

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-130-146>

УДК 551.586+633.11

Связь урожайности яровой пшеницы с агрометеорологическими показателями на территории Северо-Казахстанской области Республики Казахстан

**С.С. Байшоланов¹, К.А. Акшалов²,
Д. Ауесханов², О. Баймуканова²**

¹*Международный научный комплекс «Астана», Республика Казахстан, г. Нур-Султан;*

²*Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева,
Республика Казахстан, Акмолинская область, Шортандинский район, п. Научный
saken_baisholan@mail.ru; kanatakshalov@mail.ru*

Для рационального размещения посевов яровой пшеницы на территории Северо-Казахстанской области Республики Казахстан исследованы особенности агрометеорологических условий по природным зонам в период с 1991 по 2021 год. Установлена зависимость урожайности яровой пшеницы от суммы осадков, суммы эффективных температур воздуха, коэффициента увлажнения и гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова.

Полученные результаты исследований будут полезны ученым и агрономам-практикам при решении вопросов рационального размещения посевов яровой пшеницы.

Ключевые слова: осадки, температура воздуха, влагообеспеченность, засушливость, вегетационный период, яровая пшеница

The relationship between spring wheat yield and agrometeorological indices in the North Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan

**S.S. Baisholanov¹, K.A. Akshalov²,
D. Aueskhanov², O. Baimukanova²**

¹*International Science Complex "Astana", Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;*

²*A.I. Barayev Scientific and Production Center for Grain farming, Republic of Kazakhstan,
Akmola region, Shortandinsky district, v. Nauchny
saken_baisholan@mail.ru; kanatakshalov@mail.ru*

The features of agrometeorological conditions in the natural zones of the North Kazakhstan region during the period from 1991 to 2021 are investigated. The dependence of the spring wheat yield on total precipitation, the sum of effective air temperatures, moisture supply and aridity indices of the growing season is established. The results of the study will be useful for researchers and practical agronomists when solving the problems of rational use of spring wheat crops.

Keywords: precipitation, air temperature, moisture availability, aridity, growing season, spring wheat

Введение

В Северо-Казахстанской области Республики Казахстан посевные площади сельскохозяйственных культур составляют около 4300 тыс. га, из них около 3000 тыс. га заняты под зерновыми и бобовыми культурами. Под яровой пшеницей занято около 2400 тыс. га. В работах [1, 2] авторами проведена оценка агроклиматических условий в Северо-Казахстанской области. В [8] представлены результаты моделирования влагообеспеченности посевов яровой пшеницы в условиях Северного Казахстана.

В рамках подготовки Седьмого национального сообщения Республики Казахстан об изменении климата была проведена оценка сельскохозяйственных потерь из-за изменений климата, в том числе включая Северо-Казахстанскую область, где к 2050 году ожидается снижение влагообеспеченности вегетационного периода на 11–16 % и усиление засушливости климата на 10–15 % относительно современных показателей. В результате это может привести к снижению урожайности яровой пшеницы на 30–40 % [12].

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей агрометеорологических условий по природным зонам Северо-Казахстанской области. Для установления зависимости урожайности яровой пшеницы от метеорологических условий исследованы суммы осадков, суммы эффективных температур воздуха, показатели влагообеспеченности и засушливости вегетационного периода, а также урожайность яровой пшеницы за период с 1991 по 2021 год.

Исходные данные и методы исследования

В работе использованы данные метеорологических станций Республиканского государственного предприятия «Казгидромет» Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан за период с 1991 по 2021 г. Также использованы средние по административным районам Северо-Казахстанской области урожайности яровой пшеницы (фактический урожай, в массе после доработки) за период с 1991 по 2021 г. по данным департамента статистики по Северо-Казахстанской области Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан.

Многолетние данные были обработаны общепринятыми методами статистической и метеорологической обработки данных.

В качестве основных агрометеорологических показателей, исходя из доступности и наличия многолетних рядов данных, были использованы:

– суммы осадков за холодный период года (октябрь–апрель) и за вегетационный период (май–август), а также их общая сумма (октябрь–август). Осадки холодного периода года весной формируют запасы продуктивной влаги в почве. От осадков с мая по август непосредственно зависит вегетация яровых культур;

- сумма эффективных (выше 5 °С) температур воздуха за июнь–август, характеризует теплообеспеченность вегетационного периода;
- коэффициент увлажнения К, показывает влагообеспеченность вегетационного периода;
- гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), показывает засушливость вегетационного периода.

Надо отметить, что из-за недостаточности данных не рассматривались запасы продуктивной влаги в почве.

В многолетнем ряду 1991–2021 гг. были определены годы с наибольшими и наименьшими значениями сумм осадков и сумм эффективных температур воздуха. При этом наибольшие и наименьшие значения определялись как большие или меньшие от среднего значения на одно стандартное отклонение (среднеквадратическое отклонение).

Влагообеспеченность вегетационного периода оценивалась по коэффициенту увлажнения К, а засушливость вегетационного периода – по ГТК, наиболее подходящим для условий Казахстана [3, 4]:

$$K = \frac{0,5 \sum R_{11-4} + \sum R_{5-8}}{0,12 \sum T_{5-8}} \quad (1)$$

$$ГТК = \frac{\sum R_{5-8}}{0,1 \sum T_{5-8}} \quad (2)$$

где $\sum R_{11-4}$ – сумма осадков за ноябрь–апрель; $\sum R_{5-8}$ – сумма осадков за май–август; $\sum T_{5-8}$ – сумма суточных температур воздуха выше 10 °С за май–август.

Рассчитанный по формуле (1) коэффициент увлажнения К является аналогом коэффициентов увлажнения, предложенных Д.А. Бринкеном, С.А. Сапожниковой и Ю.И. Чирковым, Л.С. Кельчевской [6, 9]. В различных индексах увлажнения коэффициент учета температуры воздуха (для характеристики испаряемости) составляет от 0,10 (Г.Т. Селянинов, Н.В. Бова, Л.С. Кельчевская, Е.С. Уланова) до 0,18 (М.И. Будыко, Ю.И. Чирков). Нами в результате исследования было подобрано значение 0,12, чтобы в условиях Казахстана дефицит увлажнения (засушливость) соответствовал значениям менее 1,0 и оценочные градации были схожи с ГТК.

Наибольшие и наименьшие значения коэффициентов К и ГТК в многолетнем ряду определялись согласно критериям: $K > 1,00$ – оптимальная и устойчивая влагообеспеченность; $K < 0,60$ – дефицит влаги; $ГТК > 0,80$ – не засушливо, $ГТК < 0,60$ – засушливо (умеренно и сильно засушливо).

Анализ проведен отдельно по природным зонам. На территории Северо-Казахстанской области выделяются лесостепная (средняя лесостепь и южная колючая лесостепь) и степная зоны.

Карты и карты-схемы природных зон Казахстана имеют отличия в территориальном распределении природных зон, в том числе и по территории

Северо-Казахстанской области. Например, согласно карты-схемы «Природно-земледельческие районы Северо-Казахстанской области» [10, 14], преобладающая часть территорий четырех административных районов (Жамбыльский, Кызылжарский, им. Шал Акына и Айыртауский) относится к лесостепной зоне, пяти районов районов (Акжарский, Уалихановский, им. Г. Мусрепова, Тимирязевский, Тайыншинский) – к степной зоне. Территории районов Мамлютский, Аккаинский, М. Жумабаева, Есильский почти поровну относятся к лесостепной и степной зонам (рис. 1). Однако, согласно карты «Природно-сельскохозяйственное районирование Казахстана» [11], преобладающая территория 11 административных районов Северо-Казахстанской области относится к лесостепной зоне, преобладающая территория двух районов (Акжарский, Уалихановский) – к степной зоне (рис. 2).



Природно-земледельческие районы: I – Лесостепной равнинно-западный лугово-черноземный с пятнами черноземов и крупными массивами солонцов; II – Лесостепной равнинно-западный лугово-черноземный с пятнами черноземов и крупными массивами солонцов; III – Колочнестепной гривно-озёрный черноземов маломощных, солонцовых комплексов и серых лесных почв; IV – Степной равнинно-западный карбонатных почв; V – Засушливостепной чернозёмов обыкновенных солонцеватых и чернозёмов южных; VI – Засушливостепной чернозёмов южных карбонатных; VII – Горно-сопочный чернозёмов обыкновенных и выходов коренных пород; VIII – Мелкосопочный каштановых почв, чернозёмов южных и выходов коренных пород.

Рис. 1. Природно-земледельческие районы Северо-Казахстанской области [10].

Fig. 1. Natural-agricultural areas of the North-Kazakhstan region [10].

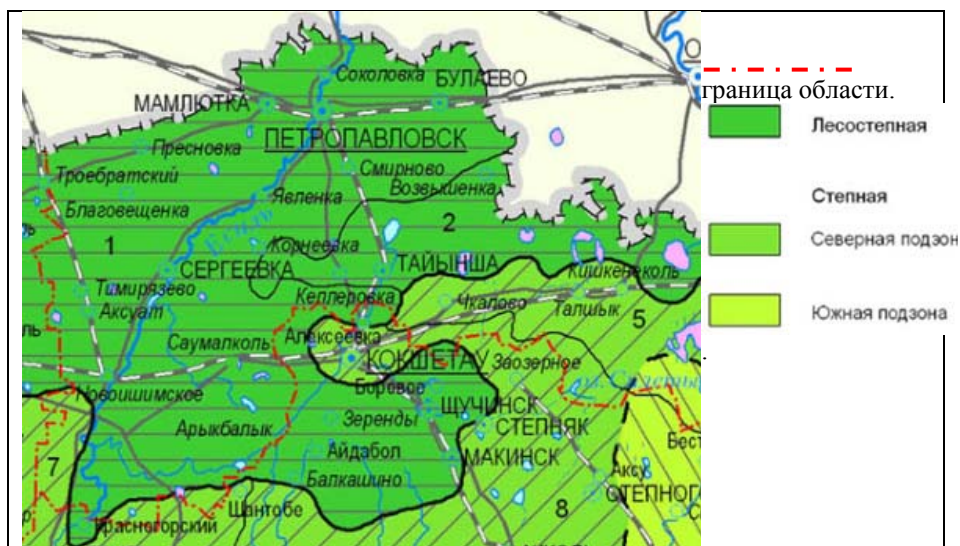


Рис. 2. Территория Северо-Казахстанской области на карте «Природно-сельскохозяйственное районирование Казахстана» [11]. 1, 2, 5, 7, 8, 11 – номера природно-сельскохозяйственных округов.

Fig. 2. The territory of the North-Kazakhstan region on the map «Natural-agricultural zoning of Kazakhstan» [11].

В результате к лесостепной зоне были отнесены 8 административных районов (Жамбылский, Кызылжарский, им. Шал Акына, Айыртауский, Мамлютский, Аккаинский, М. Жумабаева, Есильский), к степной зоне – 5 районов (Акжарский, Уалихановский, им. Г. Мусрепова, Тимирязевский, Тайыншинский).

Для анализа агрометеорологических условий лесостепной зоны области были использованы усредненные данные семи метеорологических станций: Петропавловск, Булаево, Явленка, Возвышенка, Благовещенка, Сергеевка, Саумалколь), степной зоны – четырех метеорологических станций: Тимирязево, Тайынша, Кишкенеколь, Чкалово, Рузаевка.

Результаты исследований

В 2017 году был подготовлен научно-прикладной агроклиматический справочник по Северо-Казахстанской области [1], где приведены табличные и картографические материалы об агроклиматических ресурсах, био-климатическом потенциале территории, агроклиматических зонах, неблагоприятных погодных явлениях (засуха, суховей, заморозки, метель, пыльная буря, гроза, град), климатических сроках проведения агротехнических мероприятий, агроклиматическом районировании основных сельскохозяйственных культур, состоянии почвенного покрова и основных возделываемых сельскохозяйственных культурах.

Согласно данному справочнику, климатические сроки начала весенних полевых работ и сева ранних яровых зерновых культур в южной части Северо-Казахстанской области приходятся на 10–15 мая, в районе Кокшетауской возвышенности и в северной части – на 15–20 мая. В области в среднем посев яровой пшеницы проводится в период с 15 по 25 мая. Полное созревание яровой пшеницы наступает в конце августа – начале сентября [1].

В период сева важными являются запасы влаги в почве, которые формируются осадками холодного периода года. Для роста и развития зерновых культур особую роль играют режимы осадков и температуры воздуха за май–август.

В среднем за период 1991–2021 гг. сумма осадков за холодный период года (октябрь–апрель) составляет в лесостепной зоне 154 мм, в степной зоне – 139 мм. Сумма осадков за вегетационный период (май–август) в среднем составляет в лесостепной зоне 194 мм, в степной зоне – 175 мм. Их общая сумма (ноябрь–август) в среднем составляет в лесостепной зоне Северо-Казахстанской области 349 мм, в степной зоне – 314 мм.

В рассматриваемом 31-летнем периоде за вегетационный период максимальные осадки, благоприятствующие развитию яровых культур, выпали в лесостепной зоне в 5 годах (1994, 2005, 2011, 2013 и 2018), в степной зоне – в 5 годах (1993, 1994, 2005, 2013 и 2018).

За вегетационный период минимальные осадки, недостаточные для нормального развития яровых культур, выпали в лесостепной зоне в 6 годах (1991, 1997, 1998, 2004, 2010 и 2020), в степной зоне – в 7 годах (1991, 1995, 1997, 1998, 2004, 2010 и 2021).

Сумма осадков за вегетационные периоды 1991–2021 гг. в лесостепной зоне области имела слабую тенденцию роста, а в степной зоне – слабую тенденцию снижения (рис. 3). Здесь линии тренда описываются уравнениями прямой $y = 0,2807x + 190,53$ (лесостепная зона), $y = -0,4069x + 184,21$ (степная зона). Коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,0023–0,0045.

Надо отметить, что у яровой пшеницы в период выхода в трубку – колосшение происходит самый интенсивный рост вегетативной массы и расходуется большое количество влаги (50–60 % общего количества). Этот период обычно приходится на середину лета. В Северо-Казахстанской области в годовом ходе максимальные осадки выпадают в июле, минимальные – в феврале. Период летних максимальных осадков начинается при раннем наступлении в 3 декаде июня, при позднем – во 2 декаде июля. Продолжительность периода может составить 15–30 дней. В июле выпадающие осадки составляют в лесостепной зоне в среднем 60–75 мм, в степной зоне – 55–65 мм.

Сумма эффективных температур воздуха за три летних месяца в среднем составляет в лесостепной зоне Северо-Казахстанской области 1233 °С,

в степной зоне – 1286 °С. В рассматриваемый период наименее теплообеспеченными (более прохладными) были 1992, 2001, 2002 и 2014 гг., наиболее теплообеспеченными (жаркими) – 1991, 1998 и 2012 годы.

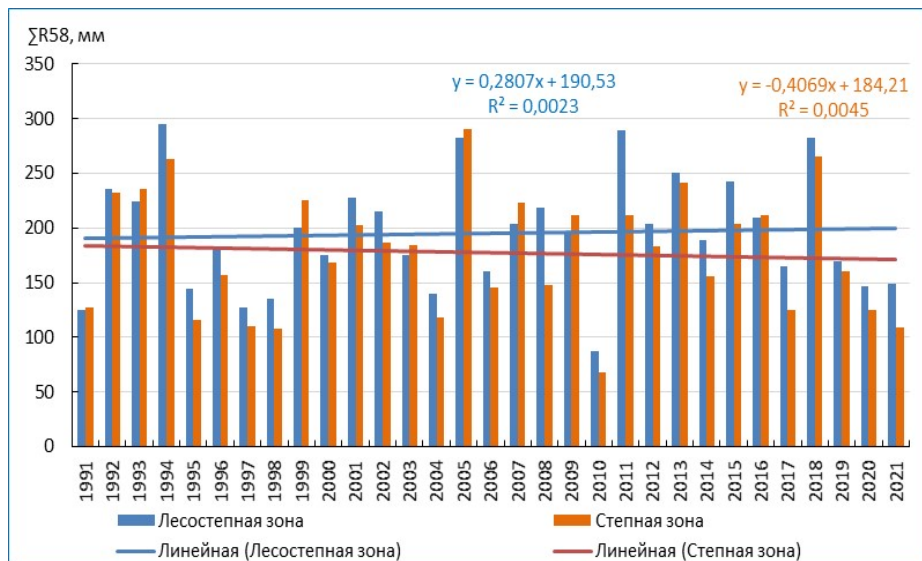


Рис. 3. Многолетняя динамика суммы осадков за май-август в лесостепной и степной зонах Северо-Казакстанской области.

Fig. 3. Long-term dynamics of precipitation for May-August in the forest-steppe and steppe zones of the North-Kazakhstan region.

Сумма эффективных температур воздуха за три летних месяца в природных зонах Северо-Казакстанской области за 31-летний период имеет слабую тенденцию роста (рис. 4). Здесь линии тренда описываются уравнениями прямой: $y = 1,1735x + 1264,2$ (лесостепная зона), $y = 1,0523x + 1210,7$ (степная зона). Коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,0092–0,0112.

В табл. 1 приведены значения влагообеспеченности по коэффициенту увлажнения K и значения засушливости по ГТК. Значения коэффициентов K и ГТК менее 0,60 выделены красным цветом, значения $K > 1,0$ и ГТК $> 0,80$ – синим цветом.

Среднее многолетнее значение K составляет в лесостепной зоне 1,03, что характеризует влагообеспеченность вегетационного периода климатически как «оптимальная и устойчивая влагообеспеченность». В степной зоне среднее значение K составляет 0,90, что характеризует влагообеспеченность вегетационного периода климатически как «достаточная, но не устойчивая влагообеспеченность».

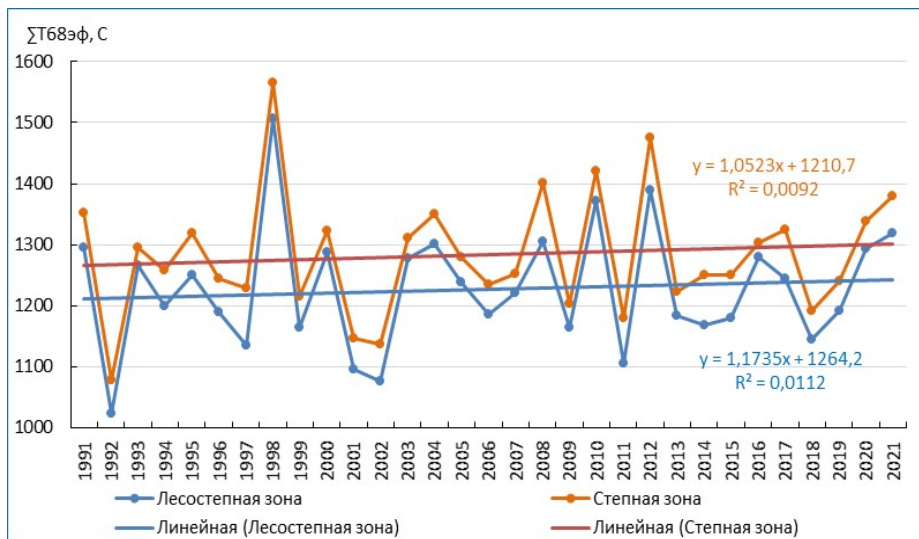


Рис. 4. Многолетняя динамика суммы эффективных температур воздуха за май-август в лесостепной и степной зонах Северо-Казакстанской области.

Fig. 4. Long-term dynamics of the sum of effective air temperatures for May-August in the forest-steppe and steppe zones of the North Kazakhstan region.

Среднее многолетнее значение ГТК составляет в лесостепной зоне 0,93, в степной зоне – 0,82, что характеризует вегетационный период в обеих зонах климатически как «не засушливый».

Из табл. 1 видно, что в лесостепной и степной зонах области за 31-летний период наблюдалось больше влагообеспеченных лет, нежели засушливых и с дефицитом влаги, причем увлажненность лесостепной зоны выше. Благоприятными за рассматриваемый период по обоим показателям в лесостепной зоне Северо-Казакстанской области были 17 лет, в степной зоне – 14 лет.

Дефицитом влаги ($K < 0,60$) или засушливостью ($ГТК < 0,60$) характеризовались в лесостепной зоне 3 года (1991, 1998 и 2010), в степной зоне – 9 лет (1991, 1995, 1997, 1998, 2004, 2010, 2017, 2020 и 2021). В области в целом особенно неблагоприятными были 1991, 1998, 2010 и 2021 годы.

Коэффициент увлажнения K за 31-летний период в лесостепной зоне области имеет слабую тенденцию роста, а в степной зоне – слабую тенденцию снижения, т. е. влагообеспеченность вегетационного периода меняется в широких пределах, но в среднем практически не изменилась (рис. 5). Здесь линии тренда описываются уравнениями прямой $y = 0,0018x + 1,0086$ (лесостепная зона), $y = -0,001x + 0,9215$ (степная зона). Коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,0012–0,0036.

Таблица 1. Влагообеспеченность по коэффициенту увлажнения К и засушливость по ГТК

Table 1. Water availability by the coefficient of moisture K and aridity by the GTK

Год	Лесостепная зона		Степная зона	
	К	ГТК	К	ГТК
1990	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	0,65	0,59	0,51	0,47
1992	1,28	1,29	1,16	1,17
1993	1,15	1,07	1,18	1,14
1994	1,47	1,46	1,15	1,13
1995	0,79	0,69	0,58	0,50
1996	1,03	0,90	0,84	0,69
1997	0,71	0,61	0,63	0,53
1998	0,67	0,58	0,50	0,40
1999	1,04	0,98	1,14	1,09
2000	0,87	0,85	0,81	0,77
2001	1,26	1,09	1,08	0,93
2002	1,27	1,12	1,09	0,95
2003	0,86	0,77	0,91	0,87
2004	0,72	0,61	0,61	0,49
2005	1,35	1,31	1,34	1,35
2006	0,92	0,80	0,79	0,66
2007	1,19	0,98	1,16	1,05
2008	1,01	0,97	0,69	0,63
2009	1,05	0,99	1,03	1,02
2010	0,50	0,38	0,43	0,29
2011	1,53	1,42	1,14	1,07
2012	0,89	0,87	0,79	0,80
2013	1,39	1,24	1,35	1,22
2014	1,02	0,91	0,78	0,69
2015	1,19	1,13	1,01	0,97
2016	1,12	0,97	1,11	1,00
2017	0,91	0,75	0,72	0,58
2018	1,49	1,52	1,30	1,28
2019	0,93	0,85	0,79	0,70
2020	0,77	0,62	0,72	0,55
2021	0,74	0,65	0,50	0,39
Сред.	1,03	0,93	0,90	0,82
Мах	1,53	1,52	1,35	1,35
Мин	0,50	0,38	0,43	0,29

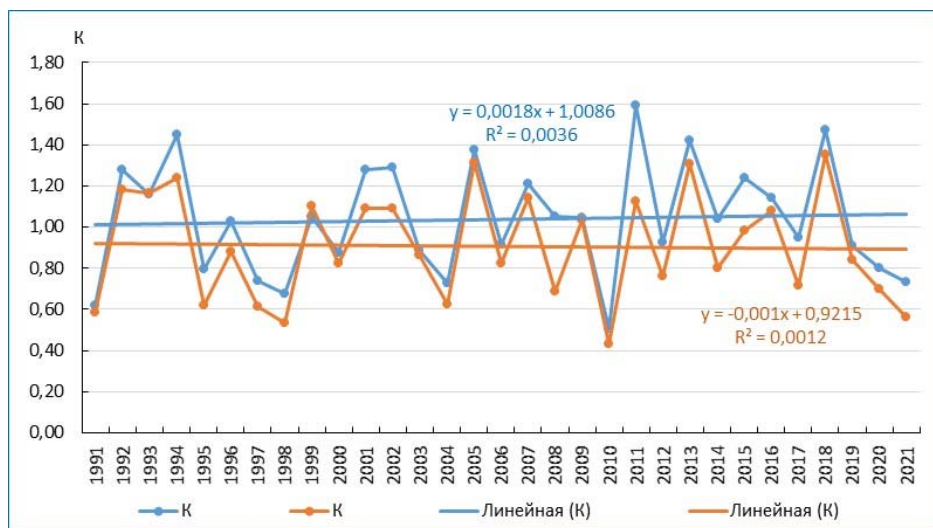


Рис. 5. Многолетняя динамика коэффициента увлажнения К в лесостепной (синяя линия) и степной (красная линия) зонах Северо-Казакстанской области.

Fig. 5. Long-term dynamics of the coefficient of moisture K in the forest-steppe (blue line) and steppe (red line) zones of the North-Kazakhstan region.

Была исследована связь урожайности яровой пшеницы с агрометеорологическими показателями. В качестве урожайности пшеницы лесостепной зоны Северо-Казакстанской области были использованы усредненные значения урожайности по 8 районам (Жамбылский, Кызылжарский, им. Шал Акына, Айыртауский, Мамлютский, Аккаинский, М. Жумабаева, Есильский). В качестве урожайности пшеницы степной зоны области были использованы усредненные значения урожайности по 5 районам (Акжарский, Уалихановский, им. Г. Мусрепова, Тимирязевский, Тайыншинский).

В среднем за 31-летний период урожайность яровой пшеницы в лесостепной зоне (Улст) составила 14,3 ц/га, а в степной зоне (Уст) – 12,0 ц/га.

Максимальные урожаи пшеницы были получены в 1992, 1999, 2001, 2007, 2009, 2011, 2015-2017 гг. Минимальные урожаи пшеницы были получены в 1991, 1995, 1998, 2000, 2003, 2004, 2010, 2012 и 2021 годы.

Урожайность яровой пшеницы в обеих природных зонах области за 31-летний период имеет тенденцию роста (рис. 6). Это объясняется повышением уровня культуры земледелия благодаря интенсификации системы земледелия: использованию влагосберегающих технологий; увеличению применения минеральных удобрений, средств защиты растений от вредителей, болезней и сорных растений; использованию современных посевных комплексов и системы прямого посева; возделыванию более засухоустойчивых сортов яровой пшеницы [7].

На графике линии тренда описываются уравнениями прямой: $y = 0,2087x + 11,176$ (лесостепная зона), $y = 0,1913x + 9,146$ (степная зона). Коэффициенты детерминации (R^2) составляют 0,2261–0,2586.

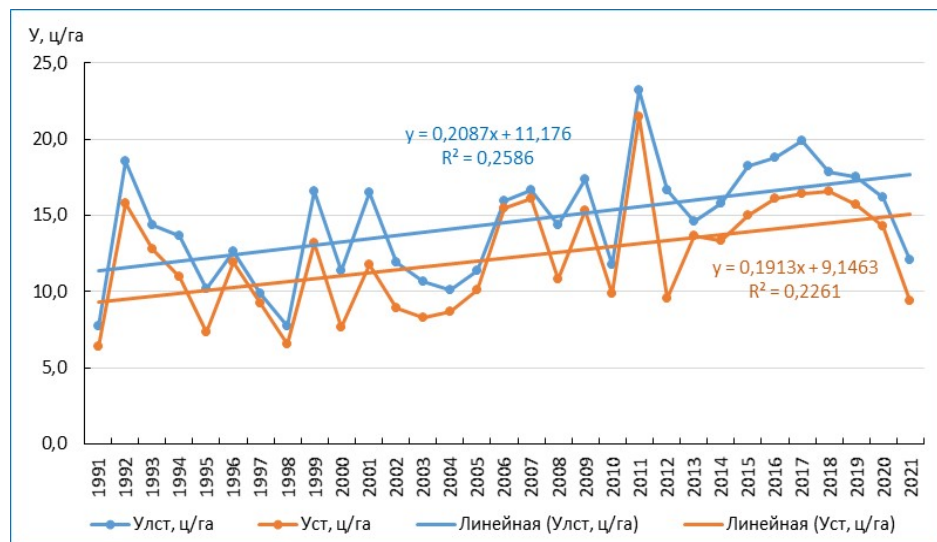


Рис. 6. Многолетняя динамика урожайности яровой пшеницы в лесостепной (Улст) и степной (Уст) зонах Северо-Казахстанской области.

Fig. 6. Long-term dynamics of spring wheat yield in the forest-steppe (Улст) and steppe (Уст) zones of the North Kazakhstan region.

Расчеты показали зависимость урожайности яровой пшеницы от суммы осадков за май–август ($\sum R_{5-8}$), суммы эффективных температур воздуха за три летние месяца ($\sum T_{6-8\text{эф}}$), коэффициента увлажнения K и показателя засушливости ГТК. Для всех показателей, кроме суммы осадков за холодный период года ($\sum R_{10-4}$), коэффициенты парной корреляции были значимыми и составили от 0,40 до 0,58 (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между урожайностью яровой пшеницы и агрометеорологическими показателями
Table 2. Correlation coefficients between spring wheat yield and agrometeorological indicators

Урожайность	$\sum R_{10-4}$	$\sum R_{5-8}$	$\sum R_{10-8}$	$\sum T_{6-8\text{эф}}$	K	ГТК
Улст	0,36	0,51	0,55	-0,49	0,58	0,54
Уст	0,36	0,40	0,47	-0,52	0,49	0,44

Надо отметить, что при объеме выборки $n = 31$ лет и при 95%-ном уровне значимости ($P = 0,05$) критическое значение коэффициента корреляции равняется 0,36 [13].

Расчеты показали прямую зависимость урожайности яровой пшеницы от суммы осадков за вегетационный период, показателей влагообеспеченности и засушливости вегетационного периода: с ростом количества осадков, значений К и ГТК урожайность повышается.

Урожайность пшеницы находится в обратной зависимости от суммы эффективных температур воздуха за летние месяцы. Это показывает, что в Северо-Казахстанской области температурный режим воздуха находится выше оптимального уровня для роста, развития и формирования урожая яровой пшеницы.

В табл. 3 и 4 приведены обеспеченности (P , %) урожайности и агрометеорологических показателей в степной и лесостепной зонах Северо-Казахстанской области.

Таблица 3. Обеспеченность (P , %) урожайности яровой пшеницы и агрометеорологических показателей в лесостепной зоне Северо-Казахстанской области

Table 3. Security (P , %) of spring wheat yield and agrometeorological indicators in the forest-steppe zone of the North Kazakhstan region

P , %	Улст, ц/га	ΣR_{10-4}	ΣR_{5-8}	ΣR_{10-8}	$\Sigma T_{6-8эф}$	К	ГТК
10	18,4	198	277	442	1323	1,39	1,31
20	17,4	185	234	431	1301	1,27	1,13
30	16,5	164	213	410	1283	1,19	1,07
40	15,9	161	205	345	1254	1,05	0,98
50	14,6	145	198	333	1222	1,02	0,91
60	13,9	144	177	325	1191	0,92	0,85
70	11,8	141	162	312	1186	0,87	0,77
80	10,7	127	143	284	1166	0,77	0,65
90	9,9	117	137	264	1112	0,71	0,61
100	7,6	93	85	208	1031	0,50	0,38

В табл. 3, например, видно, что в лесостепной зоне Северо-Казахстанской области 1 год из 10 обеспечен: урожайность яровой пшеницы 18,4 ц/га, осадки за холодный период года 198 мм, осадки за вегетационный период 277 мм (в сумме 442 мм), сумма эффективных температур воздуха выше 5°C за три летних месяца – 1323 $^{\circ}\text{C}$.

Учитывая высокую тесноту связи осадков с урожайностью яровой пшеницы, можно сказать, что для лесостепной зоны области очень неблагоприятным является выпадение осадков за вегетационный период менее 120 мм.

В лесостепной зоне области оптимально влагообеспеченный и не засушливый вегетационный период ($K > 1,00$ и $ГТК > 0,80$) обеспечен на 50 %, т. е. 5 лет из 10 благоприятные. Засушливый или с дефицитом влаги вегетационный период ($K < 0,60$ или $ГТК < 0,60$) имеет обеспеченность 20 % ($100\% - 80\%$), т. е. 2 года из 10 бывают неблагоприятными.

Таким образом в лесостепной зоне Северо-Казахстанской области благоприятные погодные условия, обеспечивающие высокую урожайность яровой пшеницы устанавливаются в 5 годах из 10. Неблагоприятные погодные условия, приводящие к снижению урожайности яровой пшеницы устанавливаются в 2 годах из 10. В остальные 3 года из 10 устанавливаются погодные условия, обеспечивающие среднюю урожайность яровой пшеницы на уровне 12,0–16,0 ц/га.

В степной зоне Северо-Казахстанской области 1 год из 10 оптимально влагообеспечен: урожайность яровой пшеницы – 16,2 ц/га, осадки за холодный период года – 186 мм, осадки за вегетационный период – 241 мм (в сумме 409 мм), сумма эффективных температур воздуха выше 5 °С за лето – 1300 °С (табл. 4).

Таблица 4. Обеспеченность (P, %) урожайности яровой пшеницы и агрометеорологических показателей в степной зоне Северо-Казахстанской области

Table 4. Security (P, %) of spring wheat yield and agrometeorological indicators in the steppe zone of the North Kazakhstan region

P, %	Уст, ц/га	ΣR_{10-4}	ΣR_{5-8}	ΣR_{10-8}	$\Sigma T_{6-8эф}$	K	ГТК
10	16,2	186	241	409	1394	1,18	1,17
20	15,4	160	226	379	1352	1,15	1,09
30	15,3	147	217	374	1326	1,11	1,02
40	12,9	140	199	324	1303	1,03	0,95
50	11,8	134	185	307	1263	0,84	0,80
60	9,9	133	147	284	1255	0,79	0,69
70	9,5	130	138	279	1243	0,72	0,63
80	8,6	112	114	245	1223	0,63	0,53
90	8,0	102	108	228	1185	0,51	0,47
100	6,3	89	67	199	1077	0,43	0,29

Для степной зоны Северо-Казахстанской области очень неблагоприятным является выпадение осадков за вегетационный период менее 115 мм. В степной зоне области оптимально влагообеспеченный и не засушливый вегетационный период ($K > 1,00$ и $ГТК > 0,80$) обеспечен на 40 %, т. е. 4 года из 10 бывают благоприятными. Засушливый или с дефицитом влаги

вегетационный период ($K < 0,60$ или $ГТК < 0,60$) имеет обеспеченность 20 % ($100 \% - 80 \%$), т. е. 2 года из 10 бывают неблагоприятными.

Таким образом, в степной зоне Северо-Казахстанской области благоприятные погодные условия, обеспечивающие высокую урожайность яровой пшеницы, устанавливаются в 4 годах из 10. Неблагоприятные погодные условия, приводящие к снижению урожайности яровой пшеницы, устанавливаются в 2 годах из 10. В остальные 4 года из 10 устанавливаются погодные условия, обеспечивающие среднюю урожайность на уровне 10,0–14,0 ц/га.

Выводы

Проведенные исследования показали следующие агрометеорологические особенности вегетационного периода в Северо-Казахстанской области.

Сумма осадков за холодный период в среднем составляет в лесостепной зоне 154 мм, в степной зоне – 139 мм. Сумма осадков за вегетационный период в среднем составляет в лесостепной зоне 194 мм, в степной зоне – 175 мм. Сумма осадков за вегетационный период в обеих природных зонах области за 31-летний период имеет слабую тенденцию снижения.

Сумма эффективных (выше 5 °С) температур воздуха за три летние месяца в среднем составляет в лесостепной зоне 1233 °С, а в степной зоне – 1286 °С. Сумма эффективных температур воздуха в обеих природных зонах Северо-Казахстанской области за 31-летний период имеет слабую тенденцию роста.

Влагообеспеченность вегетационного периода атмосферными осадками в лесостепной зоне климатически характеризуется как «оптимальная и устойчивая влагообеспеченность», в степной зоне – как «достаточная, но не устойчивая влагообеспеченность».

Вегетационный период климатически является не засушливым в обеих природных зонах области.

В многолетнем разрезе в лесостепной и степной зонах Северо-Казахстанской области наблюдается больше влагообеспеченных и незасушливых лет, нежели засушливых и с дефицитом влаги. В целом по области особенно неблагоприятными в погодном отношении были 1991, 1998, 2010 и 2021 годы.

Урожайность яровой пшеницы в лесостепной зоне в среднем составляет 14,3 ц/га, в степной зоне – 12,0 ц/га. Максимальные урожаи пшеницы были получены в 1992, 1999, 2001, 2007, 2009, 2011 и 2017 гг., минимальные – в 1991, 1995, 1998, 2000, 2010, 2012 и 2021 гг. Урожайность яровой пшеницы за последнее 31-летие имела тенденцию роста, что объясняется постепенным повышением уровня культуры земледелия.

Зависимость урожайности яровой пшеницы от суммы осадков, суммы эффективных температур воздуха, коэффициента увлажнения K и показателя засушливости ГТК характеризуется значимыми коэффициентами корреляции от 0,40 до 0,58. Для яровой пшеницы особенно важны летние осадки.

В лесостепной зоне Северо-Казахстанской области благоприятные погодные условия, обеспечивающие высокую урожайность яровой пшеницы, устанавливаются в 5 годах из 10. Неблагоприятные погодные условия, приводящие к снижению урожайности яровой пшеницы, устанавливаются в 2 годах из 10. В остальные 3 года из 10 устанавливаются погодные условия, обеспечивающие среднюю урожайность на уровне 12,0–16,0 ц/га.

В степной зоне Северо-Казахстанской области благоприятные погодные условия, обеспечивающие высокую урожайность яровой пшеницы, устанавливаются в 4 годах из 10. Неблагоприятные погодные условия, приводящие к снижению урожайности яровой пшеницы устанавливаются в 2 годах из 10. В остальные 4 года из 10 устанавливаются погодные условия, обеспечивающие среднюю урожайность на уровне 10,0–14,0 ц/га.

Полученные результаты исследований будут полезны ученым и агрономам-практикам при решении вопросов рационального размещения посевов яровой пшеницы и диверсификации структуры посевов в Северо-Казахстанской области.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021–2023 годы BR10764908 «Разработать систему земледелия возделывания сельскохозяйственных культур (зерновых, зернобобовых, масличных и технических культур) с применением элементов технологии возделывания, дифференцированного питания, средств защиты растений и техники для рентабельного производства на основе сравнительного исследования различных технологий возделывания для регионов Казахстана».

Список литературы

1. Байшолонов С.С., Павлова В.Н., Мусатаева Г.Б., Габбасова М.С., Жакиева А.Р., Муканов Е.Н., Акиалов К.А., Чернов Д.А. Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник. Астана, 2017. 125 с.
2. Байшолонов С.С., Полевой А.Н. Агроклиматическое зонирование северной зерносеющей территории Казахстана // Украинский гидрометеорологический журнал. 2017. № 19. С. 82-89.
3. Байшолонов С.С., Павлова В.Н., Жакиева А.Р., Чернов Д.А., Габбасова М.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1(367). С. 168-184.
4. Байшолонов С.С. О повторяемости засух в зерносеющих областях Казахстана // Гидрометеорология и экология. 2010. № 3. С. 27-38.
5. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 512 с.

6. *Грингоф И. Г., Павлова В. Н.* Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том III. Часть 1. Основы агроклиматологии. Часть 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агроферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 384 с.

7. *Куришбаев А.К., Айтуганов К.К., Нукешев С.О. и др.* Рекомендации по проведению весенне-полевых работ в Северо-Казахстанской области в 2020 году. Нур-Султан: КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2020. 65 с.

8. *Лебедь Л.В., Беленкова З.С., Ахмадиева Ж.К., Сычева Т.Н., Царева Е.Г., Дорайсвами П.К.* Агроландшафтное моделирование влагообеспеченности и урожайности яровой пшеницы в Северном Казахстане // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 6. С. 97-103.

9. *Лосев А.П.* Практикум по агроклиматическому обеспечению растениеводства. СПб.: Гидрометеоздат, 1994. 243 с.

10. Особенности проведения весенне-полевых работ и возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Северо - Казахстанской области в 2019 году: рекомендации. ТОО «Сев.Каз.СХОС», 2019. 36 с.

11. Природно-сельскохозяйственное районирование // Национальный Атлас Республики Казахстан. Том 1. Природные условия и ресурсы / Под.ред. Медеу. А.Р. 2–е изд. Алматы, 2010. С. 80-81.

12. Сельское хозяйство Казахстана // Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Астана, 2017. С. 203-215.

13. *Чичасов Г.Н.* Численные методы обработки и анализа информации. Алматы, 1995. 107 с.

14. *Шурп А.В.* Природные и экономические факторы формирования аграрной специализации районов Северо-Казахстанской области Республики Казахстан // Псковский регионологический журнал № 20. Псковский государственный университет, 2014. С. 46-55.

References

1. *Chernov D.A.* Agroklimaticheskie resursy Severo-Kazahstanskoj oblasti: nauchno-prikladnoy spravochnik. Astana, 2017, 125 p. [in Russ.].

2. *Baysholanov S.S., Polevoy A.N.* Agroklimaticheskoe zonirowanie severnoy zernoseyushchey territorii Kazahstana. *Ukrainskiy gidrometeorologicheskij zhurnal*, 2017, no. 19, pp. 82-89 [in Russ.].

3. *Baysholanov S.S., Pavlova V.N., Zhakieva A.R., Chernov D.A., Gabbasova M.S.* Agroclimatic resources of the North Kazakhstan. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2018, vol. 367, no. 1, pp. 168-184 [in Russ.].

4. *Baysholanov S.S.* O povtoryaemosti zasuh v zernoseyushchih oblastyah Kazahstana. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2010, no. 3, pp. 27-38 [in Russ.].

5. *Gordeev A.V., Kleshchenko A.D., CHernyakov B.A., Sirotenko O.D.* Bioklimaticheskiy potencial Rossii: teoriya i praktika. Moscow, T–vo nauchnyh izdaniy KMK Publ., 2006, 512 p. [in Russ.].

6. *Gringof I.G., Pavlova V.N.* Osnovy sel'skohozyaystvennoy meteorologii. Tom III. CHast' 1. Osnovy agroklimatomologii. CHast' 2. Vliyanie izmeneniy klimata na ekosistemy, agrosferu i sel'skohozyaystvennoe proizvodstvo. Obninsk, VNIIGMI-MCD 3ubl., 2013, 384 p. [in Russ.].

7. *Kurishbaev A.K., Aytuganov K.K., Nukeshev S.O. et. al.* Rekomendacii po provedeniyu vesenne-polevyh rabot v Severo-Kazahstanskoj oblasti v 2020 godu. Nur-Sultan: KazATU im. S. Seyfullina, 2020, 65 p. [in Russ.].

8. *Lebed L.V., Belenkova Z.S., Akhmadieva Zh.K., Siycheva T.N., Tsareva E.G., Doraiswamy P. C.* Agrolandscape Modeling of the Moisture Availability and Spring Wheat Crop in Northern Kazakhstan. *Meteorologiya i Gidrologiya [Russ. Meteorol. Hydrol.]*, 2006, no. 6, pp. 97-103 [in Russ.].

9. *Losev A.P.* Praktikum po agroklimaticheskomu obespecheniyu rastenievodstva. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1994, 243 p.

10. Osobennosti provedeniya vesenne-polevyh rabot i vzdelyvaniya sel'skohozyaystvennyh kul'tur v usloviyah Severo – Kazahstanskoj oblasti v 2019 godu: rekomendacii. TOO «Sev.Kaz.SKHOS», 2019, 36 p. [in Russ.].

11. Prirodno-sel'skohozyaystvennoe rayonirovanie // Nacional'nyy Atlas Respubliki Kazahstan. Tom 1. Prirodnye usloviya i resursy. Pod.red. Medeu. A.R. 2-e izd. – Almaty, 2010, pp. 80-81 [in Russ.].

12. Sel'skoe hozyaystvo Kazahstana. Sed'moe nacional'noe Soobshchenie i tretiy dvuhgodichnyy Doklad Respubliki Kazahstan Ramochnoy konvencii OON ob izmenenii klimata. Astana, 2017, pp. 203-215 [in Russ.].

13. *Chichasov G.N.* Chislennyye metody obrabotki i analiza informacii. Almaty, 1995, 107 p. [in Russ.].

14. *Shurr A.V.* Prirodnye i ekonomicheskie faktory formirovaniya agrarnoy specializacii rayonov Severo-Kazahstanskoj oblasti Respubliki Kazahstan. *Pskovskiy regionologicheskij zhurnal* № 20. Pskovskiy gosudarstvennyy universitet, 2014, pp. 46-55 [in Russ.].

*Поступила 20.06.2022; одобрена после рецензирования 16.11.2022;
принята в печать 29.11.2022.*

*Submitted 20.06.2022; approved after reviewing 16.11.2022;
accepted for publication 29.11.2022.*