

РОСГИДРОМЕТ



ISSN 02065-762

Министерство природных ресурсов
и экологии Российской Федерации
Федеральная служба
по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды

ТРУДЫ

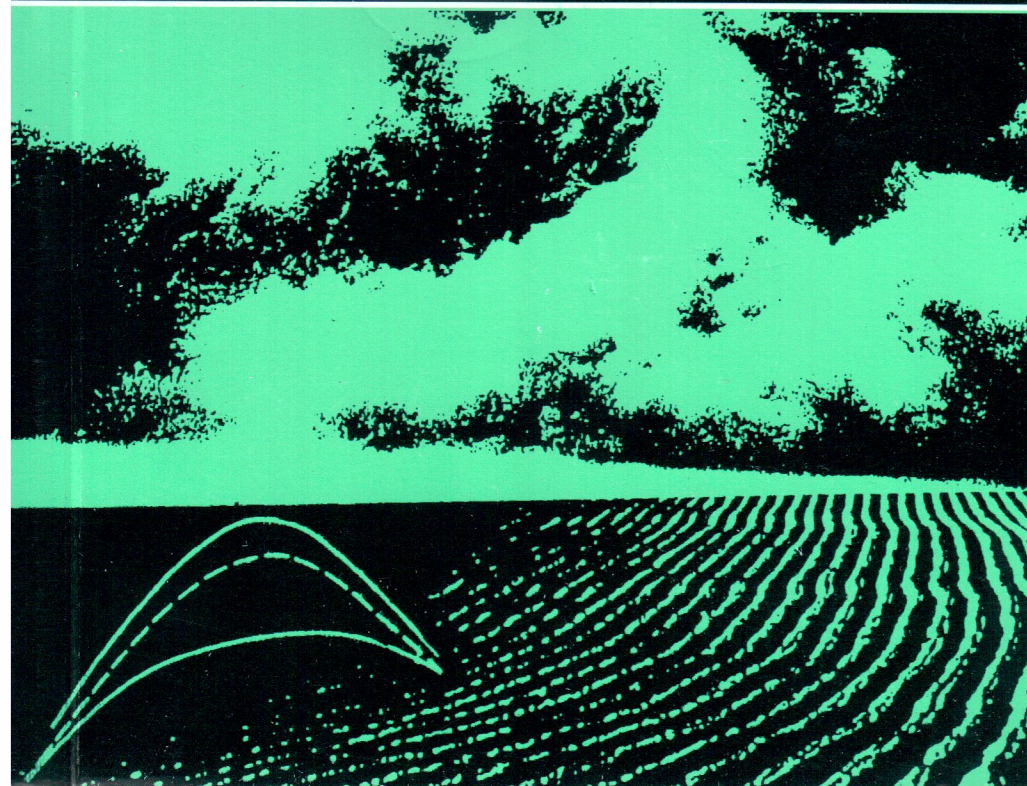
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ»

ВЫПУСК

38



**АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ
ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**



Министерство природных ресурсов
и экологии Российской Федерации

Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
(РОСГИДРОМЕТ)

ТРУДЫ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ»



АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ
КЛИМАТА

(Материалы Третьей научно-практической конференции,
посвященной 35-летию образования ФГБУ «ВНИИСХМ».
Россия, г. Обнинск, 9 – 12 октября 2012 г.)

Под редакцией:

*доктора географических наук, профессора А.Д. Клещенко,
доктора биологических наук, профессора И.Г. Грингофа*

ОБНИНСК
2013

*Л.Ю. Новикова¹, В.Н. Дюбин¹, И.Г. Лоскутов^{1, 2},
И.В. Сеферова¹, Е.В. Зуев¹, Л.Г. Наумова³*

¹ ГНУ ВИР Россельхозакадемии

² Санкт-Петербургский государственный университет

³ ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко Россельхозакадемии

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СОРТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Введение

Актуальной задачей современного растениеводства является его адаптация к наблюдающимся изменениям климата, оптимизация видовой и сортовой структуры регионального растениеводства [3, 9], корректировка направлений селекции в регионах. Целью данного исследования является прогнозирование динамики хозяйственно-ценных признаков сортов культурных растений в связи с наблюдающимися изменениями климата.

Методом анализа было выбрано статистическое прогнозирование, а именно регрессионные модели. В условиях изменения климата регрессионное исследование связей хозяйственно-ценных признаков и климатических характеристик усложняется воздействием агротехнических трендов [2, 6, 7], накладывающихся на климатически обусловленные тренды. Требуются специальные методы выявления зависимостей интересующих рядов и нивелирования влияния посторонних трендов: введение фактора времени в явном виде в уравнение регрессии, регрессия отклонений от трендов, регрессия в разностях [4].

Ряд параллельно наблюдаемых нами культур и сортов имел сходную реакцию на изменение погодноклиматических условий, т.е. одинаковые спецификации регрессионных моделей, что позволило создать объединенные модели для этих панельных объектов [4]. Увеличение объема выборки привело к более достоверным оценкам общих закономерностей происходящих климатических изменений.

Главным климатическим фактором, определяющим динамику хозяйственно-ценных признаков всех исследованных нами культур на Европейской территории РФ, является рост температур [3, 7, 9]. При составлении фенологических прогнозов ряда культур используется метод сумм эффективных температур [8]. При возможных перемещениях сортов хотелось бы прогнозировать их эффективность в условиях, отличных от условий исследования. Для решения такой задачи не подходит регрессионная экстраполяция, необходимо аналитическое или экспертное моделирование. Было проверено постоянство в различных условиях сумм эффективных температур сорта [9].

Объекты исследования

Изменения климата исследованы в пяти географических пунктах (табл. 1) – на четырех станциях ВИР, расположенных на Европейской территории РФ и на виноградниках ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко.

Объектами исследования были длинные ряды наблюдений за хозяйственно-ценными признаками сортов сельскохозяйственных культур и метеорологические наблюдения ближайших метеостанций. Исследовались (табл. 2) сорта овса, пшеницы, ячменя и сои, используемые как стандарты при оценке коллекции ВИР, т.е. высеваемые ежегодно в нескольких повторностях и исследуемые по одной и той же методике на протяжении многих лет. Кроме того, были исследованы фрагменты коллекций диких видов овса, образцов сои со слабой фотопериодической чувствительностью (ФПЧ) и сортов винограда различного происхождения

коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко. У образцов исследовалась продолжительность вегетации, межфазных периодов, у сортов зерновых культур – масса 1000 зерен, высота растений, масса зерна с квадратного метра.

Методы моделирования

Анализ временных рядов и их взаимосвязей активно развивается в современных экономических исследованиях [4]. Для исключения влияния агротехнических трендов мы использовали методы включения в модель регрессии фактора времени и регрессию в разностях. Метод отклонений от трендов не был использован из-за сложного характера агротехнических трендов в интересующий нас период времени с 70-х гг. XX века.

Рассмотрим анализ в первых разностях. Предположим, что величина 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 при совершенствовании применяемой агротехники со скоростью b_t :

$$\hat{y}_t = a + b_K K_t + b t .$$

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:

$$\Delta_t \hat{y} = \hat{y}_t - \hat{y}_{t-1} = b_K (K_t - K_{t-1}) + b = b_K \Delta_t K + b .$$

При аппроксимации неклиматической тенденции полиномом второго порядка

$$\hat{y}_t = a_K + b_K K_t + (a + b_1 t + b_2 t^2) .$$

Тренд убирается переходом к разностям разностей, т.е. ко вторым разностям:

$$\Delta \Delta_t \hat{y} = \Delta_t - \Delta_{t-1} = b_K \Delta \Delta_t K + 2b_2 .$$

Если неклиматическая тенденция меняется скачком в момент времени t_n :

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{y}_t = a_{1t} + b_{1t}t, t \leq t_n \\ \hat{y}_t = a_{2t} + b_{2t}t, t > t_n \end{array} \right., \text{ тогда } \left\{ \begin{array}{l} \Delta_i \hat{y} = b_K \Delta_t K + b_{1t}, t \leq t_n \\ \Delta_i \hat{y} = b_K \Delta_t K + b_{12}, t > t_n \end{array} \right.$$

Анализ зависимости Y от K также получим переходом ко вторым разностям $\Delta\Delta Y$:

$$\Delta\Delta_i Y = b_k \Delta\Delta_i K.$$

Для построения уравнений использовался регрессионный анализ с последовательным включением переменных. В качестве предикторов исследовались среднемесячные среднесуточные температуры, суммы осадков, характеристики периодов устойчивого перехода температур через 5, 10, 15 °С (суммы активных и эффективных температур, суммы осадков, ГТК).

Анализ в разностях дает возможность извлекать дополнительную информацию из синхронных наблюдений за несколькими объектами — панельными данными [4]. Наличие параллельно наблюдаемых объектов дает более достоверные оценки общих закономерностей происходящих процессов за счет увеличения объема выборки. Если хозяйственно-ценный признак у нескольких сортов зависит сходным образом от одних и тех же предикторов, то можно построить объединенное уравнение скорости изменения этого признака у группы сортов. Предположим, хозяйственно-ценный признак в момент времени t равен y_{1t} у первого сорта и y_{2t} у второго и определяется предикторами K и t , причем коэффициенты регрессии у сортов равны; различаются лишь свободные члены уравнений. Тогда их модельные аппроксимации в момент времени t :

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{y}_{1t} = a_1 + b_K K_t + bt \\ \hat{y}_{2t} = a_2 + b_K K_t + bt \end{array} \right.$$

Тогда прирост признака y в момент t $\Delta_i \hat{y}$ будет одинаковым у обоих сортов и можно написать общее уравнение:

$$\Delta_i \hat{y} = b_1 \Delta_i x_{1t} + b_2 \Delta_i x_{2t}.$$

Коэффициенты этой регрессии ищутся по суммарному числу наблюдений за сортами, т.е. может быть получена большая точность определения коэффициентов регрессии.

Главным фактором изменчивости темпов развития растений является температура воздуха. Наши исследования подтвердили, что и в условиях изменений климата она также является главным фактором [5, 7]. В агрометеорологической практике для прогнозирования дат наступления фаз ряда культур, в частности зерновых, винограда, используются суммы эффективных температур, т.е. температур выше определенной пороговой для данного вида и межфазного периода температуры [8, 9]. Метод хорошо действует в районах избыточного и достаточного увлажнения [4]. В практических рекомендациях пороговые температуры вегетационного периода принимаются одинаковыми для культуры: 5 °С – для пшеницы, ячменя и овса, для более южных культур – сои, кукурузы, винограда – они составляют 10 °С [5, 8]. Однако для отдельных сортов можно более точно определить пороговые значения температур и суммы эффективных температур [1, 9]. Эффективные температуры [10] определяются по уравнению регрессионной зависимости сумм накопленных за межфазный период температур (ΣT) от продолжительности периода (L): угол наклона этой прямой (B) представляет собой пороговую температуру данной фазы для образца, свободный член (A) – постоянную для образца сумм температур выше пороговой:

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

Определенная таким образом сумма эффективных температур имеет меньшую вариабельность, чем исходные переменные: положительный коэффициент A означает, что коэффициент вариации ΣT меньше, чем коэффициент вариации L ; дисперсия сумм эффективных температур равна остаточной дисперсии уравнения регрессии, т.е. меньше дисперсии результирующей переменной ΣT .

Результаты

В табл. 1 представлены линейные тренды в динамике агрометеорологических показателей, оказавшихся важными для наших задач. Во всех исследованных пунктах наблюдался достоверный рост летних температур,

в частности эффективных температур за период устойчивого перехода температур через 15 °С. Летние осадки менялись разнонаправленно, существенное влияние оказало лишь увеличение осадков в засушливых условиях Екатеринбургской ОС. В пушкинских лабораториях и на Кубанской ОС значительно увеличилась продолжительность периода с температурами от 5 до 15 и от 10 до 15 °С весной, продолжительность осеннего периода с температурами от 15 до 10 °С сократилась.

Таблица 1

Оценка линейного тренда агроклиматических характеристик, 1980–2011 гг.

Место изучения	$\Sigma T_{эф15}$	R_{15}	$ГТК_{15}$	L_{5-15}	L_{10-15}	L_{15-10}
Пушкинские лаб. ВИР, г. СПб.	4,38	1,75	0,00	0,73	0,69	-0,41
МОВИР, Московская область	7,93	0,12	-0,26	-0,12	-0,12	-0,08
ЕОС ВИР, Тамбовская область	8,15	5,67	0,01	-0,03	0,00	-0,27
КОС ВИР, Краснодарский край	8,93	0,77	0,00	0,43	0,06	-0,16
ВНИИВиВ, г. Новочеркасск	9,66	-1,02	-0,01	-0,28	-0,02	-0,05

Примечания:

$\Sigma T_{эф15}$ – сумма эффективных температур за период устойчивого перехода через 15 °С;

R_{15} – сумма осадков за период устойчивого перехода температур через 15 °С, мм;

$ГТК_{15}$ – гидротермический коэффициент за период с температурой выше 15 °С;

L_{10-15} , L_{5-15} , L_{15-10} – продолжительность периода между датами устойчивого перехода температур через 10 и 15, 5 и 15 °С весной, 15 и 10 °С осенью, сут.

В табл. 2 представлены линейные тренды в динамике изученных сортов-стандартов и усредненные по образцам для фрагментов коллекций.

Были отмечены три достоверных тенденции: в пушкинских лабораториях сократилась продолжительность вегетации у овса сорта Боррус и у всех образцов диких видов овса, а также у всех исследованных сортов винограда коллекции ВНИИВиВ. Анализ межфазных периодов овса показал, что сокращение вегетации происходило за счет сокращения продолжительности периода выметывание – созревание из-за роста температур июля – августа,

при этом период от всходов до выметывания слабо удлинялся за счет роста температур весны, более раннего посева и увеличения продолжительности периода с температурами от 10 до 15 °С. Сокращение продолжительности периода от появления почек до полного созревания у винограда происходило также за счет сокращения периода от начала до конца созревания.

Таблица 2

**Оценка линейного тренда продолжительности
вегетационного периода исследованных образцов,
1980 – 2011 гг., сут/год. Расчет произведен по регрессионной
модели (см. в тексте)**

Место изучения	Культура	Сорт (номер по каталогу ВИР)	Годы изучения	Факт	Расчет
Пушкинские лаб. ВИР, г. СПб.	овес	Боррус (к-11840)	1980–2011	-0,41	-0,44
	пшеница	Ленинградка (к-47882)	1972–2009	-0,16	-0,37
	ячмень	Белогорский (к-22089)	1982–2008	-0,17	-0,27
	ячмень	Московский-121 (к-19417)	1975–2008	-0,02	-0,30
	овес	16 образцов диких видов	1989–1999	-2,23	-2,23
	соя	9 образцов со слабой ФПЧ	1999–2010	0,88 (всходы – цветение)	1,57
МОВИР, Московская обл.	овес	Гамбо (к-12362)	1982–2006	0,18	0,11
	овес	Немчиновский-2 (к-13562)	1983–2006	0,19	0,13
	пшеница	Московская-35 (к-48762)	1976–2006	0,04	0,06
ЕОС ВИР, Тамбовская обл.	овес	Горизонт (к-12113)	1981–2009	0,21	0,07
	пшеница	Кутулукская (к-54213)	1976–2009	-0,08	-0,04
КОС ВИР, Краснодарский край	овес	Краснодарский-73 (к-11526)	1974–1988		-0,06
	овес	Otter (к-11868)	1988–1998	0,31	0,16
	соя	Комсомолка (к-5950)	1973–2009	0,26	0,84
ВНИИВиВ, г. Новочеркасск	виноград	20 сортов	1980–2011	-0,54	-0,52

Регрессионные модели продолжительности вегетационного периода

Для всех изученных признаков сортов-стандартов были построены регрессионные модели. Выяснилось, что для каждого пункта модели продолжительности вегетации овса, пшеницы и ячменя имели сходные спецификации:

Пушкинские лаб.:

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	$L = 93,998 - 0,069 \Sigma T_{\text{эф}15}$	$R^2 = 0,52$
Ячмень Московский-121	$L = 94,812 - 0,062 \Sigma T_{\text{эф}15}$	$R^2 = 0,46$

МОВИР:

Овес Гамбо	$L = 85,905 - 0,036 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,073 L_{10-15} + 0,408 t$	$R^2 = 0,61$
Овес Немчиновский-2	$L = 87,215 - 0,029 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,363 t$	$R^2 = 0,66$
Пшеница Московская-35	$L = 88,825 - 0,060 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,077 L_{10-15} + 0,539 t$	$R^2 = 0,62$

ЕОС ВИР:

Овес Горизонт	$L = 84,512 - 0,034 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,061 R_{15}$	$R^2 = 0,66$
Пшеница Кутулукская	$L = 93,777 - 0,027 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,031 R_{15}$	$R^2 = 0,60$

КОС ВИР:

Овес Краснодарский-73	$L = 100,791 - 0,022 \Sigma T_{\text{эф}15} + 0,153 L_{5-15}$	$R^2 = 0,52$
Овес Otter	$L = 74,565 + 0,233 L_{5-15} - 0,002 \Sigma T_{\text{эф}15}$	$R^2 = 0,37$

Решающим климатическим фактором, вызывающим сокращение продолжительности вегетации, повсеместно был рост эффективных температур выше 15 °С. В условиях МОВИР сказалось влияние сокращения продолжительности весеннего периода с температурами 10–15 °С, и в уравнения в явном виде вошел фактор времени, отражающий, вероятно, положительное влияние роста уровня агротехники. На Екатерининской ОС некоторое удлинение вегетации вызвал рост осадков. На Кубанской ОС рост продолжительности периода с температурами от 5 до 15 °С весной – в начале лета привел к более ранним посевам, что компенсировало повышение летних температур. Общность предикторов позволила сформулировать обобщенные уравнения для овса, пшеницы, ячменя на

каждой станции в разностях, так как абсолютные значения продолжительностей вегетации исследованных сортов различались:

Пушкинские лаб.:	$\Delta L = 0,066 - 0,090\Delta\Sigma T_{\text{эф}}\phi_{15}$	$R^2 = 0,67$
МОВИР:	$\Delta L = 0,836 - 0,052\Delta\Sigma T_{\text{эф}}\phi_{15} + 0,145\Delta L_{10-15}$	$R^2 = 0,53$
ЕОС ВИР:	$\Delta L = 0,090 - 0,034\Delta\Sigma T_{\text{эф}}\phi_{15} + 0,014\Delta R_{15}$	$R^2 = 0,58$
КОС ВИР:	$\Delta L = -0,851 + 0,242\Delta L_{5-15} - 0,013\Delta\Sigma T_{\text{эф}}\phi_{15}$	$R^2 = 0,52$

Объединив предикторы этих четырех уравнений, получили общее уравнение исследованных сортов овса, пшеницы и ячменя, обобщающее данные 245 наблюдений:

$$\Delta L = 0,279 - 0,047\Delta\Sigma T_{\text{эф}}\phi_{15} + 0,189\Delta L_{10-15} + 0,008\Delta R_{15} \quad R^2 = 0,52$$

Частный коэффициент детерминации температурами составил 40 %, продолжительностью весеннего периода с температурами 10–15 °С – 11 %, вклад осадков составил всего 1 %.

Были построены объединенные модели периода всходы – цветение для 9 образцов сои в пушкинских лабораториях и распускание почек – полное созревание ягод винограда 20 сортов коллекции ВНИИВиВ:

Соя 9 образцов, всходы – цветение, пушкинские лаборатории

$$\Delta L_{\text{всходы-цветение}} = 1,780 - 0,049\Sigma T_{\text{эф}}\phi_{15} \quad R^2 = 0,57$$

Виноград ВНИИВиВ, г. Новочеркасск:

$$\Delta L = -0,154 + 0,353\Delta L_{10-15} - 0,013\Delta\Sigma T_{20} \quad R^2 = 0,40$$

Модели подтвердили решающую роль роста температур, причем для винограда, как более южной культуры, это оказались температуры выше 20 °С.

Для используемого как стандарт сорта сои Комсомолка, исследованного в условиях Кубанской ОС, лучшие уравнения получились во вторых разностях, что, возможно, отражает сложный вид агротехнических трендов за 36 лет наблюдений этого сорта:

$$\Delta\Delta L = 0,441 + 11,076\Delta\Delta TTK_{15} + 0,311\Delta\Delta L_{15-10} \quad R^2 = 0,60$$

Для этой культуры с длительным вегетационным периодом оказались существенными условия увлажнения, проявившиеся в зависимости от ГТК за период устойчивого перехода температур через 15 °С и продолжительность осеннего периода с благоприятными температурами – от 15 до 10 °С.

Расчитанные по индивидуальным и обобщенным уравнениям прогнозы представлены в табл. 3. Последний столбец таблицы рассчитан по обобщенному уравнению в разностях без свободного члена, т.е. представляет собой климатически обусловленный тренд.

Таблица 3

Прогноз линейного тренда продолжительности вегетации исследованных культур по объединенным моделям, сут/год

Место изучения	Культура	Факт.	Расчет с учетом неклиматической составляющей	Расчет климато-обусловленного тренда
Пушкинские лаб. ВИР	Овес, пшеница, ячмень	-0,20	-0,33	-0,39
МО ВИР	Овес, пшеница	0,16	0,41	-0,43
ЕОС ВИР	Овес, пшеница	0,07	-0,11	-0,20
КОС ВИР	Овес	0,31	-0,86	-0,01
ВНИИВиВ	Виноград	-0,54	-0,52	-0,36

Объединенное уравнение для образцов диких видов овса (построенное на основании 97 наблюдений) показывает, что, помимо отрицательного влияния роста сумм температур лета на продолжительность вегетации, более важной оказалось влияние яровизации низкими температурами в течение 15 дней после посева ($T_{н15}$).

Образцы диких видов овса (пушкинские лаборатории):

$$\Delta L = -1,82 + 2,92T_{н15} - 0,04\Sigma T_{\text{л}15} \quad R^2 = 0,78$$

Это показывает ограничение применимости высказываемых соображений о решающей роли повышения температур для образцов, развитие которых лимитируется другими факторами.

Регрессионный анализ высоты, массы 1000 зерен, массы зерна с 1 м² сортов-стандартов овса и пшеницы

Динамика этих показателей в общем соответствовала тенденциям динамики продолжительности вегетации сортов, но 2000-е гг. характеризовались увеличением высоты растения, массы 1000 зерен и урожайности в пушкинских лабораториях и МОБИР – эффект, не нашедший объяснения климатическими зависимостями. На Екатерининской ОС наблюдался рост этих признаков, на Кубанской ОС тенденция была отрицательной с 90-х гг. Лучшие уравнения для этих признаков получились в разностях, что отражает неклиматические влияния. Так, например, высота растений пшеницы в пушкинских лабораториях уменьшалась с ростом сумм температур выше 15 °С. На рис. 1 показаны ряды высоты растения и суммы температур выше 15 °С, взятой с обратным знаком в исходных уровнях и первых разностях. Виден сдвиг высоты растения при сохранении синхронности зависимости в 2000-е гг. Возможно, это связано с мелиорацией полей пушкинских лабораторий в 2001 году. Корреляция исследуемых признаков была равна -0,3 в исходных уровнях и достигла до -0,7 в первых разностях.

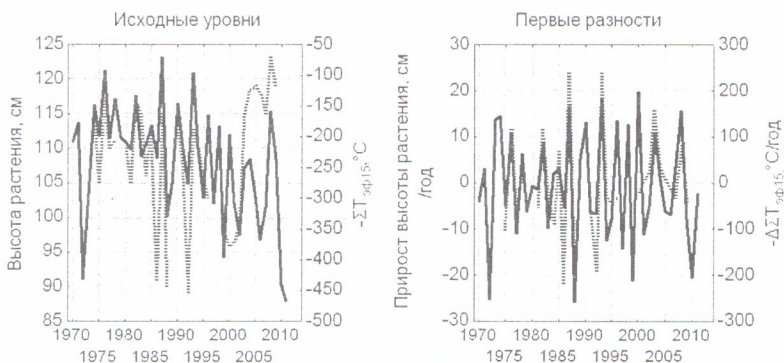


Рис. 1. Динамика высоты растения пшеницы Ленинградка 1972–2009 гг. (пунктирная линия) и взятых с обратным знаком сумм температур выше 15 °С (сплошная линия) в исходных уровнях и в первых разностях, пушкинские лаб.

Для этих признаков получились следующие объединенные уравнения в разностях:

Высота растения (H):

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

Для признака массы 1000 зерен (M_{1000}) не обнаружена связь с климатическими условиями, для разных сортов получены разные зависимости, скорее от погодных, чем от климатических условий.

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

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

Для сои сорта Комсомолка уравнения также оказались лучше во вторых разностях и показали непосредственную зависимость высоты, урожая с 1 м^2 от $ГТК_{10}$:

$$\text{Высота:} \quad \Delta \Delta H = -0,64 + 34,62 \Delta \Delta ГТК_{10} \quad R^2 = 0,48$$

$$\text{Масса 1000 зерен:} \quad \Delta \Delta M_{1000} = 0,82 + 0,15 \Delta \Delta R_{VIII} + 0,30 \Delta \Delta R_{VII} \quad R^2 = 0,44$$

$$\text{Урожай с } 1 \text{ м}^2: \quad \Delta \Delta Y = -3,33 + 237,74 \Delta \Delta ГТК_{10} \quad R^2 = 0,45$$

Здесь R_{VIII} , R_{VII} — осадки за август и июль соответственно.

Суммы эффективных температур

Модель постоянства сумм эффективных температур была проверена сравнением сумм эффективных температур периодов посев—всходы и всходы—цветение у 9 образцов сои со слабой ФПЧ в пушкинских лабораториях и на Кубанской ОС. На рис. 2 представлены графики зависимости сумм температур за периоды посев—всходы и всходы—цветение от продолжительности этих периодов. Видно, что наблюдения в пушкинских лабораториях (черные точки) и на Кубанской ОС (белые точки) хорошо ложатся на одну линию. Расчеты продолжительности периода всходы — цветение на Кубанской ОС по суммам эффективных температур, определенным в пушкинских

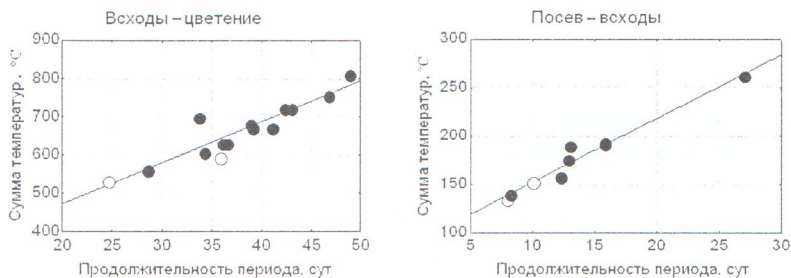


Рис. 2. Верификация модели эффективных температур, усредненные данные для 9 образцов сои.
 Обозначения: (●) пушкинские лаб.; (○) Кубанская станция

лабораториях, дали ошибку от 1,5 до 6 дней для разных образцов, расчет же по суммам температур, набираемых за вегетацию, показал бóльшую ошибку – 2,5–9 дней.

Для трех сортов овса на трех станциях была получена примерно одинаковая пороговая температура 5–7 °С, но разная степень детерминированности температурами продолжительности вегетации:

Боррус, пушкинские лаб.: $\sum T = 827,014 + 6,849L$ $R^2 = 0,54$
 Горизонт, Екатерининская ОС: $\sum T = 1072,476 + 5,482L$ $R^2 = 0,15$
 Краснодарский-73, Кубанская ОС: $\sum T = 884,9295 + 7,265L$ $R^2 = 0,39$

Наименьшая корреляция продолжительности вегетации с температурами отмечена на Екатерининской ОС; было показано, что на продолжительность вегетации в этих условиях влияют осадки. Таким образом, высокой прогностической способностью модель эффективных температур обладает при отсутствии лимитирования осадками. Было оценено, что в условиях Екатерининской ОС сумма эффективных температур составляет 1072 °С выше 5 °С при осадках за время вегетации 1,9 мм/сут; при увеличении средних осадков за день вегетации на 1 мм сумма температур увеличивается на 76 °С.

Для сортов винограда пороговая температура периода распускание почек – полное созревание для сортов колебалась от 8 до 13 °С, в среднем по 14 сортам составила

11 °С, но определить ее у позднеспелых сортов не удалось, видимо, из-за неоконченного процесса созревания.

Недостатком метода является необходимость длительного периода наблюдений для построения регрессии. Имитационное моделирование показало, что необходим ряд в 20 лет для получения значений пороговой температуры в доверительном интервале 30-летних наблюдений, в случае удаления выбросов (определенных джекнайф-методом) – 10 лет.

Выводы

1. Показано сокращение продолжительности вегетации ряда образцов в 1980–2011 гг.

2. Показано, что фактором, вызвавшим наблюдаемые сокращения вегетации районированных ранее сортов, является рост температур.

3. Сокращающее вегетационный период воздействие роста температур было частично компенсировано более ранним посевом (КОС ВИР), увеличением количества осадков (на ЕОС ВИР), повсеместным ростом уровня агротехники в 2000-е гг.

4. Метод последовательных разностей увеличивает прогностические возможности регрессионного анализа климатической зависимости хозяйственно-ценных признаков.

5. Построение обобщенных уравнений для панельных данных в разностях для каждого исследованного пункта позволило выделить лимитирующие факторы развития группы культур.

6. Для прогнозирования продолжительности вегетации в различных географических условиях при отсутствии лимитирования осадками может быть использован метод сумм эффективных температур.

7. Прогнозируется сокращение вегетационного периода и урожайности районированных ранее сортов яровых зерновых, связанное с ростом температур.

Литература

1. Бабушкин Л.Н. О некоторых способах определения температурных показателей скорости развития сельскохозяйственных культур (Ташкентская опытная станция АГМИ-Боз-су) // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1938. – Вып. 25. – С. 97–110.
2. Баранов В.Ф. Проблемы стабилизации продуктивности агроценозов сои в связи с глобальными изменениями климата // Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои. Сборник статей Второй Международной конф. по сое, Краснодар, Россия, 9–10 сентября 2008 года. – Краснодар, 2008. – С. 253–256.
3. Гордеев А.В и др. Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата / Под ред. А.В. Гордеева. – М., 2008. – 207 с.
4. Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В. и др. Эконометрика / Под ред. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
5. Мищенко З.А. Агроклиматология. – Киев: КНТ, 2009. – 512 с.
6. Николаев М.В. Современный климат и изменчивость урожаев. – СПб.: Гидрометеоздат, 1994. – 201 с.
7. Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Сеферова И.В., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В. Прогнозирование продолжительности вегетационного периода сортов яровых зерновых культур в условиях изменения климата // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 5. – С. 78–87.
8. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. Т. 1 и 2. – Л: Гидрометеоздат, 1984.
9. Сиротенко О.Д., Клещенко А.Д., Павлова В.Н., Абашина Е.В., Семендяев А.К. Мониторинг изменений климата и оценка последствий глобального потепления для сельского хозяйства // Агрофизика. – 2011. – № 3. – С. 31–39.
10. Шиголов А.А. Руководство для составления фенологических прогнозов (озимая рожь, озимая пшеница, яровая пшеница, плодовые культуры, древесные растения лесных насаждений) // Сельскохозяйственная метеорология. Метод. указания. Вып. 15. – М.-Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1951. – 43 с.