

Оценка развития озимой пшеницы в погодных условиях 2016-2019 гг. в лесостепи Среднего Поволжья

Р. Б. Шарипова, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела «Земледелие и технологии возделывания сельскохозяйственных культур»

Е. В. Кузина, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. отделом «Земледелие и технологии возделывания сельскохозяйственных культур»

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,

433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская 19

✉ rezedasharipova63@mail.ru.

Резюме. Статья включает в себя результаты исследований за 2016-2019 гг. по влиянию агроклиматических ресурсов и условий перезимовки озимой пшеницы Марафон на урожайность и качество зерна, осуществлённые в полевых условиях лесостепи Среднего Поволжья. Дана оценка сравнительного анализа структуры урожая озимой пшеницы по годам исследований, охватывающая различные количественные показатели: длину колоса, массу зерна с колоса, количество зерен в колосе, массу тысячи зерен и продуктивность. Показаны тенденции климатических изменений, происходящих в Ульяновской области за последние три десятилетия, которые свидетельствуют о повышении средней температуры воздуха на 1,5°C, изменении осадков на 116 мм и учащении экстремальных погодных явлений. Эти изменения оказывают влияние на урожайность озимой пшеницы. В 2017 г. наблюдали наиболее благоприятные условия для получения максимальной урожайности культуры, когда суммарное водопотребление составило 429,2 мм, что положительно сказалось на сборе урожая с единицы площади. В 2018 г. показатели колебались в пределах 335,0 мм, в 2019 г. – 218,9 мм соответственно, коэффициент водопотребления составил 57,2, 74,9 и 84,2 мм/т. Оптимальные метеорологические условия для развития и роста растений озимой пшеницы в 2017 г. позволили получить высокий урожай – 7,5 т/га. Отмечена положительная тесная, значимая корреляция между показателями урожайности сорта Марафон и ГКТ – 0,94. В 2018 г. при снижении объема осадков в вегетационный период до 182 мм, урожайность уменьшилась на 2,76 т/га в сравнении с 2017 г. и составила 4,74 т/га. В более засушливом 2019 г., когда сумма осадков в апреле-июле не превысила 119 мм, а температура воздуха превосходила среднемноголетнее значение на 1,1°C самые важные этапы развития растений, которые влияют на рост и продуктивность озимой пшеницы, проходили в экстремально засушливых условиях. В результате вышеперечисленных факторов произошло значительное снижение урожайности на 4,90 и 1,87 т/га, в сравнении с более благоприятными условиями в плане влагообеспечения 2017-2018 гг.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность, качество зерна, агроклиматические ресурсы, изменение климата, температура воздуха, количество осадков.

Для цитирования Шарипова Р. Б., Кузина Е. В. Оценка развития озимой пшеницы в погодных условиях 2016-2019 гг. в лесостепи среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №1 (69). С. 42-50. doi:10.18286/1816-4501-2025-1-42-50

Assessment of the development and overwintering of winter wheat in weather conditions of 2016-2019 in the forest-steppe of the Middle Volga region

R. B. Sharipova✉, **E. V. Kuzina**

Samara Federal Research Center Russian Academy Sciences, Ulyanovsk Research Institute Agriculture, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky village, Institutskaya st., 19

✉ rezedasharipova63@mail.ru.

Abstract. The article includes results of the studies for 2016-2019 on the influence of agroclimatic resources and overwintering conditions of Marathon winter wheat on the yield and quality of grain. The studies were carried out in the field conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region. An assessment is given of a comparative analysis of the structure of the winter wheat harvest by years of research, covering various quantitative parameters, such as, ear length, grain weight per ear, number of grains per ear, thousand grain weight and productivity. The trends in climate change occurring in Ulyanovsk region over the past three decades are shown, which indicate an increase in average air temperature by 1.5°C, a change in precipitation by 116 mm and an increase in extreme weather events. These changes affect the yield of winter wheat. It was found that in 2017, the most favorable conditions were created for obtaining maximum crop yield, when the total water consumption was 429.2 mm, which had a positive effect on harvesting per unit area. In

2018, the parameters fluctuated within the range - 335.0 mm, in 2019 - 218.9 mm, respectively, the water consumption coefficient was 57.2, 74.9 and 84.2 mm/t. Appropriate meteorological conditions for development and growth of winter wheat plants in 2017 allowed to obtain a high yield of -7.5 t/ha. A positive close, significant correlation was noted between the yield parameters of Marathon variety and HTC - 0.94. In 2018, with a decrease in precipitation during the growing season to 182 mm, the yield decreased by 2.76 t/ha compared to 2017 and amounted to 4.74 t/ha. In the drier year of 2019, when the amount of precipitation in April-July did not exceed 119 mm, and the air temperature exceeded the long-term average by 1.1 °C, the most important stages of plant development, which affect the growth and productivity of winter wheat, took place in extremely dry conditions. As a result of the above factors, there was a significant decrease in yield by 4.90 and 1.87 t/ha, in comparison with more favorable conditions in terms of moisture supply in 2017-2018.

Keywords: winter wheat, yield, grain quality, agroclimatic resources, climate change, air temperature, precipitation.

For citation: Sharipova R. B., Kuzina E. V. Assessment of the development and overwintering of winter wheat in weather conditions of 2016-2019 in the forest-steppe of the Middle Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;1(69): 42-50 doi:10.18286/1816-4501-2025-1-42-50

Введение

Земледелие – отрасль экономики, которая наиболее сильно зависит от погодных условий и напрямую влияет на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур, поэтому она остается основой сельского хозяйства [1, 2, 3]. Невозможно создать идеальные условия для выращивания растений одновременно, так как угоды простираются на обширных площадях, носят сезонный характер, производятся под открытым небом, что делает невозможным применение эффективных мер защиты от неблагоприятных погодных явлений. Учитывая перечисленные факторы, можно с уверенностью сказать, что погода имеет более значительное воздействие на сельское хозяйство, чем на любую другую отрасль экономики. Убытки от деструкционных природных явлений приводят к потере части или всего урожая, нарушению хода и сроков полевых работ. Значительную угрозу среди них представляют засухи, заморозки, высокие дневные температуры, продолжительные проливные дожди, приводящие к полеганию растений, повышение положительных температур в период перезимовки, экстремально низкие температуры почвы и воздуха [4, 5, 6], поэтому, для поддержания рентабельной деятельности сельхозпроизводителям требуется непрерывные анализ и оценка агрометеорологических условий перезимовки и периода активной вегетации растений озимой пшеницы. К тому же большие коррективы стали вносить изменения климатических характеристик в регионе, что подтверждает значимость наших исследований, целью которых было изучить связь урожайности и составляющих ее элементов с климатическими факторами и показать их роль в формировании продуктивности озимой пшеницы Марафон в условиях Среднего Поволжья.

Материалы и методы

Полевой опыт заложен на стационарных участках отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновского НИИСХ - филиала СамНЦ РАН в лесостепной зоне Среднего Поволжья. В качестве объекта исследований использовали озимую пшеницу Марафон. Исследования проводили в 2016-2019 гг. Дата посева – 10.09.2016 г., 1.09.2017 г., 5.09.2018 г. Посевы

осуществляли сеялкой СЗ-5,4. Норма высева семян – 5,5 млн./га. Глубина заделки семян – 5...7 см.

Наблюдения, определения и учеты проведены по общепринятым методикам:

- *фенологические наблюдения* проводились в соответствии с ГОСТом 10842-64 согласно методике государственного сортоиспытания;

- *густота всходов* сельскохозяйственных культур определялась после полных всходов на 4 площадках по 0,25 м², закрепленных на каждой делянке в двух повторностях;

- *влажность почвы* определялась методом высушивания. Пробы отбирались на двух несмежных повторностях по две скважины послойно через 10 см глубиной до 1 м перед устойчивым замерзанием почвы, весной и осенью после уборки. Взятые образцы помещались в боксы, взвешивались, высушивались при температуре 140°С в течение 6 часов. Содержание влаги в почве вычислялось в % от абсолютно-сухой почвы и в мм продуктивной влаги;

- *структуру урожая* определяли в отобранных снопах с закрепленных площадок. Подсчитывалось количество растений, продуктивных стеблей. Затем сноп обмолачивался, взвешивалась масса зерна и находилась масса 1000 зерен. Повторность двукратная;

- *качество зерна* (массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 28636-90, содержание: клейковины, белка по ГОСТ 3040-55 и 9404-60) определяли в аналитической лаборатории. Пробы отбирали с каждой делянки первого и третьего повторения;

- *учет урожайности* проводился путем сплошного обмолота всей массы с учетной делянки комбайном СК-5. Данные по учету приводили к 100 % чистоте и 14 % влажности (ГОСТ 27548-97);

Все полученные результаты исследований подвергали математической обработке методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов по Доспехову Б.А. (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.*). Статистическую обработку результатов полевых опытов проводили на персональном компьютере с использованием программы AGROS версия 2.06;

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

Почва опытного участка представлена слабывыщелоченным тяжелосуглинистым черноземом на желто-бурой карбонатной глине. Пахотный слой характеризуется следующими показателями: механический состав почв тяжелосуглинистый, (частиц 0,01 мм – 45 %). Мощность гумусового горизонта 79 см, содержание гумуса 5,2 %, реакция pH водной вытяжки верхнего горизонта 7,0 вниз по профилю увеличивается до 8,1. Почвы не засолены легкорастворимыми солями, сухой остаток не превышает 0,98 %. Питательными веществами почва высокообеспечена.

Значения климатических показателей оценивали на основании данных стандартных агрометеорологических наблюдений в агрометеорологическом посту Тимирязевский, Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенного на территории Ульяновского научно-исследовательского института.

Значения запасов влаги в пахотном (0...20 см), полуметровом (0...50 см) и метровом (0...100 см) слое оценивали на основании данных стандартных агрометеорологических наблюдений в агрометеорологическом посту Тимирязевский, Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенного на территории Ульяновского научно-исследовательского института (Агрометеорологический ежегодник / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (с 1994 по 2023 гг.), Ульяновск)

Результаты

Последние десятилетия были наиболее тёплыми за всю историю регулярных наблюдений за погодой, превышая температурные рекорды за 140 лет, потепление климата уже вызвало необратимые экологические изменения, которые серьёзно угрожают безопасности сельскохозяйственного производства [8, 9, 10].

Таблица 1. Показатели изменения климата по десятилетиям

Характеристики	Десятилетие		
	1991-2000	2001-2010	2011-2020
Средняя годовая температура воздуха, °С	4,5	5,4	6,0
Годовая сумма осадков, мм	443,7	453,5	559,7

Вегетационный период, важный для роста и развития сельскохозяйственных культур, теперь подвержен влиянию современных изменений абиотических факторов, что может сказаться на продуктивности в течение года. По данным таблицы 1, индикатор изменения климата, средняя годовая температура воздуха только за последние три десятилетия в регионе повысилась на 1,5 градуса: в 1991-2000 гг. – 4,5°С, в 2011-2020 гг. – 6,0°С. Существенные изменения за рассматриваемый период претерпевает и количество выпавших осадков за год: 1991-2000 гг. – 443,7 мм, 2011-2020 гг. – 559,7 мм. Атмосферные осадки увеличились на 116,0 мм [11, 12, 13].

За годы исследований по погодным условиям посев проводили с 1. (2017 г.) по 10 сентября (2016 г.) (табл.2). Метеорологические условия на время наступления оптимальных сроков сева озимых культур были разные: в 2016 году поля, предназначенные под сев, были охвачены почвенной засухой вследствие дефицита осадков в течение последней пентады июля и августа. Ситуация была нетипичной: количество осадков за этот период не превысило 10...15% нормы, продолжительность бездождевого периода достигала до сорока дней. Однако с первых чисел сентября эффективные дожди (всего в сентябре выпало 108,0 мм при норме 55,0 мм) прекратили засуху и создали оптимальные условия для сева и роста озимых.

Таблица 2. Основные фенологические фазы развития озимой пшеницы

Фаза развития	Год исследований		
	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Посев	10.09	01.09	05.09
Всходы	20.09	10.09	20.09
3-ий лист	25.09	20.09	30.09
Обр. узловых коней	28.09	24.09	10.10
Кущение	30.09	30.09	20.10
Прекращение вегетации	11.10	26.10	27.10
Возобновление вегетации	14.04	16.04	14.04
Выход в трубку	10.05	10.05	10.05
Обр. нижнего узла соломины	20.05	20.05	20.05
Колошение	14.06	05.06	05.06
Цветение	20.06	10.06	10.06
Молочная спелость	30.06	25.06	20.06
Восковая спелость	20.07	15.07	10.07
Полная спелость	5.08	25.07	20.07
Уборка	08.08	27.07	26.07

Длительное сохранение в августе 2017 г. сухой погоды на фоне повышенных температур воздуха способствовало сокращению запасов продуктивной влаги в почве, что малоблагоприятно для начального развития озимых культур под урожай 2018 г. Фиксировали опасные агрометеорологические явления – атмосферную засуху и суховеи. В конце месяца с понижением температурного режима и выпадения осадков в количестве 14,2 мм (29.08) обстановка заметно улучшилась [13, 14, 15].

В 2018 г. предпосылки для сева озимой культуры складывались также неблагоприятно не только из-за дефицита осадков, а еще и стабильно высоких температур воздуха и почвы. Более 50 дней летне-осеннего периода (с 23.07 по 14.09) отсутствовали осадки, в третьей декаде августа и первой декаде

сентября среднесуточные температуры воздуха превышали норму на 3,5...4,0°C и составляли 19,1-17,8°C. Максимальная температура воздуха повышалась до 27...30°C, поверхность почвы нагревалась до 48...50°C Следует отметить, что в результате длительного дефицита осадков в июле-августе, когда формируется ресурс влаги для сева озимых культур, под влиянием интенсивно жаркой и практически сухой погоды распространялась и усиливалась засуха.

По данным таблицы 3, избыток влаги осенью за исследуемый период наблюдался в 2016 г. (+67,4 мм). В 2017 г. осенью выпадали умеренные осадки, в пределах средних многолетних значений, в 2018 г. осадков выпало около половины нормативных значений (91,9/-42,1).

Таблица 3. Агрометеорологические характеристики исследуемого периода.

Характеристики		2016-2017	2017-2018	2018-2019
Средняя температура воздуха, °С	За осенний период вегетации (сентябрь-ноябрь)	4,7/+0,8	6,3/+2,3	6,8/+2,8
	Зимний период (декабрь-март)	-8,5/+1,5	-8,8/+1,2	-8,6/+1,4
	Весенне-летний период (апрель- июль)	13,7/-0,5	15,4/+1,1	15,8/+1,5
Сумма осадков, мм	За осенний период вегетации (сентябрь-ноябрь)	201,4/+67,4	130,8/-3,2	91,9/-42,1
	Зимний период (декабрь-март)	136,9/+15,9	151,3/+30,3	241,0/+120,0
	Весенне-летний период (апрель- июль)	353,9/+153,9	183,5/-16,5	119,9/-80,1
Средняя годовая температура, (ср мног. 5,9°C)		2017 г- 6,1	2018 г. – 5,3	2019 г. -6,5
Абсолютный максимум температуры воздуха		32,5 (17.07)	34,7 (03.07)	34,2 (23.06)
Абсолютный минимум температуры воздуха		-30,0 (29.01)	-29,8 (01.03)	-28,0(08.12)
Абсолютный минимум температуры на глубине узла кущения		-4,8 (09.12)	-1,9 (28.02)	-7,0 (17.11)
Глубина промерзания почвы (ср. мног. 36 см)		28	38	28
Дата установления устойчивого снежного покрова (ср. мног. 24.11)		26.11	04.12	23.11
Дата схода устойчивого снежного покрова (ср. мног. 3.04)		29.03	09.04	04.04
Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова (ср. мног. -131 дн.)		124	127	133
Максимальная высота снежного покрова		55 (06.02)	71 (18.03)	60 (27.02)
Плотность снега весной, (ср. мног.0,31 г/см ³)		0,33 (20.03)	0,24	0,31
Запас воды в снеге, мм (ср. мног. 86 мм)		102,6 (+16,6)	112,0 (+26,0)	126,5 (+40,5)
Дата прекращ. вегетации (ср. мног. 15.10)		10.10	20.10	28.10
Дата возобновления вегетации (ср.14.04)		14.04	15.04	06.04
Дата посева		10.09	01.09	05.09
Дата уборки		08.08	29.07	26.07
Сумма активных температур	Осенью	337 (-23)	423 (+63)	489 (+129)
	в вегетационный период	1447 (-203)	1745 (+95)	1747 (+97)
ГТК (норма 1,0)	осенью	1,7 (+0,7)	0,8 (-0,2)	1,0 (0,0)
	в вегетационный период	2,0(+1,0)	0,5 (-0,5)	0,3 (-0,7)

Примечание: ± положительная и отрицательная аномалия.

Запасы продуктивной влаги в пахотном слое в 2016 г. были оптимальные - (37 мм), в 2018 -хорошие (23 мм), в 2017- (16 мм) пониженные.

Температурный режим воздуха в 2016 г. был в пределах нормы (4,7/+0,8), в последующие годы на 2,3 и 2,8°C теплее обычного. Соответственно сумма активных температур накопилась в 2016 г. 337°C, 2017 г. 423 и 2018 г. 489°C при норме 380°C.

ГТК в 2016 году превысил норму на 0,7 единиц, в 2017 г. был ниже средних значений (0,8), в 2018 г. соответствовал норме (1,0).

С переходом средней суточной температуры через +5°C в сторону понижения в 2016 г. 11 октября, в 2017 и 2018 гг. – 26-27 октября озимые посевы прекратили вегетацию и началась фаза закаливания (табл.4). Метеорологические условия закалки во все годы были хорошие и удовлетворительные, с переходом средней суточной температуры через 0°C растения ушли в перезимовку. Снежный покров в 2016, 2018 гг. установился 23,27 ноября, в 2017 г. -позже обычных сроков на10 дней – 4 декабря.

Таблица 4. Запасы продуктивной влаги в почве в основные фазы развития

Фазы развития растений	2016-2017			2017-2018			2018-2019		
	0-20	0-50	0-100	0-20	0-50	0-100	0-20	0-50	0-100
Посев	37	95	189	16	71	154	23	78	144
Всходы	38	98	191	19	68	143	21	53	120
3-ий лист	36	100	199	12	54	122	29	72	122
Обр. узл. Коней	38	102	200	17	68	156	22	65	137
Кущение	38	101	200	26	70	143	36	87	155
Прекращение вегетации	27	97	199	36	87	153	36	87	155
Возобновление вегетации	38	116	225	35	104	220	34	93	177
Выход в трубку	35	94	195	23	71	150	12	50	124
Обр. нижнего узла соломины	255	73	150	11	29	86	12	38	80
Колошение	23	51	109	7	32	63	3	17	35
Цветение	24	54	97	7	32	63	0	8	27
Молочная спелость	12	34	84	3	11	28	0	8	27
Восковая спелость	32	81	129	8	23	40	5	17	33
Полная спелость	24	73	146	19	43	62	26	56	78
Уборка	23	64	133	20	64	138	20	63	87

Перезимовка засеянных полей озимыми культурами проходила в условиях зимнего характера погоды. Агрометеорологические условия для зимующих культур были хорошие и удовлетворительные. Абсолютный минимум температуры воздуха временами понижался до 28-30°C (29.01-2017 г). Минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки в основном оказалась выше оптимальной и составляла 0; -2°C (оптим. -5°C), однако в отдельные дни понижалась до -7,0°C (17.11-2018 г) (табл. 3). Критических понижений температуры не наблюдалось. Почва промерзала на глубину до 28...38 см.

Отбор монолитов озимой пшеницы для определения жизнеспособности растений и их отращивание, в том числе и экспресс-методами, введенными специалистами управлений фитосанитарной безопасности проводился 25 января и 20 февраля, что свидетельствовало о высокой жизнеспособности растений озимой пшеницы (отрастание 90-96% растений). Растения находились в фазе – кущение, при их отращивании имели хорошую регенерационную способность и давали оптимистичные прогнозы на урожай озимых.

По данным полевых снегосъемных наблюдений за 20 марта, снег залегал равномерно, максимальная высота снега в 2017-2018 гг. достигала до 71 см, 2018-2019 гг. – 60 см и 2016-2017 гг. – 55 см. Оттепели способствовали уплотнению снежного покрова, плотность ее колебалась от 0,24 до 0,33 г/см. Запас воды в снеге составлял 86 мм (табл. 3). Осадков за зимний период в 2016-17 гг. накопилось 136,9 мм (+15,9), 2017-2018 гг. 151,3 (+30,3) и 2018-2019 гг. 240 мм (+120 мм).

Дата схода устойчивого снежного покрова зафиксирована в 2017 г. - 29 марта, на 4 дня раньше обычного, в 2018 г. – 9 апреля на 6 дней позже средних многолетних значений и в 2019 г. – 4 апреля. Наибольшую продолжительность залегания снежного покрова наблюдали в 2019 г. – 133 дня, наименьшую в 2017 году – 124 дня, 127 дней пролежал снег в 2018 году, тогда как средняя продолжительность в регионе составляет 131 день.

При благоприятных и удовлетворительных агрометеорологических условиях в 2017 и 2018 гг. 14.-15.04 в средние нормативные сроки, а в 2019 г. 6.04 на восемь дней раньше нормы закончилась перезимовка озимых посевов, и растения возобновили вегетацию.

Реализации намеченных планов по получению высоких урожаев способствует благоприятная ситуация по наличию запасов продуктивной влаги в почве, а также окупаемость каждого миллиметра израсходованной растениями влаги в период вегетации. По данным исследований на 1 ц зерна расходуется 7,1 мм почвенной влаги и 8,2 мм летних осадков. При этом 1 мм почвенной влаги формирует 14 кг зерна, а 1 мм летних осадков – 12,2 кг, поэтому вопрос сохранения к моменту посева накопившейся влаги и эффективное ее использование – основная стратегическая задача проведения весенне-полевых работ.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы за исследуемый период, к началу весенне-полевых работ оказались хорошие за счет осеннего увлажнения и значительного количества зимних осадков, в 2017 году они составляли 166 мм, в 2018 г – 220 мм и в 2019 г – 177 мм. (табл.3, 4). Коэффициент корреляции между урожайностью и запасами влаги в фазу возобновления вегетации в пахотном слое составил 0,9184, полуметровом- 0,8767, и метровом - 0,7421.

Учитывая тот факт, что высокий урожай зерна озимая пшеница формирует в годы, когда в начале весны запасы доступной влаги в слое почвы 0...100 см составляют 150...200 мм, удовлетворительный – 130...140, низкий – 100 мм и меньше, а также удовлетворительные агрометеорологические условия перезимовки, можно было предположить, что условия для перезимовки озимых зерновых культур были хорошими и удовлетворительными и располагали к получению хороших урожаев.

Активная вегетация растений началась с переходом средней суточной температуры через +10°C в последние числа апреля (27.04), 10 мая у растений зафиксирована фаза выхода в трубку, несмотря на

то что за зимний период в 2018-2019 г. выпало максимальное количество осадков, запасы продуктивной влаги в почве были наименьшие – 124 мм в метровом, 12 мм в пахотном слое (табл.4.).

В весенне-летний период 2018 и 2019 г. средняя температура оказалась на 1,5 и 1,1 °С выше нормы, поэтому развитие растений проходило в ускоренном темпе, 5 июня растения закосились, а в 2017 г. наоборот температура была ниже на 0,5°С, озимые закосились на девять дней позже (14.06) (табл. 2). Гидротермический коэффициент в вегетационный период 2017 г. составил 2,0. Острый недостаток осадков наблюдался в 2019 г (-80,1мм) и наибольшее количество сумм активных температур (1747°С), в результате чего гидротермический коэффициент не превышал 0,3 единиц (табл. 3). Коэффициент корреляции между урожайностью и запасами влаги в фазу выхода в трубку показывает наиболее тесную связь: в пахотном слое – 0,9988, полуметровом – 0,9989 и метровом – 0,9967.

Температурный режим и влагообеспеченность посевов - основные экологические факторы, которые имеют существенное значение для развития растений в течение вегетационного периода. Ввиду того, что поля опытных исследований находятся в неустойчивой зоне увлажнения, обеспечение посевов водой было решающим фактором для создания высокого уровня продуктивности растений озимой пшеницы. Так в 2017 г. умеренный температурный режим и обилие влаги способствовали формированию наибольшей продуктивной кустистости 2,75, в то время, как в менее благоприятные по температурному режиму и количеству выпавших осадков 2018 и 2019 гг. показатели продуктивной кустистости не превышали 1,64 и 1,97. (табл.5).

Суммарное число осадков в весенне-летний период вегетации довольно четко определило урожайность зерновых культур. Наибольший урожай озимых сформировался в 2017 г. с количеством осадков в апреле – июле 353,9 мм при климатической норме 193 мм. В этом году создание зерновки и налив проходили в благоприятных условиях. Достаточное количество осадков, выпавших в июне и июле в количестве 76,7 и 163 мм, температурный режим в июле, близкий к норме 19,6°С (норма 19,7°С), создали хорошие условия для развития и роста растений озимой пшеницы и позволили получить высокий урожай –7,5 т/га. В 2018 году при снижении объема осадков в изученном периоде до 182 мм урожайность уменьшилась на 2,76 т/га в сравнении с 2017 г. и составила 4,74 т/га. В более засушливом 2019 году, в котором сумма осадков в апреле-июле не превысила 119 мм, а температура воздуха превосходила среднееголетнее значение на 1,1°С все самые важные этапы развития растений, которые влияют на рост и продуктивность озимой пшеницы, проходили в экстремально засушливых условиях. В мае отмечалась высокая температура воздуха (на 3,9°С выше нормы) и небольшое количество осадков – 13,3 мм или 33,2 % от нормы, в июне выпало 26,5 мм или 45,6 % от нормы. При повышенном температурном режиме на 1,6 °С выше нормы. Все это в результате привело к значительному снижению урожайности на 4,90 и 1,87 т/га, в сравнении с более благоприятными в плане влагообеспечения 2017-2018 гг.

Высокая урожайность, полученная в 2017 г., была обусловлена положительным влиянием погодных условий на прирост биомассы вследствие увеличения количества боковых стеблей опытной культуры [17,18].

Таблица 5. Структура урожая и качественные показатели зерна озимой пшеницы и их корреляционная связь с урожайностью

Элемент структуры урожая	Ед. измерения	2017г.	2018 г.	2019г.	Коэффициент корреляции
Количество растений,	шт/м ²	127,0	285,5	176,0	0,3070
Продуктивных стеблей,	шт/м ²	349,0	468,5	347,5	0,6200
Кустистость	коэф.	2,75	1,64	1,97	0,6933
Длина колоса	см.	8,2	6,5	7,1	0,6923
Масса 1000 зерен	г.	48,2	41,4	38,0	0,9933
Число зерен в колосе,	шт.	43,3	33,7	39,5	0,4583
Масса зерна с 1 колоса,	г.	2,4	1,31	1,52	0,8061
Содержание белка	%	13,9	12,1	13,8	0,0232
Содержание клейковины	%	32,2	26,6	31,5	-0,0420
Урожайность	т/га	7,50	4,74	2,60	-

Это подтверждает тот факт, что в этом году продуктивная кустистость увеличивалась 40,4-28,3 % по сравнению с 2018 и 2019 гг. Последнее положительно повлияло на усиление фотосинтетических процессов, что в конечном итоге отразилось на продуктивности озимой пшеницы.

Анализ пробных снопов перед уборкой урожая показал, что в 2017 г. масса зерна с колоса увеличивалась по сравнению с 2018 и 2019 г. на 46,3 и 37,7%,

повысились длина колоса на 20,7 и 13,4% и число зерен в колосе соответственно на 9,6 и 3,8 шт. (табл.5).

Корреляционный анализ показал значимые положительные корреляции между величинами урожайности и продуктивной кустистости, урожайностью и длиной колоса, где коэффициент корреляции составил – 0,69. А так же обнаружена высокозначимая положительная корреляционная связь урожайности с массой зерна с 1 колоса $r = 0,87$, числом

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

зерен в колосе $r = 0,85$ и массой 1000 зерен $r = 0,99$. Базируясь на величине коэффициента корреляции, мы так же получили данные о тесной корреляции между урожайностью зерна и гидротермическим коэффициентом $r = 0,94$.

Не менее важной составляющей урожайности является масса 1000 зерен, которая зависит как от биологических характеристик сорта, так и от условий года. По массе 1000 зерен можно судить о крупности зерна, она является показателем качества семян, влияет на их жизнеспособность [16, 17, 18]. Показатели массы 1000 зерен так же определялись гидротермическими условиями периода активной вегетации. Наибольшая масса 1000 зерен за весь период исследований была отмечена в 2017 г. и составила в среднем 48,2 г. Лучшие условия влагообеспеченности этого года способствовали удлинению всех фаз зернообразования, стабильному накоплению сухого вещества и как следствие формированию большей массы 1000 зерен. В 2019 г. из-за минимального количества осадков в засушливый период наряду с повышенными температурами воздуха было получено самое мелкое зерно с массой 1000 зерен 38,0 г.

Температурный режим и количество атмосферных осадков во все периоды роста и развития растений оказывали влияние не только на формирование урожайности, но и на качественные показатели зерна озимой пшеницы. В остро засушливом 2019 году (ГТК=0,3) урожайность была низкой, но реализовывалась высокая белковая продуктивность. Содержание белка и клейковины в зерне озимой пшеницы составило 13,8 и 31,5%. В 2017 г. при оптимальной влажности содержание белка и клейковины

составило 13,9 и 32,2%. В 2018 г. было получено зерно самого низкого качества с содержанием белка и клейковины 12,1...26,6%, что объясняется специфическими погодными условиями на завершающих этапах созревания озимой пшеницы. В период налива зерна (конец июня - июль) стояла жаркая и засушливая погода, на 3,4 °C выше нормы, осадков за этот период выпало 37,2% от среднемноголетнего значения, в связи с этим процессы ассимиляции замедлялись. Зерно быстро перешло от молочной спелости к полной зрелости, и количество пластических веществ осталось практически таким, как в начале периода молочной спелости.

Эффективное использование влаги является ключевым фактором для повышения уровня урожайности и обеспечения устойчивости сельскохозяйственного производства и при этом важным показателем является расход продуктивной влаги на единицу урожая – коэффициент водопотребления, который зависит от общего расхода влаги (табл. 6). Для оценки эффективности использования продуктивной влаги в годы исследований нами были проведены расчеты водопотребления озимой пшеницы. Для определения суммарного водопотребления использовались такие показатели, как запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в период всходов растений и перед уборкой урожая, количество выпавших осадков за вегетацию и урожайность озимой пшеницы. Наименьший коэффициент водопотребления был получен в 2017 г. и составил 57,2 мм/т, что было ниже, чем в 2018 и 2019 гг. на 17,7 и 27,0 мм соответственно.

Таблица 6. Структура показателей водного баланса на посевах озимой пшеницы

Показатель водного баланса		Год исследований		
		2017	2018	2019
Запас продуктивной влаги в почве, мм	весной	225,0	220,0	177,0
	В фазу полной спелости	146,0	62,0	78,0
Количество использованной влаги из почвы	мм	79,0	158,0	99,0
	% от суммарного водопотребления	18,4	47,2	45,2
Количество использованных осадков за апрель-июль	мм	350,2	177,0	119,9
	% от суммарного водопотребления	81,6	52,8	54,8
Суммарное водопотребление, мм		429,2	335,0	218,9
Коэффициент водопотребления, мм/т		57,2	74,9	84,2

В 2017 г. агроклиматические условия были благоприятными для возделывания озимой пшеницы и позволили повысить эффективность использования влаги по сравнению с 2018 и 2019 г.г. на 31 и 47%.

Обсуждение

Из литературных источников [2, 3, 8] известно, что засуха и высокая температура отрицательно влияют на урожай и качество зерна, особенно если они возникают в период налива зерна, когда процессы ассимиляции замедляются. Зерно быстро переходит от молочной спелости к полной зрелости, и количество пластических веществ практически не изменяется. Период налива зерна сокращается, что затрудняет реализацию потенциала продуктивности и качества современных сортов. Наши исследования

показали, что урожайность зерновых культур увеличивается, если в первую половину вегетационного периода выпадает достаточное количество осадков, и наоборот, высокие температуры воздуха в начале вегетационного периода приводят к снижению урожайности. Анализ данных за 2017-2019 гг. также показал, что урожайность и качество зерна озимой пшеницы зависят от абиотических факторов, особенно от запасов продуктивной влаги перед посевом и количества осадков в период налива. По данным исследований высокий урожай зерна озимая пшеница формировала в годы, когда в начале весны запасы доступной влаги в слое почвы 0...100 см составляют 150...200 мм, удовлетворительный – 130...140, низкий – 100 мм и меньше, а также

удовлетворительные агрометеорологические условия перезимовки, можно было предположить, что условия для перезимовки озимых зерновых культур были хорошими и удовлетворительными и располагали к получению хороших урожаев.

Результаты наших исследований согласуются с исследованиями, проведенными В.М. Катцовым, Е.И. Хлебниковым, О.Г. Чуян и другими авторами [1, 8]. Дальнейшие исследования должны быть направлены на выявление зон риска засух и разработку адаптивных сортов и агротехнологий, учитывающих особенности каждого региона. Мониторинг агрометеорологических условий, использование современных технологий точного земледелия и селекция засухоустойчивых сортов позволят минимизировать негативное влияние абиотических факторов и обеспечить стабильное производство высококачественного зерна озимой пшеницы.

Заключение

Тенденции климатических изменений за последние три десятилетия свидетельствуют о повышении средней температуры воздуха на 1,5°C и увеличении количества осадков на 116 мм.

Анализ данных 2017-2019 гг., разных по агрометеорологическим условиям, продемонстрировал, что урожайность, а также физико-химические показатели качества зерна озимой пшеницы зависят от

абиотических факторов в первую очередь, от запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом ($r = 0.97$) и количеством осадков, выпавших в период налива зерна ($r = 0.98$). Поэтому максимальные показатели урожайности и сырой клейковины сформировались в более благоприятном по влагообеспеченности 2017 г., а самые низкие значения отмечали в менее благоприятных условиях 2018 г., в котором налив зерна проходил под действием засушливых погодных условий от фазы цветения до середины молочной спелости и к концу восковой спелости, что отрицательно сказалось на продуктивности зерна.

Суммарное водопотребление в 2017 г. составило – 429,2 мм, в 2018 г. – 335,0 мм и в 2019 г. – 218,9 мм, соответственно коэффициент водопотребления 57,2, 74,9 и 84,2 мм/т ($r = 0.99$). В сложившихся агроклиматических условиях 2018-2019 гг. колошение озимой пшеницы наступало раньше, чем в 2017 г. на 9 дней, период налива и созревание зерна – на 5...10 и 9...12 дней. В целом, регулярный мониторинг повышения влагообеспеченности и использование комплексного подхода к увеличению урожайности озимой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения является ключевым фактором успешного ведения сельского хозяйства.

Литература

1. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации / В. М. Катцов, Е. И. Хлебникова, И. М. Школьник и др. // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 46–58.
2. Градусова В. Н., Строкан Е. В. О повышении роли сельского хозяйства в обеспечении экономической безопасности современной России // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № (68). С. 144-150. doi: 10.12737/2073-0462-2023-144-150. EDN AOWXJK.
3. Шарипова Р. Б. Тенденции изменения климата и агроклиматических ресурсов Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур: Монография. Ульяновск: УлГТУ, 2020. 137 с.
4. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области / А. В. Дозоров, В. А. Исайчев, К. И. Карпович, и др. (2-е издание, дополненное и переработанное). Ульяновск, 2017. 448с.
5. Петров М. В. Лесомелиоративное обустройство агроландшафтов лесостепи Приволжской возвышенности. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет. 2023. 128 с.
6. Петров М. В., Аюпов Д. Э., Ромадина С. О. Влияние различных систем консервации залежных земель на агрофизические свойства почвы // Передовые достижения науки в молочной отрасли : Сборник научных трудов по результатам работы V Международной научно- практической конференции. Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина. 2023. Том. 1. С. 289-292.
7. Оценка роли климатических, почвенных и агротехнических факторов в формировании ресурсов продуктивности агроландшафтов Центрального Черноземья / О. Г. Чуян, Г. П. Глазунов, Л. Н. Караулова, и др. // Метеорология и гидрология. 2022. №6. С. 79-87.
8. Steffen H. J., Lenton T. M. Climate tipping points — too risky to bet against. Nature, 575(7784), 592–595. doi:10.1038/d41586-019-03595-0.
9. Кузина Е. В. Изменение структуры и величины урожая озимой пшеницы при различных способах обработки почвы // Международный сельскохозяйственный журнал 2023. Том 66 №4 (394) С. 395-397. doi: 10.55186/25876740_2023_66_4_395.
10. Никитин С. Н. Оценка изменения агроклиматического потенциала Ульяновской области на производство продукции растениеводства // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (59). С. 36-42.
11. Оценка агроклиматических ресурсов и урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан / В. Н. Павлова, Ю. П. Переведенцев, А. А. Караченкова и др. // Метеорология и гидрология. 2023. №1. С. 77-90.

12. Шарипова Р. Б. Оценка динамики запасов продуктивной влаги в почвах на полях Ульяновской области в региональных условиях изменения климата // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №1(65). С.54-61. doi:10.18286/1816-4501-2024-1-54-61

13. Захаров В. Г., Яковлева О. Д. Сорты яровой мягкой пшеницы селекции Ульяновского НИИСХ для условий Волго-Вятского региона // Пермский аграрный вестник. 2024. №3 (47). С. 20-28.

14. Кузина Е. В. Влияние предшественников, способов основной обработки почвы и удобрений на засоренность посевов и урожайность озимой пшеницы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. №1(167). С.63-66.

15. Никитин С.Н., Хакимов Р. А. Влияние сроков сева, средств химизации и биологизации на продуктивность и качество озимой пшеницы в условиях лесостепи среднего Поволжья. Ульяновск: УлГТУ, 2024. 122 с.

16. Солодовников А. П., Лёвкина А. Ю. Влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Саратовском Заволжье // Аграрный научный журнал. 2020. №3. С. 29-35.

17. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving technologies / Research Journal of international Studies / N. A. Lapshinov, V. N. Pakul, G. V. Bozhanova et al. // Mezdunarodnyj naueno-issledovatel'skij zurnal. 2013. No 4 (11). P. 131-134.

18. Никитин С. Н. Урожайность озимой пшеницы при комплексном использовании органических удобрений с диатомитом и биопрепаратом // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 36-39.

References

1. Probabilistic scenario forecasting of regional climate as a basis for development of adaptation programs in the economy of the Russian Federation / V. M. Kattsov, E. I. Khlebnikova, I. M. Shkolnik et al. // Meteorology and hydrology. 2020. No.5. P. 46-58.

2. Gradusova V. N., Strokan E. V. On increasing the role of agriculture in ensuring the economic security of modern Russia // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2023. Vol. 17 No. 4 (68). P. 144-150. doi: 10.12737/2073-0462-2023-144-150. EDN AOWXJK.

3. Sharipova R. B. Trends in climate change and agroclimatic resources of Ulyanovsk region and their impact on the yield of grain crops: Monograph. Ulyanovsk: UISTU, 2020. 137 p.

4. Adaptive landscape farming system of the Ulyanovsk region / A. V. Dozorov, V. A. Isaichev, K. I. Karpovich, et al. (2nd edition, supplemented and revised). Ulyanovsk, 2017. 448 p.

5. Petrov M. V. Forest reclamation arrangement of agrolandscapes of the forest-steppe of the Volga Upland. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University. 2023. 128 p.

6. Petrov M. V., Ayupov D. E., Romadina S. O. Influence of various systems of conservation of fallow lands on agrophysical properties of the soil // Advanced achievements of science in the dairy industry: Collection of scientific papers based on the results of the V International scientific and practical conference. Vologda-Molochnoye: Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagina. 2023. Vol. 1. P. 289-292.

7. Assessment of the role of climatic, soil and agrotechnical factors in formation of productivity resources of agricultural landscapes of the Central Black Soil Region / O. G. Chuyan, G. P. Glazunov, L. N. Karaulova, et al. // Meteorology and Hydrology. 2022. No. 6. P. 79-87.

8. Steffen H. J., Lenton T. M. Climate tipping points — too risky to bet against. Nature. Vol. 575 (7784). P. 592–595. doi:10.1038/d41586-019-03595-0.

9. Kuzina E. V. Changes in the structure and size of winter wheat yield in case of different methods of soil cultivation // International Agricultural Journal 2023. Vol. 66 No.4 (394) P. 395-397. doi: 10.55186/25876740_2023_66_4_395.

10. Nikitin S. N. Assessment of changes in the agroclimatic potential of Ulyanovsk region for crop production // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. No.3 (59). P. 36-42.

11. Assessment of agroclimatic resources and yield of spring wheat in the Republic of Tatarstan / V. N. Pavlova, Yu. P. Perevedentsev, A. A. Karachenkova et al. // Meteorology and Hydrology. 2023. No.1. P. 77-90.

12. Sharipova R. B. Assessment of the dynamics of productive moisture reserves in soils in the fields of Ulyanovsk region under regional conditions of climate change // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No.1 (65). P. 54-61. doi: 10.18286 / 1816-4501-2024-1-54-61

13. Zakharov V. G., Yakovleva O. D. Varieties of spring soft wheat bred by Ulyanovsk Research Institute of Agriculture for the conditions of the Volga-Vyatka region // Perm Agrarian Vestnik. 2024. No.3 (47). P. 20-28.

14. Kuzina E. V. Influence of forecrops, methods of primary tillage and fertilizers on weed infestation of crops and yield of winter wheat // International Agricultural Journal. 2024. No.1 (167). P. 63-66.

15. Nikitin S. N., Khakimov R. A. Influence of sowing dates, chemicalization and biologization means on productivity and quality of winter wheat in the forest-steppe of the Middle Volga region. Ulyanovsk: UISTU, 2024. 122 p.

16. Solodovnikov A. P., Levkina A. Yu. Influence of soil cultivation methods and agrochemicals on yield and quality of winter wheat grain in Saratov Trans-Volga region // Agrarian Scientific Journal. 2020. No.3. P. 29-35.

17. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving technologies / Research Journal of International Studies / N. A. Lapshinov, V. N. Pakul, G. V. Bozhanova et al. // Mezdunarodnyj naueno-issledovatel'skij zurnal. 2013. No.4 (11). P. 131-134.

18. Nikitin S. N. Winter wheat yield with the integrated use of organic fertilizers with diatomite and a biopreparation // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2017. Vol. 31. No.4. P. 36-39.