

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Л.Ю. Новикова**, *И.Г. Лоскутов*, *Е.В. Зуев*, *О.Н. Ковалева*,
Е.А. Пороховинова, *А.М. Артемьева*, *С.Д. Киру*, *Е.В. Rogozina*

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Б.Морская, 42, ГНУ ВНИИР им.Н.И.Вавилова Россельхозакадемии, *l.novikova@vir.nw.ru

Реферат. Исследованы тенденции в динамике хозяйственно ценных признаков сельскохозяйственных культур: яровой пшеницы, овса, ячменя, льна, капусты, картофеля. Данные получены в результате многолетних (20-50 лет) наблюдений за ростом и развитием сортов-стандартов при оценке коллекции растительных ресурсов ВИР им. Н.И. Вавилова. Был использован метод регрессионного анализа, в том числе в последовательных разностях. Для синхронно наблюдаемых культур и сортов («панельных данных») были построены объединенные модели. Было выявлено, что решающим климатическим фактором, вызывающим ускорение вегетации районированных ранее сортов, является рост эффективных температур выше 15°C. Это воздействие частично компенсируется увеличением продолжительности весеннего периода с температурами от 5 до 15°C и ростом осадков. В 2000 г. наблюдались положительное влияние роста уровня агротехники. Для исследованных сортов были рассчитаны суммы активных и эффективных температур за вегетацию по рассчитанному для каждого сорта биологическому минимуму температур.

Ключевые слова. Изменения климата, регрессия в разностях, панельные данные, пшеница, овес, ячмень, лен, капуста, картофель.

THE ANALYSIS OF ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERS OF CROP VARIETIES AT NORTHWESTERN REGION OF RUSSIA UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

*L.Yu. Novikova**, *I.G. Loskutov*, *E.V. Zuev*, *O.V. Kovaleva*,
E.A. Porokhvinova, *A.M. Artemieva*, *S.D. Kiru*, *E.V. Rogozina*

Abstract. Trends of long-term (20 – 50 years) series of economical valuable characters of wheat, oat, barley, flax, cabbage, potato varieties of collection of N.I. Vavilov Research Institute of Plant Breeding (VIR) were evaluated. The method of regression analysis, including in consecutive differences, was used. For synchronously observed crop varieties and cultivars (panel data) pooled models were constructed. It was shown that the climatic factor causing reduction of vegetation zoned before varieties is effective temperatures under 15°C growth. This effect may be partly compensated by precipitation growth and increasing duration of period with temperatures between 5 and 15°C. For the investigated accessions the sums of biological and effective temperatures with individual temperature threshold of vegetation were calculated.

Key words. Climate changes, regression in differences, panel data, wheat, oats, barley, flax, cabbage, potato.

Введение

Традиционной задачей ВИР им. Н.И. Вавилова является создание, поддержание и изучение мировой коллекции генетических ресурсов растений. Одним из ключевых моментов этой работы является экологическая оценка сортов. Н.И. Вавилов уделял большое внимание изучению климатических потребностей сортов культурных растений, связывая их с условиями в центрах происхождения видов (Вавилов, 1957). На первое место среди параметров «экологического паспорта» сорта он ставил различия в продолжительности периода вегетации и отдельных межфазных периодов. Начавшееся в 70 гг. XX века глобальное потепление вызвало изменение биоклиматического потенциала регионов. Тренды агроклиматических характеристик локальны и различны в различных регионах (Гордеев и др. 2008; Мищенко, 2009; Сиротенко и др., 2011): к середине XXI века прогнозируется рост урожайности зерновых на 10-20% в северных регионах Европейской территории России с достаточным увлажнением и снижение на 6-26% в южных (Гордеев и др., 2008). Актуальной задачей современного растениеводства является его адаптация к наблюдающимся изменениям климата, оптимизация видовой и сортовой структуры регионального растениеводства (Гордеев и др. 2008; Сиротенко и др.,

2011), внедрение на севере сортов, способных более полно использовать увеличивающийся вегетационный период, и более засухоустойчивых сортов на юге.

Целью данного исследования являлось уточнение тенденций и прогнозирование динамики хозяйственно ценных признаков сортов культурных растений на Северо-Западе РФ, где наблюдаются значительные изменения условий тепло- и влагообеспеченности вегетации сельскохозяйственных культур. Материалом для исследования послужили уникальные многолетние наблюдения за сортами, используемыми как стандарты при оценке коллекции ВИР. Эти сорта высеваются ежегодно в повторностях на протяжении многих лет и оцениваются по одной и той же методике. На текущий момент стандартами являются сорта, районированные в 50 – 80 гг. прошлого века, т.е. адаптированные к условиям до начала климатических изменений.

Для анализа действующих факторов и прогнозирования был использован регрессионный анализ. Поскольку изменения климата происходят на фоне агротехнических трендов, для исключения их влияния на зависимости от климатических факторов был использован анализ в разностях (Елисеева и др., 2007), позволивший существенно улучшить качество моделей. Для более общей оценки вклада различных агроклиматических факторов в изменчивость хозяйственно ценных признаков культур, были построены объединенные модели сортов в разностях, использующие логику исследования так называемых «панельных данных» (Елисеева, 2007).

Исследованные сорта охарактеризованы суммами активных и эффективных температур за вегетацию, причем минимальная температура вегетации определена для каждого сорта индивидуально. Эффективные температуры редко используются при агроклиматической оценке сортов и культур (Мищенко, 2009) из-за сложности их определения, однако обладают большей точностью, чем суммы активных температур. Точное определение температурных потребностей сортов может помочь при агроклиматическом районировании в складывающихся новых климатических условиях регионов.

Методы и материалы

Объектами исследования были длинные (20 – 50 лет) ряды наблюдений за хозяйственно ценными признаками сортов яровой

пшеницы, овса, ячменя, льна, капусты на полях Пушкинских лабораторий ВИР (г. Санкт-Петербург) и картофеля на Полярной опытной станции ВИР (Мурманская обл.). Анализировались продолжительность вегетации и межфазных периодов, высота, урожайность. Динамика агроклиматических показателей проводилась по данным ближайших метеостанций.

Методом регрессионного анализа были определены линейные тренды в динамике климатических характеристик и вегетационного периода сортов. Для каждого исследованного пункта и каждого сорта методом регрессии с последовательным включением переменных в пакете StatSoftStatistica 6,0 были построены регрессионные модели хозяйственно ценных признаков. В качестве возможных предикторов исследовались среднемесячные среднесуточные температуры, суммы осадков за месяц, обобщенные агроклиматические характеристики: даты устойчивого перехода температур через 10°C, 15°C, продолжительности периодов между ними, суммы температур и осадков, ГТК этих периодов. По полученным уравнениям были построены прогнозы продолжительности вегетации изученных сортов в случае продолжения наблюдающихся тенденций гидротермических показателей. В исследовании принят уровень значимости 5%.

Одна из проблем анализа климатической зависимости хозяйственно ценных признаков – наличие в многолетних наблюдениях агротехнического тренда (Сиротенко и др., 2011; Николаев, 1994; Руководство..., 1984). Например, повышение технологического уровня возделывания сои в Краснодарском крае 2000-х гг. способствовало получению высоких урожаев в годы с неблагоприятными климатическими условиями (Баранов, 2008). Для выделения собственно климатической составляющей существует несколько способов исключения тенденций из исследуемых рядов: включение в регрессионную модель времени в явном виде, анализ связей отклонений от трендов, анализ переменных в разностях (Елисеева и др., 2007). Из-за нелинейного характера агротехнических трендов в последние 30 лет был использован анализ в разностях.

Рассмотрим анализ в первых разностях. Предположим, что зависимость хозяйственно ценного признака y в момент времени t y_t аппроксимируется линейной зависимостью от климатической характеристики K_t с коэффициентом регрессии b_K , и y_t линейно

растет со временем с повышением уровня агротехники со скоростью b :

$$y_t = a + b_K K_t + bt$$

Тогда анализ связи приростов переменных за год (разностей уровней соседних лет) позволяет определить коэффициент регрессии исходных уровней b_K хозяйственно ценного признака и климатической характеристики:

$$\Delta_t y = y_t - y_{t-1} = b_K (K_t - K_{t-1}) + b = b_K \Delta_t K + b$$

По формуле $b_K \Delta K$ можно сделать прогноз – рассчитать климатически обусловленной динамики признака по тенденции изменения климатической характеристики ΔK .

При параболическом агротехническом тренде климатическая тенденция выявляется при переходе к регрессии во вторых разностях, т.е. анализу связей разностей первых разностей (Елисеева и др., 2007), этот случай был исследован нами при анализе ряда урожайности сои длиной 37 лет (Сеферова и др., 2011).

Было получено, что ряд исследованных нами синхронно наблюдаемых культур и сортов имел сходную реакцию на изменение погодно-климатических условий, т.е. одинаковые спецификации регрессионных моделей (Новикова и др. 2011, 2012). Это позволило использовать логику анализа «панельных данных» (Елисеева и др., 2007) и создать объединенные модели для этих объектов (Новикова и др., 2011, 2012). Анализ в разностях дает возможность извлекать дополнительную информацию за счет увеличения объема выборки.

Исследованные сорта были охарактеризованы средней продолжительностью вегетации, суммами активных и эффективных температур за вегетацию. В основе определения сумм эффективных температур сорта лежит предположение о постоянстве сумм температур выше пороговой для каждого межфазного периода (Шиголев, 1951; Руководство..., 1984). Обозначим среднюю суточную температуру T , пороговую для сорта температуру B , тогда сумма эффективных температур за сутки $T - B$, за вегетацию продолжительностью L сут. их сумма постоянна, обозначим ее A :

$$\sum_l (T - B) = A, \quad \text{т.е.} \quad \sum_l T = A + BL$$

Тогда по графику зависимости сумм среднесуточных температур исследуемого периода (ΣT) от его продолжительности (L) определяют пороговую температуру как коэффициент регрессии B , и среднюю эффективную температуру сорта как A . Суммы температур за вегетацию имеют меньший коэффициент вариации, чем продолжительность вегетации, что подтверждается экспериментальными исследованиями (Шашко, 1958), а суммы эффективных температур имеют меньшую дисперсию, чем суммы температур за вегетацию, т.е. являются более стабильными оценками потребности сортов в тепле. Однако метод действует при зависимости темпов развития только от температуры (Шашко, 1958), были исследованы факторы, действующие на средние суммы эффективных температур сорта.

Наши предыдущие исследования (Новикова, 2012) опытов с выращиванием 9 образцов сои с умеренной фотопериодической чувствительностью в условиях Краснодарского края и Санкт-Петербурга показали, что продолжительность периода «всходы – цветение» в этих контрастных условиях значительно различалась. Однако по суммам активных и эффективных температур, определенных в Санкт-Петербурге, можно прогнозировать продолжительность периода «всходы – цветение» в Краснодарском крае, причем по суммам эффективных температур точность была выше.

Результаты

Изменения агроклиматических характеристик

В таблице 1 и на рис. 1 представлены оценки линейных трендов агрометеорологических показателей на полях Пушкинских лабораторий ВИР (1980 – 2012 гг.) и Полярной опытной станции ВИР (1980 – 2004 гг.). Наблюдался рост летних температур, особенно июля – августа, а также сумм температур за периоды устойчивого перехода температур через 5, 10, 15°C (рис. 1). В условиях Пушкинских лабораторий увеличилась продолжительность периода с температурами от 5 до 15°C весной. Осадки значимо не меняются, но наблюдается тенденция к их увеличению. На Полярной опытной станции ВИР с 1980 гг. также наблюдается тенденция к повышению теплообеспеченности, осадки значимо не меняются.

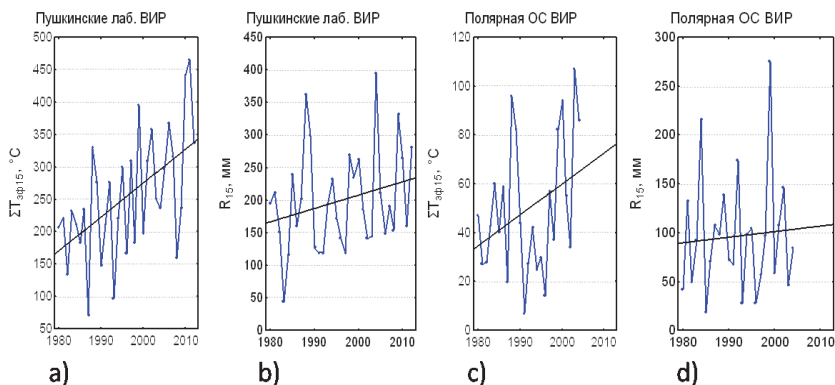


Рис. 1. Динамика сумм эффективных температур ($\Sigma T_{эф15}$) и осадков (R_{15}) за период устойчивого перехода температур через 15°C в Пушкинских лабораториях ВИР (a, b) и на Полярной опытной станции ВИР (c, d), 1980 – 2012 гг.

Динамика хозяйственно ценных признаков.

Динамика исследованных хозяйственно ценных признаков за полные периоды наблюдений, как, например, с 1954 г. у льна сорта Светоч, имела сложный нелинейный характер. Для оценки тенденций настоящего момента был взят период с 1980 г., когда началось активное воздействие климатических изменений. В таблице 2 представлены исследованные сорта и показаны линейные тренды в динамике хозяйственно ценных признаков с 1980 г.

Зерновые

Динамика вегетационного периода исследованных сортов показана на рис. 2. В Пушкинских лабораториях все исследованные сорта яровых зерновых показали тенденцию к сокращению вегетации. У сортов овса и ячменя при более ранних датах посева наблюдались все более ранние даты всходов, колошения, созревания. Сокращение вегетации происходило за счет сокращения продолжительности периода колошение – созревание, при этом период от всходов до колошения слабо удлинялся. Сокращение генеративной фазы происходило, очевидно, из-за роста температур июля – августа, а очень незначительное увеличение вегетативной фазы за счет роста температур весны, более раннего посева и

увеличения продолжительности периода с температурами от 10 до 15°C. Наблюдалось слабое уменьшение массы 1000 зерен у всех исследованных сортов зерновых, ряд отрицательных тенденций в динамике высоты и массы зерна с 1м², повышение массы зерна с 1м² и высоты растения и в 2000 гг., связанное возможно, с мелиорацией полей Пушкинских лаб.

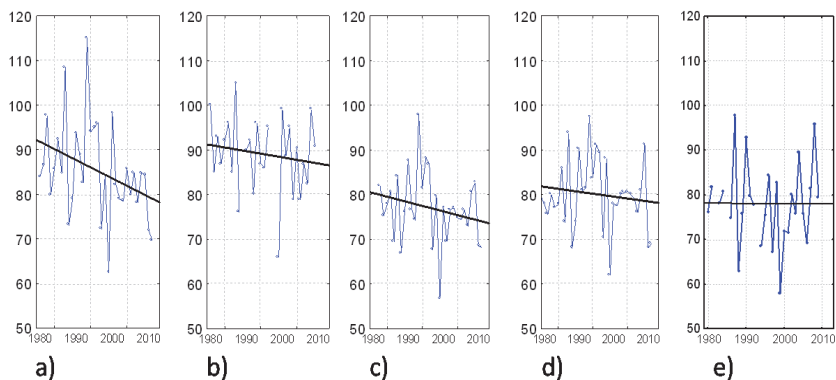


Рис. 2. Динамика продолжительности вегетации стандартных сортов овса, пшеницы, ячменя и льна в Пушкинских лабораториях ВИР, 1980 – 2011 гг., сутки: а) овес Боррус, б) пшеница Ленинградка, с) ячмень Белогорский, д) ячмень Московский 121, е) лен Светоч, ф) картофель Хибинский ранний, Полярная опытная станция ВИР

Лен

У льна сорта Светоч при более раннем посеве наблюдались более ранние всходы, цветение, желтая спелость. В период 1954 – 1979 гг. желтая спелость наступала в среднем 12 августа, в 1980-1999 – 6 августа, в 2000 – 2 августа. В 1980 – 2009 гг. слабо удлинялся период «всходы – цветение», а «цветение – созревание» сокращался, в итоге продолжительность периода «всходы – желтая спелость» практически не изменилась. Высота растения с 1980г. практически не менялась, существенно увеличившись в 1980 – 2009 гг. по сравнению с 1954 – 1979 (88,8 – 99,1 см средние по периодам соответственно). Продуктивность по соломе, семенам и волокну показали нелинейные тенденции с минимумом в 90-гг. XX века и повышением в 2000 гг.

Капуста

У исследованных в условиях Пушкинских лабораторий сортов белокочанной капусты и кольраби наблюдалось сокращение периода от всходов до начала хозяйственной спелости, у цветной капусты тенденции в динамике нет. Два сорта белокочанной капусты достоверно снизили массу кочана (Номер первый Грибовский 147 и Слава Грибовская 231), у остальных тенденции были слабыми, в двух случаях также отрицательными.

Таблица 1.

Оценка скорости изменения агроклиматических характеристик, Пушкинские лаборатории ВИР 1980 – 2012 гг., Полярная опытная станция ВИР 1980 – 2004 гг. Подчеркнуты значимые изменения.

Показатель	Пушкинские лаб. ВИР	Полярная ОС ВИР
Сумма активных температур за период устойчивого перехода температур через 15°C ($\Sigma T_{\text{акт}15}$)	<u>15,73</u>	5,69
Сумма эффективных температур за период устойчивого перехода через 15°C ($\Sigma T_{\text{эф}15}$)	<u>5,23</u>	1,27
Осадки за период устойчивого перехода температур через 15°C (R_{15})	2,42	0,57
Продолжительность периода между датами устойчивого перехода температур через 5 и 15°C весной (L_{5-15})	<u>0,53</u>	0,14
Продолжительность периода между датами устойчивого перехода температур через 10 и 15°C весной (L_{10-15})	0,47	0,26

Картофель

Картофель Хибинский ранний, являющийся стандартом на Полярной опытной станции ВИР, интересен в качестве сорта, возделываемого при крайнем дефиците тепла за Полярным кругом. Даты посадки, всходов практически не изменились с 1968г. В 1980-2000 гг. даты бутонизации, цветения и, в меньшей степени, уборки показали тенденцию к смещению на более ранние сроки. В этот период достоверно (табл. 2) увеличилась масса клубней с куста, сократились периоды «посадка – бутонизация», «посадка – цветение», несколько увеличилась продолжительность «цветение – уборка».

Таблица 2.

Скорости изменения хозяйственно ценных признаков изученных сортов с 1980г. Подчеркнуты значимые тренды.

Культура	Сорт	Годы изучения	Всходы – цветение, сут/год	Цветение – созревание, сут/год	Вег. период, сут/год	Высота, см/год	Масса 1000 зерен, г/год	Урожайность, г/год	
								Масса зерна с 1 м ²	Урожайность, г/год
Овес	Боррус	1980-2011	0,05	-0,46	-0,41	-0,26	-0,40	Масса зерна с 1 м ²	1,90
Пшеница	Ленинградка	1972-2009	0,07	-0,23	-0,14	0,27	-0,14		-2,12
Ячмень	Белогорский	1982-2011	0,06	-0,26	-0,21	0,06	-0,02		2,38
	Московский 121	1975-2011	0,03	-0,13	-0,09	-0,29	-0,03	-1,15	
Лен	Светоч	1954-2009	0,15	-0,14	0,01	-0,04	—	—	
Капуста белокочанная	Номер первый Грибовский 147	1980-2012	—	—	-0,49*	—	—	Масса кочана, г/год	-26,9
	Слава Грибовская 231	1980-2012	—	—	-0,39*	—	—		-40,1
	Амагер 611	1980-2012	—	—	-0,68*	—	—		-20,8
Кольраби	Венская белая 1350	1980-2012	—	—	-0,14*	—	—		4,2
Цветная капуста	МОВИР-74	1980-2012	—	—	-0,01*	—	—		-16,7
Картофель	Хибинский ранний*	1968-2012	-0,52**	0,40**	-0,12**	—	—		16,12**

*У сортов капусты указана динамика продолжительности периода всходы – начало хозяйственной спелости

**Картофель Хибинский ранний исследовался на Полярной ОС ВИР. Указаны продолжительности периодов «посадка – цветение», «цветение – уборка», «посадка – уборка», масса клубней с куста

Регрессионные модели

Для построения регрессионных моделей использовались данные за весь период наблюдения. Для расчета прогнозов использовались последние тенденции, рассчитанные с 1980г. и показанные на рис. 2 – 4.

Зерновые

Были построены регрессионные зависимости продолжительности вегетационного периода стандартных сортов овса, пшеницы и ячменя от климатических характеристик. Значения переменных указаны в таблице 1, R² – коэффициент детерминации уравнения:

$$\text{Овес Боррус } L = 110,614 - 0,101\sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,65$$

Пшеница Ленинградка $L = 108,809 - 0,083\Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,60$

Ячмень Белогорский $L = 92,402 - 0,061\Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,53$

Ячмень Московский 121 $L = 94,705 - 0,059\Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,51$

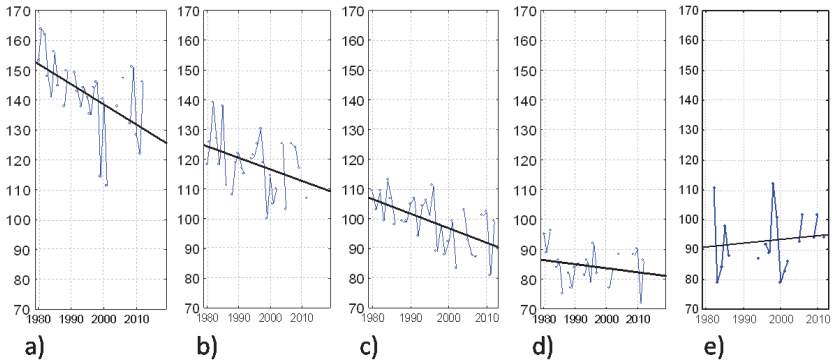


Рис. 3. Динамика продолжительности периода «всходы – начало хозяйственной спелости» стандартных сортов капусты в Пушкинских лабораториях ВИР, 1980 – 2012 гг., сутки: а) Белокочанная поздняя Амагер 611, б) Белокочанная среднеспелая Слава Грибовская 231, в) Белокочанная скороспелая Номер первый Грибовский, д) Кольраби Венская белая 1350, е) Цветная МОВИР-74

Выяснилось, модели продолжительности вегетации сортов овса, пшеницы и ячменя имели сходные спецификации. Решающим климатическим фактором, оказывавшим отрицательное влияние на продолжительность вегетации, был рост эффективных температур выше 15°C . Этот фактор обусловил более 50% наблюдавшейся дисперсии продолжительности вегетации по годам.

Общность предикторов позволила сформулировать обобщенные уравнения для овса, пшеницы, ячменя в разностях, т.к. абсолютные значения продолжительностей вегетации исследованных сортов различались:

$$\Delta L = 0,297 - 0,089\Delta\Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,67$$

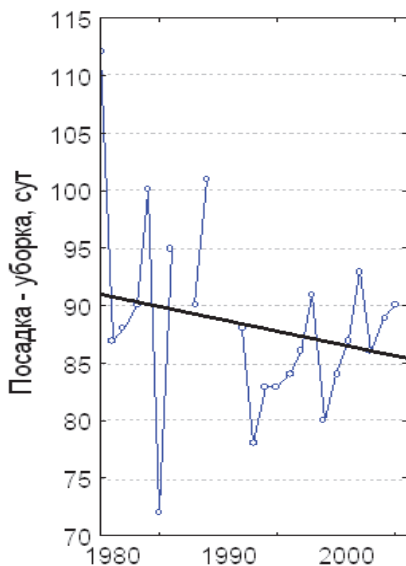


Рис. 4. Динамика продолжительности вегетации картофеля сорта Хибинский на Полярной опытной станции ВИР, 1980 – 2004 гг.

Лучшие регрессионные модели для признаков высота растения, масса 1000 зерен, урожайность получились в разностях, что отражает более выраженное влияние агротехники на эти признаки, чем на фенологию. Так, например, высота растений пшеницы в Пушкинских лаб. уменьшалась с ростом сумм температур выше 15°C. На рис. 5 показана динамика высоты растения и суммы температур выше 15°C, взятая с обратным знаком: 5a) в исходных уровнях и 5b) первых разностях. Виден сдвиг высоты растения при сохранении синхронности зависимости в 2000 г., который, возможно, связан с мелиорацией полей Пушкинских лаб. в 2001г. Корреляция исследуемых признаков была равна -0,3 в исходных уровнях и достигла -0,7 в первых разностях.

Уравнения менее детерминированы погодными условиями. Для сортов стандартов овса, пшеницы, ячменя на четырех станциях ВИР получились следующие объединенные уравнения в разностях:

Высота растения (H):

$$\Delta H = -0,103 - 0,084 \Delta \Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,32$$

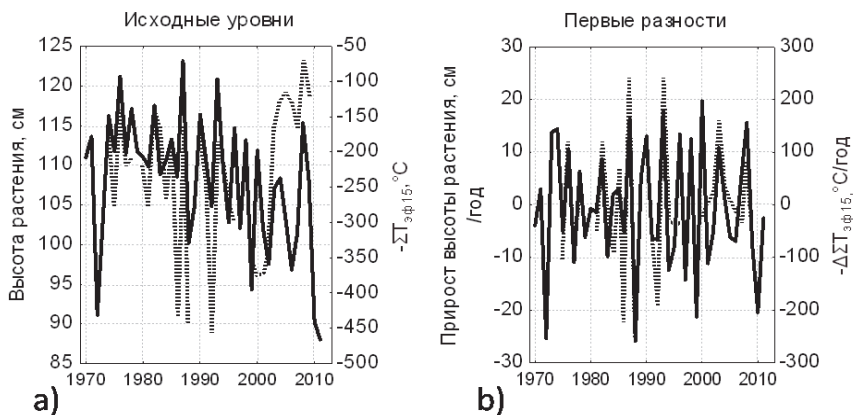


Рис. 5. Динамика высоты растения пшеницы Ленинградка 1972–2009 гг. (пунктирная линия) и взятых с обратным знаком сумм температур выше 15°C (сплошная линия) в исходных уровнях (а) и в первых разностях (б), Пушкинские лаборатории ВИР.

Для формирования массы 1000 зерен не обнаружена связь с климатическими условиями, что, возможно, является следствием консервативности этого признака и опосредованного характера его формирования.

Масса зерна с 1 м^2 (Y) зависела от эффективности прохождения вегетативного и генеративного этапов посредством зависимости от высоты растения и массы 1000 зерен:

$$\Delta Y = -3,477 + 4,020 \Delta H + 7,7677 \Delta M_{1000} R^2 = 0,31$$

Лен

На продолжительность периода от всходов до цветения с одной стороны отрицательно влияет рост температур июня, с другой – положительно – удлинение весеннего периода с температурами 5 – 15°C и более ранние всходы:

$$L_{\text{всходы-цветение}} = 68,166 - 2,003 T_{\text{июнь}} + 0,171 L_{5-15} R^2 = 0,63$$

Сокращение продолжительности периода цветения – желтая спелость связано с ростом температур июля:

$$L_{\text{цветение-желтая спелость}} = 92,453 - 3,127 T_{\text{июль}} R^2 = 0,68$$

Продолжительность всходы – желтая спелость льна также более чем на 50% детерминируется суммой эффективных температур выше 15°C:

$$L = 93,099 - 0,086 \Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,68$$

Получим уравнение для скорости изменений вегетационного периода в разностях. Зависимость получается такой же детерминированности:

$$\Delta L = 0,417 - 0,095 \Delta \Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,66$$

На показатели продуктивности по соломе и волокну положительное влияние оказывают более ранние всходы ($r = -0,39$, $r = -0,46$), высота наиболее сильно связана с годом возделывания, т.е. с агротехническими особенностями.

Капуста

Построены модели продолжительности периода «всходы – начало хозяйственной годности» (L) для 5 сортов-стандартов:

Белокочанная поздняя Амагер 611 – уравнение лучше в первых разностях:

$$\Delta L = -1,058 - 0,051 \Delta \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,094 \Delta R_{15} R^2 = 0,59$$

Белокочанная среднеспелая Слава грибовская 231

$$L = 140,964 - 0,068 \Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,41$$

Белокочанная скороспелая Номер первый грибовский 147

$$L = 114,893 - 0,072 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,015 R_{15} R^2 = 0,52$$

Кольраби Венская белая 1350

$$L = 95,522 - 0,035 \Sigma T_{\text{эф}15} R^2 = 0,25$$

Цветная МОВИР-74

$$L = 82,942 + 7726 \Gamma \text{TK}_{15} R^2 = 0,15$$

Модели выявили решающую роль температурного фактора из всех исследованных погодных факторов в регуляции продолжительности исследуемого периода у видов капусты, это оказались эффективные температуры выше 15°C и осадки за этот период.

Для сортов белокочанной капусты со сходной реакцией на $\Sigma T_{\text{эф}15}$ было создано объединенное уравнение в разностях для скорости

динамики продолжительности периода «всходы – начало хозяйственной спелости»:

$$\Delta L = -1,644 - 0,047 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,047 R_{15} \quad R^2 = 0,39$$

Отрицательный свободный член уравнения свидетельствует о невыявленном отрицательном воздействии на продолжительность исследуемого периода. Средняя масса кочана всех сортов капусты положительно связана с осадками августа – сентября, которые увеличиваются, т.е. объяснения падению урожайности найти не удалось.

Картофель

У картофеля сорта Хибинский ранний на Полярной опытной станции ВИР роль основного регулирующего климатического фактора играли температуры выше 15°C, их рост вызывал сокращение периода посадка – цветение и удлинение периода «цветение – уборка»:

$$L_{\text{посадка – цветение}} = 64,752 - 0,035 \Sigma T_{\text{акт}15} \quad R^2 = 0,63$$

$$L_{\text{цветение – уборка}} = 21,216 + 0,041 \Sigma T_{\text{акт}15} \quad R^2 = 0,52$$

Из-за разнонаправленных тенденций воздействия температур для периода «посадка – уборка» уравнения зависимости от климатических условий не получается, но можно ожидать увеличения продолжительности вегетации с ростом температур, т.к. скорость роста продолжительности периода «цветение – уборка» выше. В 90 гг. продолжительность периода от посадки до уборки возрастала. Положительное влияние ускорения развития на начальных фазах на севере с ростом температур отмечено в литературе (Котова, 2009).

Продуктивность картофеля Хибинский ранний на ПОС ВИР менее зависима от климатических характеристик, чем продолжительности межфазных периодов. Масса клубней с растения наиболее сильно связана с датой цветения ($r = -0,52$) – чем раньше цветение, тем больше масса клубней.

По средним скоростям изменений климатических характеристик были рассчитаны прогнозы скорости изменения вегетационного периода однородных групп сортов (табл. 3). Последний столбец

таблицы 3 рассчитан по обобщенному уравнению в разностях без свободного члена, т.е. представляет собой климатически обусловленный тренд. Прогнозируется сокращение вегетационного периода из-за решающего значения роста температур по сравнению с другими факторами, частично этот эффект может быть компенсирован ростом осадков или более ранним посевом. Для большинства рядов реальные тенденции оказались выше расчетных (положительный посторонний тренд), возможно, за счет положительных агротехнических трендов 2000 гг. В объединенном уравнении для образцов капусты – отрицательный посторонний тренд.

Оценка температурных требований сортов

Для сортов зерновых с известными датами всходов и созревания были рассчитаны суммы температур, накапливаемых за вегетацию, за каждый год исследования. Это позволило определить пороговую температуру сорта и сумму температур выше пороговой (эффективных) за каждый год исследованием коэффициентов регрессии сумм накопленных за вегетацию температур от продолжительности вегетации. Для каждого сорта были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения признаков: продолжительности вегетации, сумм температур за вегетацию и сумм эффективных температур (табл. 4), сумма эффективных температур имеет меньшее стандартное отклонение у всех сортов, т.е. представляет собой более устойчивую характеристику. Кроме того, она позволяет учесть невозможность завершения вегетации в случае накопления слишком низких для сорта температур.

В таблице 4 показаны температурные характеристики исследованных сортов. Пороговые температуры исследованных зерновых получились 5-9°C. В литературных источниках (Мищенко, 2009) биологическим температурным нулем этих зерновых культур считается температура 5°C, для льна – 7°C. Для картофеля биологический ноль равен 7-8°C, у северных сортов ростовые процессы наблюдаются до 2-3°C (Мельничук, 1990).

Недостатком метода эффективных температур является необходимость большого количества наблюдений для построения уравнения регрессии.

Таблица 3.

**Оценка и прогноз линейного тренда продолжительности вегетации
исследованных культур, сут./год.**

Культура	Фактический средний тренд	Расчет с учетом неклиматической составляющей	Расчет климато- обусловленного тренда
Овес, пшеница, ячмень	-0,21	-0,17	-0,47
Лен Светоч	0,01	-0,08	-0,50
Капуста белокочанная	-0,52	-1,78	-0,13

Таблица 4.

**Характеристики вегетационного периода сортов овса, пшеницы,
ячменя и картофеля. Указаны средние значения и стандартные
отклонения, для пороговой температуры – стандартная ошибка
определения.**

Сорт	Продолжи- тельность, сут.	Сумма среднесуточных температур, °С	Пороговая температура, °С	Сумма эффектив- ных температур выше поро- говой, °С
Овес Боррус	85,4±10,9	1408,2±100,5	7,2±1,2	805,0±66,6
Пшеница Ленинградка	89,5±9,6	1485,0±88,5	8,7±1,5	726,3±37,6
Ячмень Белогорский	77,0±8,0	1265,5±84,84	6,3±1,6	778,9±68,2
Ячмень Московский 121	80,2±7,8	1318,6±87,0	6,0±1,6	835,4±73,3
Лен Светоч	79,8±9,1	1296,8±70,5	6,0±0,7	818,1±44,6
Картофель Хибинский ранний, посадка – цветение	51,0±8,3	614,0±62,6	4,4±1,3	389,5±48,8

Имитационное моделирование устойчивости полученных оценок на примере овса сорта Боррус показало, что необходим ряд в 20 лет для получения значений пороговой температуры в доверительном интервале 30-летних наблюдений, если удалить сильно отклоняющиеся от среднего значения, определенные методом Jackknife, достаточно 10 лет. Кроме того, не должно быть

лимитирования другими факторами – осадками, например (Новикова, 2012).

Выводы

1. Важнейшими агроклиматическими факторами динамики хозяйственно ценных признаков изученных сортов яровой пшеницы, овса, ячменя, льна, капусты, картофеля на Северо-Западе РФ за последние 30 лет являлись: рост эффективных температур за период устойчивого перехода температур через 15°C и осадков за этот период, увеличение продолжительности периода с температурами 5 – 15°C весной – в начале лета.

2. Прогнозируется сокращение вегетационного периода районированных ранее сортов сельскохозяйственных культур в случае продолжения роста температур. Оно может быть частично компенсировано ростом осадков и продолжительности периода с температурами от 5 до 15°C. В 2000 г. наблюдалось компенсирующее влияние повышения уровня агротехники. Возможно понижение урожайности районированных ранее сортов зерновых.

3. Для картофеля в условиях лимитирования температурами возможно увеличение вегетационного периода и повышение урожайности за счет увеличения продолжительности периода «цветение – уборка».

4. Метод последовательных разностей увеличивает точность регрессионного анализа климатической зависимости продолжительности вегетационного периода при наличии агротехнических трендов.

5. Суммы эффективных температур за вегетацию являются более стабильной характеристикой сорта, чем, чем суммы активных температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В.Ф. 2008. Проблемы стабилизации продуктивности агроценозов сои в связи с глобальными изменениями климата. Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои (Сборник статей 2-й международной конф. по сое, Россия, Краснодар, 9-10 сентября 2008г.) Краснодар. С. 253 – 256.
2. Вавилов Н.И. 1957. Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Опыт агроэкологического обозрения важнейших полевых культур. –М.–Л.: Изд. АН СССР. 462 С.

3. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко, Темников В.Н., Усков И.Б., Романенков В.А., Рухович. 2008. Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата. –М.: 207С.
4. Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В. и др. 2007. Эконометрика. –М.: Финансы и статистика. 576 С.
5. Котова З.П. 2009. Развитие растений и потенциальная продуктивность у районированных сортов картофеля в Северном регионе в зависимости от погодных условий. Сельскохозяйственная биология. № 1. С. 72-76.
6. Мельничук Г.Ю. 1990. Морфогенез картофеля в условиях Крайнего Севера и его значение для селекции. Автореф. ... канд. с/х наук. –Л.: 21 С.
7. Мищенко З.А. 2009. Агроклиматология. Киев: КНТ. 512 С.
8. Николаев М.В. 1994. Современный климат и изменчивость урожаев. –С.-Пб.: Гидрометеиздат. 201 С.
9. Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В., Сеферова И.В. 2011. Моделирование динамики хозяйственно ценных признаков сортов зерновых культур в условиях изменения климата. Агрофизика –С.-Пб.: АФИ. № 4. С. 1-9.
10. Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Сеферова И.В., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В. 2012. Прогнозирование продолжительности вегетационного периода сортов яровых зерновых культур в условиях изменения климата. Сельскохозяйственная биология. №5. С. 78 – 87.
11. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. 1984. –Л: Гидрометеиздат. Т.1, 2.
12. Сеферова И.В., Новикова Л.Ю., Некрасов А.Ю. 2011. Оценка реакции сои сорта Комсомолка на изменения климата в Краснодарском крае. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК. 1 (146-147). С. 72-77.
13. Сиротенко О.Д., Клещенко А.Д., Павлова В.Н., Абашина Е.В., Семендяев А.К. 2011. Мониторинг изменений климата и оценка последствий глобального потепления для сельского хозяйства. Агрофизика. №3. С. 31 – 39.
14. Шашко Д.И. 1958. Принципы агроклиматического районирования. Вопросы агроклиматического районирования СССР. –М.: Гидрометеиздат. С. 38-92.
15. Шиголов А.А. 1951. Руководство для составления фенологических прогнозов (озимая рожь, озимая пшеница, яровая пшеница, плодовые культуры, древесные растения лесных насаждений). Сельскохоз. метеорология. Методические указания. Вып. 15. –М.-Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 43С.