Аграрный научный журнал. 2024. № 11. С. 26–34
Agrarian Scientific Journal. 2024;(11):26–34

АГРОНОМИЯ
4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Научная статья
УДК 631.559:633.11:631.8
doi: 10.28983/asj.y2024i11pp26-34

Влияние погодных условий на урожайность яровой пшеницы в зависимости от степени обеспеченности подвижным фосфором луговой черноземовидной почвы Амурской области

Илья Александрович Кубасов[1], Татьяна Александровна Асеева[2]
[1] Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск, Россия
[2] Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения РАН, Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Хабаровск, Россия
e-mail: 89145656ilya@gmail.com

Аннотация. По результатам исследований, полученным в длительном стационарном опыте (2019–2023 гг), установлено, что в условиях Амурской области с повышением степени обеспеченности почвы подвижным фосфором влияние негативных погодных факторов на урожайность зерна яровой пшеницы снижается. Погодные условия периода вегетации яровой пшеницы были сложными для роста и развития растений. Исключением являлся 2020 г., когда осадки и тепло более равномерно распределились по периодам вегетации культуры. Методом парной корреляции выявлено, что с повышением обеспеченности почвы подвижным фосфором связь между урожайностью и погодными факторами становилась слабее, что обусловило нивелирующее действие фосфорных удобрений на неблагоприятные метеорологические условия. Сумма осадков (r = 0,57...0,45) и гидротермический коэффициент (r = 0,54...0,37) оказывали положительное влияние на формирование урожайности пшеницы в период кущения – выхода в трубку независимо от уровня фосфора. При проведении множественного регрессионного анализа в модели «урожайность – сумма осадков» и «урожайность – сумма температур» установлено, что сопряженность данных показателей в период кущения – выхода в трубку была сильной по всем фосфатным уровням, однако отмечали ослабление связи от низкой до высокой степени обеспеченности P_2O_5. Долевое участие суммы температур и осадков было достоверно выше на неудобренном варианте (69 и 63 % соответственно). С возрастанием уровня подвижных фосфатов в почве долевое участие погодных факторов снижалось.

Ключевые слова: яровая пшеница; погодные условия; степень обеспеченности подвижным фосфором; урожайность зерна; удобрения; длительный опыт

Для цитирования: Кубасов И. А., Асеева Т. А. Влияние погодных условий на урожайность яровой пшеницы в зависимости от степени обеспеченности подвижным фосфором луговой черноземовидной почвы Амурской области // Аграрный научный журнал. 2024. № 11. С. 26–34. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp26-34.

AGRONOMY

Original article

The influence of weather conditions on the yield of spring wheat depending on the degree of supply of mobile phosphorus in meadow chernozem-like soil in the Amur region

Ilya A. Kubasov[1], Tatiana A. Aseeva[2]
[1] All-Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia
[2] Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk, Russia
e-mail: 89145656ilya@gmail.com

Abstract. The results of studies in long-term inpatient experience conducted in 2019–2023 are presented. It has been established that with an increase in the supply of mobile phosphorus, the influence of negative weather factors on the grain yield of spring wheat decreases in the conditions of the Amur region. The weather conditions during the spring wheat growing season were difficult for plant growth and development. The exception is 2020, in which precipitation and heat were more evenly distributed throughout the growing season of the crop. Using the pair correlation method, it was revealed that with an increase in the supply of mobile phosphorus to crops, the relationship between yield and weather factors became weaker, which determines the leveling effect of phosphorus fertilizers on unfavorable weather conditions. The sum of precipitation (r = 0.57...0.45) and hydrothermal coefficient (r = 0.54...0.37) had a positive effect on the formation of wheat yield in the tillering-booting stage,

regardless of the phosphorus level. When conducting multiple regression analysis in the “yield-total precipitation” and “yield-total temperature” models, it was found that the association of these indicators during the tillering-booting stage period was strong for all phosphate levels, however, a weakening of the relationship from low to high degree was noted supply of P_2O_5. The share of the sum of temperatures and precipitation was significantly higher in the unfertilized variant (69 and 63 %, respectively). With an increase in the level of mobile phosphates in the soil, the share of weather factors decreased.

Keywords: spring wheat; weather conditions; availability of mobile phosphorus; grain yield; fertilizers; long-term experience

For citation: Kubasov I. A., Aseeva T. A. The influence of weather conditions on the yield of spring wheat depending on the degree of supply of mobile phosphorus on meadow chernozem-like soil in the Amur region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal.* 2024;(11):26–34. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp26-34.

Введение. Ведущая роль в обеспечении продовольственной безопасности страны отводится продуктам переработки пшеницы [10]. Яровая пшеница среди зерновых является самой ценной продовольственной культурой. Она наиболее требовательна к условиям выращивания. Из всех основных причин, влияющих на формирование урожайности, основными являются антропогенный фактор (внесение удобрений) и погодные условия вегетационного периода. При этом на долю погоды приходится до 70 %, удобрений – до 30 % [1]. По результатам длительных опытов, урожайность культуры в сильной степени зависит от складывающихся за период вегетации гидротермических условий. Неравномерное выпадение осадков и отклонение температурного режима от нормы вызывают сильное варьирование данного показателя. Так, в регионах с преимущественным возделыванием зерновых культур урожайность изменялась от низкой в условиях Краснодарского края (V = 13,4 %) до высокой – в Оренбургском Предуралье (V = 44,9 %) [4, 18]. По мнению авторов, это обусловлено неравномерным распределением влаги на фоне нестабильного температурного фона в течение вегетации, особенно в ответственные межфазные периоды роста и развития культуры. Многими исследователями установлена слабая зависимость яровой пшеницы от погодных условий в начальные периоды роста, которая усиливалась во второй половине вегетации, что совпадало с периодом интенсивного накопления пластических веществ в растениях, для аккумуляции которого требуются оптимальные гидротермические условия [5, 13]. В этот период недостаток тепла и влаги приводит к нарушению механизма закладки колоса и зерен, что негативно отражается на формировании и величине урожая культуры [14]. Некоторые исследователи отмечают, что для яровой пшеницы наиболее значимыми являются осадки критического периода – от фазы выхода в трубку до колошения [5]. В условиях Амурской области это приходится на июнь и июль.

Климатические факторы также могут определять способность сельскохозяйственных культур усваивать элементы минерального питания и интенсивность продукционного процесса [16]. Имеются данные о снижении влияния неблагоприятных погодных факторов на рост и развитие растений посредством оптимизации уровня элементов питания под посевами пшеницы. Улучшение пищевого режима почвы под посевами культуры приводит не только к повышению выхода зерновой продукции, но и снижает варьирование данного показателя при негативных погодных сценариях [9]. По данным С.А. Шафрана [8] и О.В. Волынкиной [7], устойчивость пшеницы к неблагоприятным погодным факторам усиливалась при внесении азотных и фосфорных удобрений. При этом последние способствуют получению стабильных урожаев зерна яровой пшеницы. И. В. Лысковой [15] установлено, что хорошая обеспеченность почвы подвижными фосфорными соединениями позволяет нивелировать неблагоприятное действие погодных условий.

Несмотря на многочисленные исследования фосфорного питания яровой пшеницы, данных о стабилизирующем действии длительного внесения фосфорных удобрений на урожайность яровой пшеницы в изменяющихся погодных условиях недостаточно.

Цель исследований – изучить влияние погодных условий периода вегетации на урожайность яровой пшеницы в зависимости от уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором.

Материалы и методы. Исследования с яровой пшеницей проводили в 2019–2023 гг. на базе длительных стационарных опытов в ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои в зерновом соевом севообороте на луговой черноземовидной среднемощной почве. В частности, на третьем и пятом полях,

на момент прохождения 12-й ротации стационарного пятипольного севооборота (овес – соя – пшеница – соя – пшеница) закладки 1962–1964 гг.

Агрохимическое состояние пахотного слоя данной почвы характеризуется значительными валовыми запасами основных элементов питания, %: N – 0,26, P_2O_5 – 0,23, K_2O – 1,23. При этом на долю подвижных соединений приходится незначительная часть: минерального азота – до 25–42 мг/кг, подвижного фосфора – 28–32 мг/кг. Подвижного калия содержится повышенное количество – до 138–182 мг/кг. Содержание гумуса – 4,1–4,7 %. Почва отличается высоким показателем суммы поглощенных оснований (30–40 мг-экв на 100 г почвы) с преобладанием в ее составе ионов кальция. Степень насыщенности основаниями – 85–90 %. Подвижный фосфор и калий определяли методом А.Т. Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011); обменный аммоний – методом ЦИНАО (ГОСТ-26489-90), нитратный азот – методом ЦИНАО (ГОСТ26951-91).

Для выявления влияния уровня обеспеченности подвижным фосфором на урожайность яровой пшеницы при разных погодных условиях была разработана следующая схема опыта (при длительном применении удобрений). Она включала в себя варианты с различной степенью обеспеченности почвы подвижным P_2O_5, (таблица 1). Ранжирование уровней обеспеченности проводили в соответствии с градацией для зерновых культур, разработанной во ВНИИ сои, мг/кг почвы: низкий – 27–35, средний – 37–50 и повышенный – свыше 55 [12].

Таблица 1 – Схема опыта

Table 1 – Experimental scheme

Степень обеспеченности почвы подвижным P_2O_5, мг/кг	Обеспеченность почвы подвижным фосфором	Среднегодовая нагрузка удобрений на 1 га севооборотной площади
Контроль	Фон 1	Без удобрений
Низкая (27–35)	Фон 1	N_{24}
Средняя (37–50)	Фон 2	P_{30}
Повышенная (более 55)	Фон 3	$N_{42}P_{48}$

В опыте возделывали сорт мягкой яровой пшеницы Арюна. Общая площадь делянки – 180 м^2, учетная – 72 м^2. Повторность закладки опыта – 3-кратная во времени и пространстве, расположение вариантов – систематическое. Учет урожайности зерна яровой пшеницы проводили механизированным способом с пересчетом на 14%-ю влажность и 100%-ю чистоту.

При проведении исследований применяли минеральные удобрения: аммиачную селитру (N 34,5 %) и аммофос (N 12 %, P_2O_5 52 %), которые вносили вручную перед посевом культуры.

Климат Амурской области континентальный (в зимнее время года) с признаками муссонности летом. В холодное время года ветры, направленные со стороны материка, несут холодный и сухой воздух. Летом преобладают юго-восточные ветры, дующие с океана, которые приносят много влаги, вследствие чего лето дождливое и теплое. В отдельные годы в период всходы – кущение наблюдается недостаток влаги. Отличительной чертой климатических условий в регионе является неравномерное выпадение осадков по сезонам года. Максимальное их количество приходится на июль – август, что приводит к временному переувлажнению почвы. Избыточное увлажнение в конце вегетационного периода пшеницы затрудняет уборку культуры.

При описании погодных условий использовали метеорологические данные МС «Благовещенск» (температура воздуха) и МС «Садовое» (количество осадков) [2].

Отбор почвенных образцов вследствие сезонно-мерзлотного режима почв Приамурья до посева яровой пшеницы не проводили. По данным В.Ф. Прокопчук, содержание элементов питания мало изменяется с осени предшествующего года до наступления весны следующего года в условиях Амурской области [17]. Поэтому для доказательства зависимости фосфорных фонов и урожайности зерна яровой пшеницы использовали осенние запасы этого элемента питания.

Статистическую обработку урожайных данных проводили по Б.А. Доспехову [9]. Взаимосвязь погодных условий с урожайностью яровой пшеницы устанавливали методом линейного корреляционного и нелинейного регрессионного анализов с помощью прикладных программ

Excel и Statistica 10. При проведении множественного корреляционно-регрессионного анализа вычисляли долевое влияние погодных факторов на урожайность зерна пшеницы по коэффициенту детерминации. Коэффициент детерминации рассчитывали по коэффициенту частной регрессии.

Результаты исследований. Урожайность яровой пшеницы в годы проведения исследований формировалась под влиянием сложившихся гидротермических условий, степени обеспеченности почвы подвижным фосфором и вносимых удобрений (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на урожайность пшеницы, т/га

Table 2 – Effect of soil availability of available phosphorus on wheat yield, t/ha

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Без удобрений + фон 1	2,52	3,25	1,88	2,63	2,42	2,54
N_{24} + фон 1	2,63	3,61	2,18	2,71	2,28	2,68
P_{30} + фон 2	2,55	3,48	1,95	2,57	2,40	2,59
$N_{42}P_{48}$ + фон 3	2,86	3,64	2,67	3,52	2,63	3,06
$НСР_{05}$	0,36	0,48	0,16	0,30	0,21	0,24
Критерий Фишера ($F_ф$)	$F_ф<F$т	$F_ф<F$т	$F_ф>F$т	$F_ф>$Fт	$F_ф>$Fт	$F_ф>F$т

Результаты исследований показали, что с повышением уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором урожайность возрастала. В среднем за изучаемые годы прибавка урожая относительно контроля составила 5–20 % в зависимости от обеспеченности почвы P_2O_5 и среднегодовой нагрузки удобрениями (см. таблицу 2). Это подтверждается тесной корреляционной зависимостью между урожайностью зерна и содержанием подвижного фосфора в почве с повышенной степенью обеспеченности P_2O_5 и среднегодовой нагрузкой $N_{42}P_{48}$ ($r = 0,82$).

Исследованиями в условиях юга черноземной зоны РФ, где лимитирующим фактором выступает недостаток влаги на фоне повышенных температур в начале роста и развития культуры, выявлено, что колебания погоды приводили к высокой вариабельности урожайности (44,9 %) [18]. По нашим данным, в годы исследований урожайность при отсутствии удобрений была средней, коэффициент вариации составил V = 19,4 %.

Установлено, что с улучшением пищевого режима почвы посредством внесения удобрений коэффициент вариации урожайности снижается, особенно это касается обеспеченности фосфором [12]. Аналогичная ситуация выявлена в наших исследованиях. В вариантах с низкой и средней степенью обеспеченности почвы подвижным фосфором с использованием азотных и фосфорных удобрений (N_{24} и P_{30}) урожайность находилась примерно на одном уровне – 19,2 и 21,5 %. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{42}P_{48}$ по фону с повышенной обеспеченностью подвижным фосфором приводило к снижению вариабельности данного показателя до 16 %. Это указывает на то, что при неблагоприятном гидротермическом режиме для роста и развития культуры почвы с повышенной обеспеченностью подвижным фосфором нивелируют отрицательное воздействие погодных условий на урожайность.

Особенности агроклиматических условий территории оказывают существенное влияние на рост и развитие яровой пшеницы в процессе ее вегетации. Важным условием для нормального развития растений является оптимальное значение тепло- и влагообеспеченности посевов в основные фазы вегетации: всходы – кущение, кущение – выход в трубку, выход в трубку – колошение. Так, период всходы – кущение характеризовался пониженным требованием растений яровой пшеницы к тепловому режиму и наличием достаточного количества влаги для хорошей дифференциации конуса нарастания и главной оси зачаточного колоса. В фазу кущения – выхода в трубку необходима оптимальная температура (16–23 °С) и влажность почвы не ниже 70 % ППВ. При неблагоприятных погодных условиях отмечали нарушения в формировании генеративных органов. Период выхода в трубку – колошения зерновых культур благополучно протекал при температуре воздуха 20–23 °С, влажности почвы 60–70 % ППВ и достаточной освещенности

посевов. Недостаточное количество влаги и питательных веществ в этот период приводит к щуплости зерна [6].

Гидротермические условия по межфазным периодам развития яровой пшеницы оказывали влияние на урожайность зерна в опыте (таблица 3).

Таблица 3 – Гидротермические условия по фазам развития пшеницы

Table 3 – Hydrothermal conditions by phases of wheat development

Год	Всходы – кущение (1-й период)			Кущение – выход в трубку (2-й период)			Выход в трубку – колошение (3-й период)		
	∑ *t*, °С	∑ осадков, мм	ГТК	∑ *t*, °С	∑ осадков, мм	ГТК	∑ *t*, °С	∑ осадков, мм	ГТК
2019	280	61	2,2	496	116	2,3	798	214	2,7
2020	306	45	1,5	518	110	2,1	825	139	1,7
2021	275	73	2,7	518	68	1,3	897	106	1,2
2022	268	49	1,8	529	81	1,5	888	103	1,2
2023	299	33	1,1	524	48	0,9	860	114	1,3
Средняя многолетняя	290	30	1,0	528	72	1,4	827	130	1,6

Гидротермические условия прохождения основных периодов роста и развития растений пшеницы в годы исследований были в основном благоприятными с незначительными отклонениями количества осадков от среднемноголетней нормы (2019 и 2023 гг.) и суммы температур приземного слоя воздуха (2022 г.). Исключением являлся вегетационный период 2021 г., который был неблагоприятным для роста и развития культуры. Так, начало вегетационного периода всходы – кущение было избыточно влажным (ГТК = 2,7). Сумма температуры воздуха была на 5 % выше среднемноголетнего показателя. Фаза кущения – выхода в трубку протекала при близких значениях по тепло- и влагообеспеченности посевов. В 3-м периоде развития яровой пшеницы наблюдали сильное превышение температуры (на 90 °С) и уменьшение количества осадков (на 19 %) относительно среднемноголетних значений. К моменту созревания пшеницы отмечали переувлажнение почвы опытного участка, вызванное обильным выпадением осадков, что привело к затруднениям при уборке урожая и, следовательно, потерям зерна.

Напротив, условия вегетационного периода в 2020 г. были самыми благоприятными для роста и развития яровой пшеницы из всех изучаемых лет. Период всходы – кущение проходил в условиях превышения суммы температур на 16 °С и осадков на 15 мм от среднемноголетних значений. Второй период развития (конец июня – середина июля) характеризовался переувлажнением почвы (сумма осадков на 53 % выше нормы) на фоне снижения среднесуточных температур (сумма температур на 10 °С ниже нормы), ГТК был на 0,7 ед. выше среднемноголетнего значения. Благодаря тому, что в критический период роста и развития растений пшеницы (выход в трубку – колошение) гидротермические условия были близки к норме (ГТК = 1,7) закладка и развитие генеративных органов проходили в благоприятных условиях и обеспечили урожайность 3,25 т/га.

Таким образом, вегетационные периоды яровой пшеницы 2019, 2022 и 2023 гг. характеризовались как благоприятные для роста и развития культуры. В вегетационный период 2021 г. отмечали недостаточное количество влаги в межфазные периоды (кущение – выход в трубку и выход в трубку – колошение), что обусловило снижение урожайности до 1,88 т/га. Погодные условия 2020 г. обеспечили оптимальный гидротермический режим посевам яровой пшеницы, что позволило получить самую высокую урожайность (3,25 т/га) за годы проведения исследований на контрольном варианте (см. таблицу 2).

С повышением уровня обеспеченности почвы фосфатами уменьшается зависимость урожайности от неблагоприятных погодных условий [15, 19]. С помощью оценки показателей

парной корреляции мы определили, при каком уровне обеспеченности почвы подвижным P_2O_5 повышается устойчивость растений к негативным погодным факторам (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимость урожайности при различной степени обеспеченности почвы подвижным фосфором от гидротермических условий по периодам развития яровой пшеницы (2019–2023 гг.)

Table 4 – Dependence of wheat yield at different degrees of soil supply with mobile phosphorus on hydrothermal conditions for periods of spring wheat development (2019–2023 years)

Вариант	Гидротермические условия по периодам развития								
	всходы – кущение (1-й период)			кущение – выход в трубку (2-й период)			выход в трубку – колошение (3-й период)		
	∑ *t*, °C	∑ осадков, мм	ГТК, ед.	∑ *t*, °C	∑ осадков, мм	ГТК, ед.	∑ *t*, °C	∑ осадков, мм	ГТК, ед.
Без удобрений + + фон 1	0,57*	–0,57*	–0,61*	0,03	0,57*	0,54*	–0,55*	0,22	0,24
N_{30} + фон 1	0,54*	–0,43	–0,48**	0,00	0,65*	0,61*	–0,53*	0,22	0,24
P_{24} + фон 2	0,36	–0,48	–0,54**	-0,02	0,50*	0,48**	–0,44*	0,23	0,25
$N_{42}P_{48}$ + фон 3	0,09	–0,25	–0,25	0,03	0,45*	0,37	–0,12	-0,09	–0,07

* значимо при 1%-м уровне, ** значимо при 5%-м уровне.

Сумма температур в фазы всходы – кущение, выход в трубку – колошение на вариантах без удобрений и внесения азотных удобрений (N_{30}) при низком содержании подвижного фосфора (фон 1) была довольно тесно связана с зерновой продуктивностью культуры (r = 0,57…0,54 и –0,55…–0,53 соответственно). С увеличением степени обеспеченности почвы подвижным фосфором связь ослабевала и отсутствовала в период выхода в трубку – колошения. Выпадение осадков в фазы всходы – кущение и кущение – выход в трубку оказывало умеренное воздействие на формирование урожайности зерна на контроле и вариантах с применением N_{30} и P_{24} при низком содержании подвижного фосфора (фоны 1 и 2). При этом в первый период развития коэффициенты корреляции по направлению связи были отрицательными, во второй период – положительными. При выходе в трубку – колошении связь была слабой по всем вариантам опыта – от –0,09 до 0,22.

Также была установлена относительно тесная связь гидротермического коэффициента с урожайностью на контроле и ее ослабление при повышенном уровне содержания в почве подвижного фосфора. Среднюю прямую связь (r = 0,57…0,45) выявили между суммой осадков и урожайностью пшеницы в период кущения – выхода в трубку независимо от уровня обеспеченности фосфатами.

Таким образом, в вариантах с низкой (N_{30} + фон 1) и средней (P_{24} + фон 2) обеспеченностью почвы подвижным фосфором урожайность яровой пшеницы была более тесно связана со сложившимся гидротермическим режимом в основные периоды роста и развития культуры, чем при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{42}P_{48}$ при повышенном уровне обеспеченности фосфатами.

Как известно, погодные условия вегетационного периода кущения – выхода в трубку в онтогенезе культуры играют значительную роль в протекании формообразовательных процессов, влияя на зерновую продуктивность. Так, по данным ряда исследователей в условиях Амурской области выявлена тесная корреляционная зависимость между осадками в период кущение – колошение и урожайностью яровой пшеницы [3].

Множественный корреляционно-регрессионный анализ показал, что теснота связи между гидротермическими показателями и урожайностью пшеницы в период кущения – выхода в трубку по мере увеличения уровня обеспеченности почвы подвижным P_2O_5 снижалась (таблица 5).

Сильная зависимость урожайности яровой пшеницы от погодных условий проявлялась на варианте без внесения удобрений (r = 0,97). Температура воздуха и осадки на 94 % обусловливали формирование урожайности в этот период. При повышении степени обеспеченности почвы

Таблица 5 – Множественный корреляционно-регрессионный анализ между урожайностью пшеницы и погодными факторами в период кущения – выхода в трубку (2019–2023 гг.)

Table 5 – Multiple correlation and regression analysis between wheat yield and weather factors during the tillering - booting period (2019–2023 years)

Вариант	*R	**R^2	∑ температур, °С			∑ осадков, мм		
			***ß	долевое участие, %	****p-уровень	ß	долевое участие, %	p-уровень
Без удобрений + фон 1	0,97	0,94	–1,36	69	p<0,05	1,19	63	p<0,05
N_{30} + фон 1	0,85	0,72	–1,31	69	p>0,05	0,91	45	p>0,05
P_{24} + фон 2	0,83	0,69	–1,01	43	p>0,05	0,68	35	p>0,05
$N_{42}P_{48}$ + фон 3	0,76	0,58	–1,05	38	p>0,05	0,61	31	p>0,05

* R – коэффициент корреляции; ** R – коэффициент детерминации; *** ß – бета-коэффициент; **** p-уровень – уровень значимости.

подвижным фосфором связь урожайности с погодными условиями снижалась (72–58 %). Вместе с тем, доля удобренных фонов повышалась с 28 до 42 %. Аналогичные результаты получены И.В. Лысковой в условиях Кировской области, когда связь урожайности и погодных факторов в контроле была выше, чем на удобренной почве [15].

Коэффициент бета (ß) позволяет установить в регрессионной модели вклад каждой отдельной переменной на результативный фактор. В нашем случае влияние суммы температур на урожайность было отрицательным как на контроле (ß = –1,36), так и на вариантах с различной степенью обеспеченности почвы фосфором, постепенно ослабевая до ß = –1,04. Аналогичная ситуация происходила и с суммой осадков, когда коэффициент ß изменялся от 1,19 на контроле до 0,61 на варианте с повышенным уровнем обеспеченности фосфатами (фон 3, более 55 мг/кг почвы).

Таким образом, в результате корреляционно-регрессионного анализа было установлено, что зависимость величины сформировавшегося урожая от гидротермических условий ослабевала с возрастанием уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором и среднегодовой нагрузки удобрениями.

Полученные данные показали различную степень влияния гидротермических условий в период кущения – выхода в трубку на формирование урожайности пшеницы. Так, на варианте без внесения удобрений участие количества выпавших осадков и температуры приземного слоя воздуха было почти одинаковым – 63 и 69 % соответственно. С повышением уровня обеспеченности почвы P_2O_5 доля участия суммы температуры воздуха повышалась до 38 %, количества осадков снижалась до 31 %. Можно предположить, что формирование повышенной урожайности при внесении удобрений сопряжено с суммой среднесуточных температур воздуха.

Заключение. Погодные условия периода вегетации яровой пшеницы в 2019, 2022 и 2023 гг. были удовлетворительными с некоторыми отклонениями среднесуточной температуры воздуха и количества осадков в различные межфазные периоды. Условия 2020 г. были благоприятными для возделывания яровой пшеницы, урожайность на контрольном варианте составила 3,25 т/га. Гидротермические условия 2021 г. характеризовались как влажные в начальный период роста и развития и сухие в середине вегетации. К моменту созревания культуры большое поступление осадков вызвало сильное переувлажнение почвы, что затруднило уборку зерновых.

Установлена сильная зависимость урожая зерна, сформировавшегося на контрольном варианте, от складывающихся гидротермических условий. При повышении обеспеченности почвы подвижным фосфором связь становилась слабее, что обусловило нивелирующее действие неблагоприятных погодных факторов. Сумма осадков (r = 0,57…0,45) и ГТК (r = 0,54…0,37) оказывали положительное влияние на формирование урожайности пшеницы в период кущения – выхода в трубку независимо от уровня фосфора. В среднем за 5 лет исследований оптимальной

дозой минерального удобрения для получения максимально возможного урожая зерна яровой пшеницы в условиях Приамурья является $N_{42}P_{48}$, при выходе зерновой продукции 3,06 т/га.

Методом множественного корреляционно-регрессионного анализа было установлено, что сопряженность гидротермических показателей в фазы кущения – выхода в трубку с урожайностью зерна была сильной при всех фонах обеспеченности почвы фосфатами. Однако эта связь ослабевала при внесении минеральных удобрений на повышенном фоне обеспеченности подвижным фосфором (фон 3) до r = 0,76. Долевое участие суммы температур и осадков было достоверно выше на неудобренном варианте (69 и 63 % соответственно). С возрастанием содержания подвижных фосфатов в почве долевое участие погодных факторов снижалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы Свеча // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 2(57). С. 35–40. EDN VWLDLI.

2. Агрометеорологический обзор по Амурской области // Амур. ЦГМС фил. ФГБУ Дальневост. УГМС. Благовещенск, 2000–2023. 399–449 с.

3. Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области // Сб. науч. тр. ДальГАУ. Благовещенск, 2006. Вып. 2. 248 с.

4. Алабушев А. В. Состояние и пути отрасли растениеводства. Ростов н/Д., 2012. 384 с.

5. Бесалиев И. Н., Сандакова Г. Н., Абдрашитов Р. Р. Зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы от погодных условий межфазных периодов вегетации в условиях Оренбургского Приуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5(79). С. 60–63. EDN EZQPFW.

6. Биологические основы культуры пшеницы: в 3 ч. / Ф. М. Куперман [и др.]. Ч. 2. М., 1953. 300 с.

7. Волынкина О. В. Действие удобрений в разных погодных условиях в стационарном опыте Курганского НИИСХ // Агрохимический вестник. 2020. № 6. С. 28–34. DOI:10.24412/1029-2551-2020-10081.

8. Динамика содержания подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны и его регулирование / С. А. Шафран [и др.] // Агрохимия. 2021. № 5. С. 14–20. DOI 10.31857/S0002188121050100.

9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.

10. Захаров Н. Г. Формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы в условиях Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. 3(51). С. 41–46.

11. Ковшик И. Г., Наумченко Е. Т. Фосфор в почвах Амурской области и эффективность удобрений // Фосфор в почвах Сибири. Новосибирск, 1983. С. 139–147.

12. Ковшова В. Н. Приемы, повышающие устойчивость луговых агрофитоценозов в условиях изменения климата в Волго-Вятском экономическом районе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012. № 5(30). С. 31–34.

13. Кумаков В. А., Игошин А. П., Евдокимов О. Е. Засуха и продукционный процесс в посевах яровой пшеницы // Сельскохозяйственная биология. 1994. № 3. С. 105–114.

14. Кумаков В. А. Физиология яровой пшеницы. М.: Колос, 1980. 207 с.

15. Лыскова И. В., Суховеева О. З., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области // Аграрная наука ЕвроСеверо-Востока. 2021. Т. 22. № 2. С. 244–253. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253.

16. Морачевская Е. В., Кирпичников Е. В., Бижан С. П. Влияние последействия фосфорных удобрений и почвенно-климатических показателей на урожайность озимой пшеницы в длительном полевом опыте // Проблемы агрохимии и экологии. 2021. № 3-4. С. 32–37. DOI 10.26178/AE.2021.91.79.010.

17. Прокопчук В. Ф., Ковшик И. Г. Азотный режим почв и эффективность азотных удобрений // Пути повышения устойчивости производства сои на Дальнем Востоке. Новосибирск, 1989. С. 24–38.

18. Сандакова Г. Н., Елисеев В. И. Оценка влияния погодных условий и минерального питания на урожайность яровой сильной пшеницы в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3(65). С. 19–22. EDN ZAYUJL.

19. Современные направления исследований и результаты длительных полевых опытов Геосети / В. Г. Сычев [и др.] // Плодородие. 2014. № 5. С. 2–5.

REFERENCES

1. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N. The influence of mineral fertilizers on the yield and grain quality of spring wheat Candle. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2017;2(57):35–40. (In Russ.). EDN VWLDLI.

2. Agrometeorological review of the Amur region / Amur. CGMS phil. FSBI Dalnevost. UGMS. Blagoveshchensk; 2000–2023. P. 399–449. (In Russ.).

3. Adaptive technologies in crop production in the Amur region. Collection of scientific papers. DalGAU. Blagoveshchensk: DalGAU. 2006;2:248. (In Russ.).

4. Alabushev A.V. State and paths of the crop production industry. Rostov-on-Don; 2012. 384 p. (In Russ.).

5. Besaliev I. N., Sandakova G. N., Abdrashitov R. R. Dependence of the yield of spring soft wheat on the weather conditions of the interphase periods of the growing season in the conditions of the Orenburg Urals. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2019;5(79):60–63. (In Russ.). EDN EZQPFW.

6. Biological foundations of wheat culture: in 3 parts / F. M. Kuperman et al. Part 2. Moscow; 1953. 300 p. (In Russ.).

7. Volynkina O. V. Effect of fertilizers in different weather conditions in a stationary experiment at the Kurgan Research Institute of Agriculture. *Agrochemical Bulletin*. 2020;(6):28–34. (In Russ.). DOI:10.24412/1029-2551-2020-10081.

8. Dynamics of the content of mobile phosphorus in soils of the non-chernozem zone and its regulation / S. A. Shafran, N. A. Kirpichnikov, A. A. Ermakov, A. I. Semenova. *Agrochemistry.* 2021;(5):14–20. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188121050100.

9. Dospehov B. A. Methodology of field experience. Moscow: Kolos; 1985. 351 p. (In Russ.).

10. Zakharov N. G. Formation of yield and grain quality of winter wheat in the conditions of the middle Volga region. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;3(51):41–46. (In Russ.).

11. Kovshik I. G., Naumchenko E. T. Phosphorus in soils of the Amur region and the effectiveness of fertilizers. Phosphorus in soils of Siberia. Novosibirsk; 1983. P. 39–147. (In Russ.).

12. Kovshova V. N. Techniques that increase the stability of meadow agrophytocenoses in conditions of climate change in the Volga-Vyatka economic region. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2012;5(30):31–34. (In Russ.).

13. Kumakov V. A., Igoshin A. P., Evdokimov O. E. Drought and production process in spring wheat crops. *Agriculture Biology*. 1994;(3):105–114. (In Russ.).

14. Kumakov V. A. Physiology of spring wheat. Moscow: Kolos; 1980. 207 p. (In Russ.).

15. Lyskova I. V., Suhoveeva O. Z., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring grain crops in the conditions of the Kirov region. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2021;22(2):244–253. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253.

16. Morachevskaya E. V., Kirpichnikov E. V., Bizhan S. P. Influence of the aftereffect of phosphorus fertilizers and soil-climatic indicators on the yield of winter wheat in a long-term field experiment. *Problems of Agrochemistry and Ecology*. 2021;(3-4):32–37. (In Russ.). DOI 10.26178/AE.2021.91.79.010.

17. Prokopchuk V. F., Kovshik I. G. Nitrogen regime of soils and the effectiveness of nitrogen fertilizers. Ways to Increase the Sustainability of Soybean Production in the Far East. Novosibirsk; 1989. P. 24–38. (In Russ.).

18. Sandakova G. N., Eliseev V. I. Assessment of the influence of weather conditions and mineral nutrition on the yield of spring strong wheat in the Orenburg Cis-Urals. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2017;3(65):19–22. (In Russ.). EDN ZAYUJL.

19. Modern directions of research and results of long-term field experiments of Geonetworks / V. G. Sychev, V. A. Romanenkov, L. K. Shevtsova, O. V. Rukhovich. *Fertility*. 2014;(5):2–5. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 10.02.2024; одобрена после рецензирования 08.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 10.02.2024; approved after reviewing 08.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.