.

Таблица 6
**Число всходов и засорённость посевов яровых зерновых культур
 в зависимости от части склона и предшественника, шт/м² (2021–2023 гг.)**

Часть склона	Культура	Предшественник	Всходы	Сорные растения	
				однолетние	многолетние
Верхняя	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	235	1,3	0,3
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	211	1,7	1,0
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	174	1,0	0,7
Средняя	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	206	2,3	2,3
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	177	2,3	2,0
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	169	2,0	3,3
Нижняя	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	198	2,7	3,0
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	150	3,3	3,0
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	161	4,0	4,0

Table 6
**The number of seedlings and the contamination of spring grain crops, depending on the part
 of the slope and the predecessor, pcs/m² (2021–2023)**

Part of the slope	Culture	Predecessor	Shoots	Weed plants	
				annual	perennial
Upper	<i>Wheat (durum)</i>	<i>Steam (black)</i>	235	1.3	0.3
	<i>Wheat (soft)</i>	<i>Wheat (durum)</i>	211	1.7	1.0
	<i>Barley (double row)</i>	<i>Wheat (soft)</i>	174	1.0	0.7
Medium	<i>Wheat (durum)</i>	<i>Steam (black)</i>	206	2.3	2.3
	<i>Wheat (soft)</i>	<i>Wheat (durum)</i>	177	2.3	2.0
	<i>Barley (double row)</i>	<i>Wheat (soft)</i>	169	2.0	3.3
Lower	<i>Wheat (durum)</i>	<i>Steam (black)</i>	198	2.7	3.0
	<i>Wheat (soft)</i>	<i>Wheat (durum)</i>	150	3.3	3.0
	<i>Barley (double row)</i>	<i>Wheat (soft)</i>	161	4.0	4.0

Наибольшие значения количества всходов всех зерновых культур в опыте были получены в верхней части склона. В посевах средней части склона число всходов твердой пшеницы снижалось относительно верхней на 29 шт. на 1 м² (12,3 %), в нижней – на 37 шт. на 1 м² (15,7 %). Снижение количества всходов по мягкой пшенице составило 5 шт. на 1 м² (2,9 %) и 13 шт. на 1 м² (7,5 %) соответственно, по ячменю – 23 шт. на 1 м² (11,1 %) и 37 шт. на 1 м² (17,9 %) относительно средней и нижней части склона (таблица 6).

Весенняя засорённость посевов опытных делянок была невысокой. В опыте было обнаружено незначительное увеличение количества однолетних и многолетних сорняков в нижней части склона в сравнении с верхней и средней. Разница между зерновыми культурами по сорнякам была незначительной.

В засушливых условиях урожайность зерна полевых культур была средней и в значительной степени определялась частями склона. Превышение урожайности зерновых культур в верхней части склона относительно средней составило 0,15 т с 1 га, в нижней – 0,28 т с 1 га при НСР₀₅ = 0,05 т с 1 га (таблица 7).

Существенная прибавка урожайности зерна по взаимодействию части склона и предшественника

была получена по твердой пшенице в последствии черного пара. Она отмечалась в верхней части склона на 0,15 т с 1 га в сравнении с урожайностью зерна мягкой пшеницы в последствии твердой. Прибавка зерна была получена в средней и нижней части склона на 0,14 и 0,27 т с 1 га соответственно в сравнении с урожайностью зерна мягкой пшеницы по твердой и ячменя по мягкой пшенице.

В результате регрессионного анализа выявлено, что значительное неблагоприятное воздействие на урожайность зерна ячменя оказывали среднемесячная температура воздуха и суховейные дни за вегетационный период в нижней части склона, их доля составила 55,85 и 67,50 % с уровнем значимости 0,03 и 0,01 при норме $p \leq 0,05$ (таблица 8).

Отрицательно воздействовали суховейные дни на урожайность зерна ячменя в верхней и средней части склона и составили 56,75 % ($p = 0,03$) и 64,45 % ($p = 0,01$). Количество выпавших атмосферных осадков за вегетационный период положительно повлияло на урожайность зерна твердой пшеницы в средней части склона, их доля составила 53,05 % с критерием значимости 0,04. Основное влияние (75,15 % с уровнем значимости 0,005) на увеличение урожайности зерна мягкой пшеницы в верхней части склона оказывали почвенные запасы продуктивной влаги в весенний период.

Таблица 7

Урожайность ранних яровых зерновых культур в зависимости от части склона и предшественника, т с 1 га (2021–2023 гг.)

Агротехнологии

Часть склона	Культура	Предшественник	Урожайность
Верхняя	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	1,45
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	1,30
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	1,44
По склону			1,40
Средняя	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	1,34
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	1,20
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	1,20
По склону			1,25
Нижняя	Пшеница (твердая)	Пар (черный)	1,27
	Пшеница (мягкая)	Пшеница (твердая)	1,10
	Ячмень (двурядный)	Пшеница (мягкая)	1,00
По склону			1,12
НСР ₀₅ урожайности (А – часть склона) = 0,04; НСР ₀₅ урожайности (В – предшественник) = 0,03			
НСР ₀₅ урожайности (АВ-взаимодействие) = 0,05			

Table 7

Yield of early spring grain crops depending on the part of the slope and the predecessor, tons per 1 ha (2021–2023)

Part of the slope	Culture	The predecessor	Yield
Upper	Wheat (<i>durum</i>)	Steam (black)	1.45
	Wheat (<i>soft</i>)	Wheat (<i>durum</i>)	1.30
	Barley (<i>double row</i>)	Wheat (<i>soft</i>)	1.44
Down the slope			1.40
Medium	Wheat (<i>durum</i>)	Steam (black)	1.34
	Wheat (<i>soft</i>)	Wheat (<i>durum</i>)	1.20
	Barley (<i>double row</i>)	Wheat (<i>soft</i>)	1.20
Down the slope			1.25
Lower	Wheat (<i>durum</i>)	Steam (black)	1.27
	Wheat (<i>soft</i>)	Wheat (<i>durum</i>)	1.10
	Barley (<i>double row</i>)	Wheat (<i>soft</i>)	1.00
Down the slope			1.12
LSD _{05 yield} (A – part of the slope) = 0.04; LSD _{05 yield} (B – the predecessor) = 0.03			
LSD _{05 yield} (AB interaction) = 0.05			

Среди подвижных форм питательных веществ наибольшее влияние (72,30 % с критерием значимости 0,007) на повышение урожайности зерна твердой пшеницы оказывало содержание фосфора в почве к уборке на верхней части склона. Воздействие содержания фосфорного питательного вещества в почве приводило к росту урожайности зерна ячменя на верхней части склона, их доля влияния составила 56,05 % с уровнем значимости 0,03. Влияние на урожайность зерна мягкой пшеницы обеспечивало содержание подвижного фосфора в почве к концу вегетации в средней части склона на 65,50 % ($p = 0,01$), нижней – 54,01 % ($p = 0,03$). В нижней части склона не установлена зависимость урожайности зерна твердой пшеницы от лимитирующих факторов. В вариантах опыта не выявлена зависимость урожайности зерновых культур от за-

пасов воды в снеге, содержания нитратного азота, обменного калия, гумуса в почве, числа всходов и весенней засоренности посевов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Метеорологические условия за период вегетации зерновых культур сложились засушливыми с повышенными температурами воздуха, недобором осадков и наибольшим числом суховейных дней. Условия периода вегетации создавались недостаточно благоприятно для яровых зерновых культур. Небольшое увеличение температуры воздуха в среднем за вегетацию на фоне снижения количества выпавших осадков и довольно большого числа суховейных дней сформировали неблагоприятные условия для полной реализации потенциала зерновых культур.

Зависимость урожайности культур от лимитирующих факторов (за 3 года)

Часть склона	Культура	Лимитирующие факторы	Показатели	
			Уровень значимости*	Процент влияния
Верхняя	Пшеница (твердая)	Фосфор после уборки	0,00	72,30
	Пшеница (мягкая)	Влага после посева	0,00	75,15
	Ячмень (двурядный)	Фосфор после уборки	0,03	56,05
		Число суховейных дней	0,03	56,75
Средняя	Пшеница (твёрдая)	Осадки в виде дождя	0,04	53,05
	Пшеница (мягкая)	Фосфор после уборки	0,01	65,50
	Ячмень (двурядный)	Число суховейных дней	0,01	64,45
Нижняя	Пшеница (мягкая)	Фосфор после уборки	0,03	54,01
	Ячмень (двурядный)	Среднемесячная температура	0,03	55,85
		Число суховейных дней	0,01	67,50

Примечание. * Уровень значимости меньше нормы 0,05.

Table 8
Dependence of crop yields on the studied factors (for 3 years)

Part of the slope	Culture	Limiting factors	Indicators	
			Level of significance*	Percentage of influence
Upper	Wheat (durum)	Phosphorus after harvesting	0.00	72.30
	Wheat (soft)	Moisture after sowing	0.00	75.15
	Barley (double row)	Phosphorus after harvesting	0.03	56.05
		The number of dry days	0.03	56.75
Medium	Wheat (durum)	Precipitation in the form of rain	0.04	53.05
	Wheat (soft)	Phosphorus after harvesting	0.01	65.50
	Barley (double row)	The number of dry days	0.01	64.45
Lower	Wheat (soft)	Phosphorus after harvesting	0.03	54.01
	Barley (double row)	Average monthly temperature	0.03	55.85
		The number of dry days	0.01	67.50

Note. * The level of significance is less than the norm 0.05.

2. Запасы воды в снеге и количество продуктивной влаги в почве по предшественникам севооборотов были удовлетворительными и зависели от части склона с возрастанием от нижней к верхней. При применении почвозащитных приемов уменьшался смыв слоя почвы с верхних горизонтов в нижележащие, что отражалось на сохранении плодородия, особенно в верхней части склона.

3. Наибольшее содержание нитратного азота и гумуса наблюдалось в черном пару, так как он приводил к сохранению и повышению плодородия почвы за период парования преимущественно в верхней части склона. Основной закономерности по подвижному фосфору и обменному калию не отмечалось в исследованиях. Снижение количества подвижного фосфора и калия в почве к уборке зерновых культур на всех частях склона происходило за счет использования их на формирование урожайности. В связи с этим применение черного пара и плоскорезной обработки почвы под полевыми культурами зернопарового севооборота на верхней части склона в системе контурно-полосного земледелия улучшало плодородие южного чернозема.

4. В результате исследований выявлено, что количество всходов по всем изученным культурам увеличивалось в верхней части склона за счет наибольших запасов продуктивной влаги перед посевом. Засоренность посевов однолетними и многолетними сорняками в весенний период снижалась по всему склону за счет размещения буферных полос из многолетних трав с кулисами и оставления пожнивно-корневых остатков зерновых культур. Агротехнические мероприятия сдерживали водную и ветровую эрозию почвы, тем самым снижали развитие и распространение сорной растительности в основном на верхней части склона.

5. В засушливых условиях наибольшая урожайность зерна среди изученных культур была получена по твердой пшенице в последствии черного пара на верхней части склона. Данная культура была более урожайной и в других двух частях склона. Повышение урожайности зерна твердой пшеницы по черному пару и ячменя по мягкой пшенице происходило за счет применения азотно-фосфорных удобрений (аммофос) при посеве в верхней части склона. Весенние запасы продуктивной влаги спо-

способствовали росту урожайности зерна мягкой пшеницы по твердой в верхней части склона. В связи с этим неблагоприятные погодные условия, запасы продуктивной влаги и подвижных форм питательных веществ в почве по другим предшественникам севооборотов не оказывали воздействия на увеличение урожайности зерновых культур в условиях склонового ландшафта. В условиях почвозащитного земледелия получено очевидное преимущество по урожайности зерна полевых культур в верхней части склона, что происходило в связи с положительным влиянием применения агротехнических мероприятий по защите почвы от эрозионных процессов в течение длительного времени.

6. В результате проведенных исследований установлено, что буферные полосы из многолетних трав, кустарниковые кулисы из смородины золотистой, стерня и пожнивные остатки (солома, мякина, солома, корни) зерновых культур, размещенные на каждом поле зернопарового (четырёхпольного) севооборота, увеличивали снегонакопление, влагообеспеченность, содержание подвижных форм питательных веществ, гумуса в почве, снижали засоренность посевов, повышали всхожесть и урожайность растений по всем частям склона, особенно в верхней части. Полученные результаты дают основание рекомендовать их применение в условиях склонового ландшафта для повышения урожайности зерна полевых культур и плодородия почвы.

Библиографический список

1. Скороходов В. Ю., Максюттов Н. А., Зоров А. А., Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В., Зенкова Н. А. Сохранение плодородия и защита почвы от эрозии в степной зоне Южного Урала // *Плодородие*. 2021. № 6 (123). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.06.
2. Скороходов В. Ю., Зоров А. А., Максюттов Н. А., Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В., Зенкова Н. А. Продуктивность полевых культур при контурно-буферной организации поля в Оренбургском Зауралье // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2022. № 1 (178). С. 21–30. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-21-30.
3. Максюттов Н. А., Зоров А. А., Скороходов В. Ю., Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В., Зенкова Н. А. Агротехнические приемы предотвращения эрозионных процессов в степной зоне Южного Урала // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 3 (83). С. 9–13. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-9-13.
4. Скороходов В. Ю., Зенкова Н. А. Образование и содержание гумуса на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Плодородие*. 2019. № 6 (111). С. 28–32. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.08.
5. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Созревание зерна яровой твердой пшеницы в связи с погодными факторами и приемами агротехники в Оренбургском Приуралье // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2. С. 8–15.
6. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Продуктивная влага в связи с приемами агротехники и урожайность яровой твердой пшеницы в Оренбургском Приуралье // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2. С. 21–27.
7. Панфилов А. Л., Абдрашитов Р. Р. Влияние температуры и влажности почвы на количество всходов яровой мягкой пшеницы при выращивании на склоновых землях Оренбургского Приуралья [Электронный ресурс] // *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН*. 2019. № 4. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/PAL-2019-4.pdf> (дата обращения: 25.12.2019).
8. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л., Абдрашитов Р. Р. Научно обоснованные параметры агроценоза яровой мягкой пшеницы в засушливых условиях Оренбургского Приуралья // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 2 (66). С. 14–22. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-01.
9. Zuluaga D. L., Sonnante G. The use of nitrogen and its regulation in cereals: structural genes, transcription factors, and the role of miRNAs // *Plants (Basel)*. 2019. Vol. 8, No. 8. Article number 294. DOI: 10.3390/plants8080294.
10. Swapnavahini K., Bora M., Jyothi N. B., Bora A., Ramesh T. Studies on effects of nitrogen and phosphorus on wheat crop growth and production // *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2022. Vol. 13, No. 10. Pp. 6084–6089. DOI: 10.47750/pnr.2022.13.S10.752.
11. Cai K., Gao H., Wu X., Zhang S., Han Z., Chen X., Zhang G., Zeng F. The ability to regulate transmembrane potassium transport in root is critical for drought tolerance in barley // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20, No. 17. Article number 4111. DOI: 10.3390/ijms20174111.
12. Кафтан Ю. В., Скороходов В. Ю., Митрофанов Д. В., Жижин В. Н. Влияние засоренности на урожайность яровой твердой пшеницы в системе двухпольных севооборотов на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Животноводство и кормопроизводство*. 2018. № 1 (101). С. 221–230.

13. Кафтан Ю. В. Влияние предшественников и минеральных удобрений на засоренность посевов яровой мягкой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 34–38. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-34-38.

14. Кафтан Ю. В. Влияние засоренности посевов ячменя и минерального питания на урожайность в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 104–108. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-104-108.

15. Кутеева А. А., Ярцев Г. Ф., Байкасанов Р. К. Основные направления повышения устойчивости и продуктивности агроценозов яровой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (98). С. 9–16. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-9-16.

16. Ярцев Г. Ф., Кутеева А. А. Современное состояние и перспективы производства зерна яровой пшеницы в Оренбургской области // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (44). С. 28–35. DOI: 10.52463/22274227_2022_44_28.

Об авторе:

Дмитрий Владимирович Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0002-7172-6904, AuthorID 761691. E-mail: dvm.80@mail.ru

References

1. Skorokhodov V. Yu., Maksyutov N. A., Zorov A. A., Mitrofanov D. V., Kaftan Yu. V., Zenkova N. A. Preservation of fertility and protection of soil from erosion in the steppe zone of the Southern Urals. *Plodородie*. 2021; 6 (123): 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.06. (In Russ.)

2. Skorokhodov V. Yu., Zorov A. A., Maksyutov N. A., Mitrofanov D. V., Kaftan Yu. V., Zenkova N. A. Productivity of field crops in the contour-buffer organization of the field in the Orenburg Trans-Urals. *The Bulletin of KrasGAU*. 2022; 1 (178): 21–30. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-21-30. (In Russ.)

3. Maksyutov N. A., Zorov A. A., Skorokhodov V. Yu., Mitrofanov D. V., Kaftan Yu. V., Zenkova N. A. Agrotechnical methods for preventing erosion processes in the steppe zone of Southern Urals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 3 (83): 9–13. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-9-13. (In Russ.)

4. Skorokhodov V. Yu., Zenkova N. A. The formation and content of humus in the chernozems of the southern Orenburg Cis-Urals. *Plodородie*. 2019; 6 (111): 28–32. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.08. (In Russ.)

5. Besaliev I. N., Panfilov A. L. Maturation of spring durum wheat grain due to weather factors and agricultural techniques in the Orenburg Priuralye. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2019; 2: 8–15. (In Russ.)

6. Besaliev I. N., Panfilov A. L. Productive moisture in connection with agricultural techniques and yields of spring durum wheat in the Orenburg Priuralye. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2019; 2: 21–27. (In Russ.)

7. Panfilov A. L., Abdrashitov R. R. Influence of temperature and humidity of soil on the number of across of spring soft wheat when cultivating on sklonovye lands of Orenburg Priuralye. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences* [Internet]. 2019 [cited 2019 Dec 25]; 4. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/PAL-2019-4.pdf>. (In Russ.)

8. Besaliev I. N., Panfilov A. L., Abdrashitov R. R. Scientifically based parameters of the agrocenosis of spring soft wheat in the arid conditions of the Orenburg Priuralye. *Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2022; 2 (66): 14–22. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-01. (In Russ.)

9. Zuluaga D. L., Sonnante G. The use of nitrogen and its regulation in cereals: structural genes, transcription factors, and the role of miRNAs. *Plants (Basel)*. 2019; 8 (8): 294. DOI: 10.3390/plants8080294.

10. Swapnavahini K., Bora M., Jyothi N. B., Bora A., Ramesh T. Studies on effects of nitrogen and phosphorus on wheat crop growth and production. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2022; 13 (10): 6084–6089. DOI: 10.47750/pnr.2022.13.S10.752.

11. Cai K., Gao H., Wu X., Zhang S., Han Z., Chen X., Zhang G., Zeng F. The ability to regulate transmembrane potassium transport in root is critical for drought tolerance in barley. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20 (17): 4111. DOI: 10.3390/ijms20174111.

12. Kaftan Yu. V., Skorokhodov V. Yu., Mitrofanov D. V., Zhizhin V. N. The influence of contamination on the yield of spring durum wheat in the system of two-field crop rotations on the chernozems of the southern Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018; 1 (101): 221–230. (In Russ.)

13. Kaftan Yu. V. The influence of predecessors and mineral fertilizers on weed infestation of soft wheat crops in Orenburg Priuralye. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 3 (83): 34–38. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-34-38. (In Russ.)

14. Kaftan Yu. V. Influence of infestation of barley crops and mineral nutrition on yield in the central zone of the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 4 (90): 104–108. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-104-108. (In Russ.)

15. Kuteeva A. A., Yartsev G. F., Baikasenov R. K. The main direction of increasing the stability and productivity of spring wheat's agrocenoses in the steppe zone of the Southern Urals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; 6 (98): 9–16. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-9-16. (In Russ.)

16. Yartsev G. F., Kuteeva A. A. The current state and prospects of spring wheat grain production in the Orenburg region. *Bulletin Kurgan State Agricultural Academy*. 2022; 4 (44): 28–35. DOI: 10.52463/22274227_2022_44_28. (In Russ.)

Author's information:

Dmitriy V. Mitrofanov, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the department of agriculture and resource-saving technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0002-7172-6904, AuthorID 761691.

E-mail: dvm.80@mail.ru