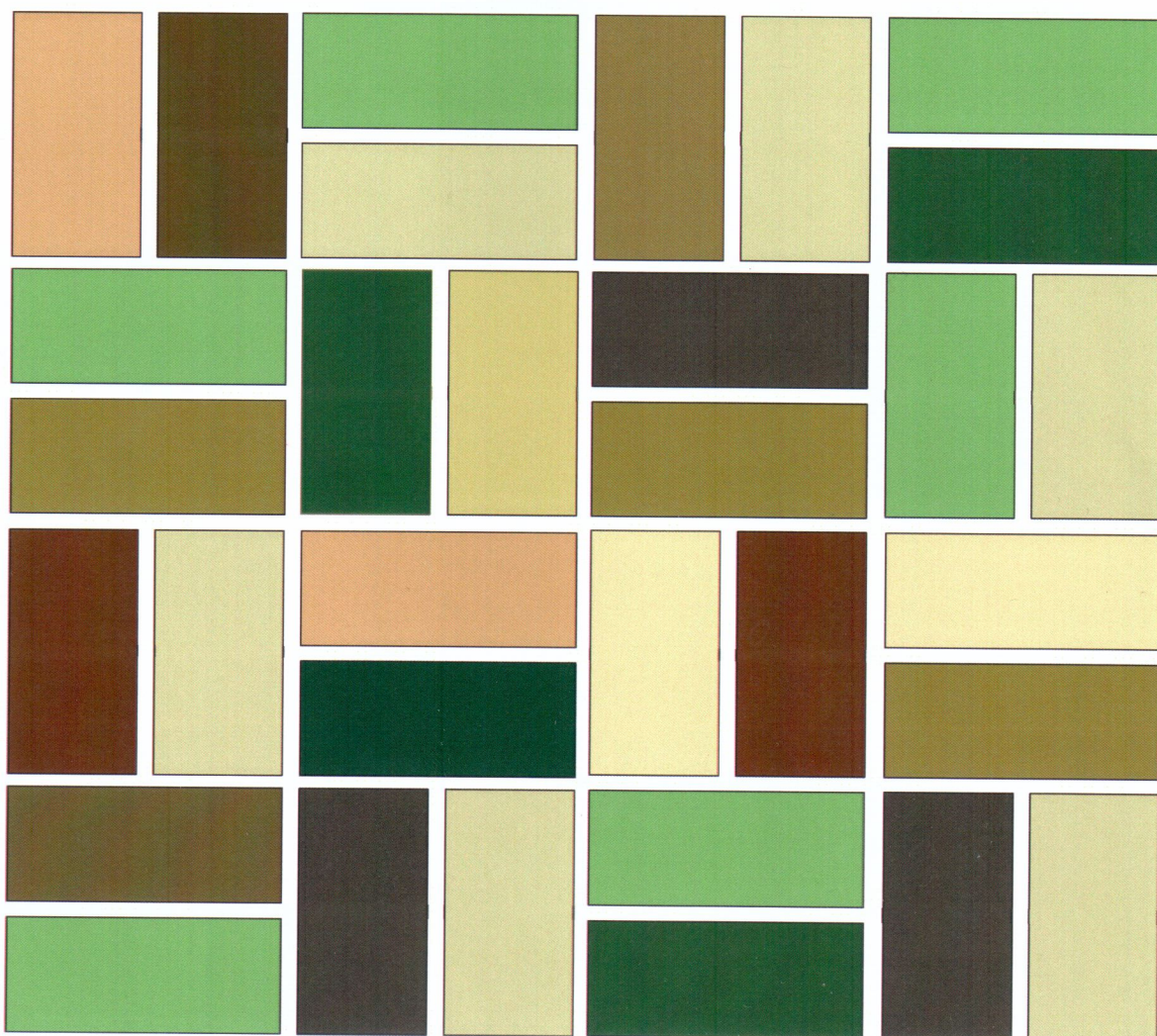


Агрофизика

ежеквартальный научный журнал



Агрофизический научно-исследовательский институт
Россельхозакадемии

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СОРТОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Л. Ю. Новикова, В. Н. Дюбин, И. Г. Лоскутов, Е. В. Зуев, И. В. Сеферова

ГНУ ВИР Россельхозакадемии

Большая Морская улица, 42, Санкт-Петербург, 190000

E-mail: l.novikova@vir.nw.ru

Поступила в редакцию 20 декабря 2011 г., принята к печати 31 декабря 2011 г.

В работе анализируется динамика хозяйственно ценных признаков стандартных сортов овса, пшеницы и сои за последние 30 лет на опытных станциях сети ВИР в четырех регионах Европейской территории РФ. Методами регрессионного анализа, в том числе в последовательных разностях, установлено, что важнейшими факторами изменений климата для зерновых культур являются повышение сумм температур и снижение осадков за период устойчивого перехода через 15°C, приводящие к укорачиванию вегетационного периода и снижению урожайности районированных ранее сортов. Продемонстрированы возможности использования метода последовательных разностей для повышения прогностической способности моделей.

Ключевые слова: изменения климата, овес, пшеница, соя, регрессионный анализ, последовательные разности.

ВВЕДЕНИЕ

Усиление интереса к климатической зависимости сельскохозяйственного производства в последнее время связано с оценкой экономического эффекта происходящего потепления и повышения засушливости климата. Лимитирующие урожайность сельскохозяйственных культур факторы в различных регионах различны: на севере ЕТ РФ к середине века прогнозируется рост урожайности зерновых на 10–20% за счет роста температур и увеличения периода с биологически активными температурами, а на Северном Кавказе из-за развития засушливости – снижение от 6 до 26% по различным моделям (Гордеев, 2008). Для адаптации растениеводства к происходящим изменениям климата, оптимизации видовой и сортовой структуры посевных площадей необходимо прогнозирование динамики хозяйственно ценных признаков растений с использованием статистических и динамических моделей (Гордеев, 2008; Сиротенко, 2009; Сиротенко и др. 2011).

В данной работе решается задача уточнения характеристик изменений климата, существенных для зерновых в различных регионах ЕТ РФ, на основании регрессионного анализа многолетних наблюдений за стандартными сортами, возделываемыми по одной и той же методике на станциях ВИР

им. Н. И. Вавилова. Использование данного модельного объекта позволило нивелировать влияние сортосмены и агротехники на динамику хозяйственно ценных признаков. Повысить качество моделей позволило использование метода последовательных разностей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили длинные ряды наблюдений за хозяйственно ценными признаками сортов – стандартов на четырех станциях ВИР, различающихся климатическими условиями (табл. 1). Стандарты представляют собой хорошо адаптированные к условиям данной территории сорта, используемые для сравнения образцов коллекции в разные годы; они высеваются ежегодно в нескольких повторностях. Для всех станций исследованы стандартные сорта овса, причем в г. Пушкине был один стандарт на протяжении исследованного периода, в Московском отделении ВИР параллельно высевались два стандарта овса, а на Кубанской станции три стандарта овса сменяли друг друга последовательно. На трех станциях представлены данные по стандартам яровой пшеницы, на Кубани эта культура не выращивается. Только на Кубанской опытной станции выращивается более позднеспелая культура – соя, данные по стандарту которой включены в исследование.

Таблица 1. Исследованные сорта

| Место изучения | Климат | Вид | Сорт | Период изучения, годы |
|---|--|---------|--------------------|-----------------------|
| Пушкинский филиал ВИР, г. Пушкин, Санкт-Петербург | умеренный, достаточного увлажнения | овес | «Боррус» | 1980–2011 |
| | | пшеница | «Ленинградка» | 1972–2006 |
| МОВИР, п. Михнево, Московская обл. | умеренный, достаточного увлажнения | овес | «Гамбо» | 1982–2007 |
| | | овес | «Немчиновский 2» | 1983–2007 |
| | | пшеница | «Московская 35» | 1976–2009 |
| ЕОС ВИР, п. Екатеринино, Тамбовская обл. | резко континентальный, недостаточного увлажнения резко континентальный, недостаточного увлажнения | овес | «Горизонт» | 1981–2009 |
| | | пшеница | «Кутулукская» | 1976–2009 |
| КОС ВИР, п. Ботаника, Краснодарский край | теплый, достаточного увлажнения | овес | «Краснодарский 73» | 1974–1988 |
| | | овес | «Оттер» | 1988–1998 |
| | | овес | «Валдин 765» | 1997–2010 |
| | | соя | «Комсомолка» | 1973–2009 |

Были изучены следующие хозяйственно ценные признаки: даты посева и наступления фаз (всходы, цветение, созревание), продолжительности межфазных периодов и вегетационного периода, масса 1000 зерен, высота растения, масса зерна с 1 м².

Использовались метеоданные опытных станций – среднемесячные среднесуточные температуры, суммы осадков за месяц, характеристики периодов устойчивого перехода температур через 5, 10, 15°C (даты наступления, продолжительности периодов, суммы активных и эффективных температур, суммы осадков, ГТК).

Методы. Хозяйственно ценные признаки исследованных сортов получены с использованием разработанной в ВИР методики морфобиологического скрининга коллекции.

Методом наименьших квадратов выделены тренды агрометеорологических показателей и хозяйственно ценных признаков. Связь хозяйственно ценных признаков и климатических характеристик динамических рядов исследована с помощью многомерного регрессионного анализа исходных уровней и последовательных разностей. Построены общие для нескольких сортов, культур и станций регрессионные модели зависимости хозяйственно ценных признаков от климатических показателей.

В исследовании принят 5%-й уровень значимости.

Метод последовательных разностей

Особенностью регрессионного анализа переменных, представляющих собой временные ряды, является возможное влияние на характер и силу указанной связи трендов в рядах зависимой переменной и регрессоров, порождаемых временем. В данном исследовании, несмотря на единую методику эксперимента, также присутствует экономическая составляющая – мелиорация полей в г. Пушкине в 2001 г., своевременность и полнота выполнения агротехнических мероприятий в годы перестройки. Для анализа связей между нестационарными рядами можно применять метод наименьших квадратов к рядам, очищенным от тренда – с помощью вычитания тренда (Николаев, 1994) или перехода к последовательным разностям (Елисеева и др., 2007, Айвазян и др., 1985). Порядок разностей определяется степенью полинома, которым аппроксимируется тренд (Бокс, Дженкинс, 1974), но, как правило, не превышает третьего (Айвазян и др., 1985). В проведенных исследованиях серьезные улучшения детерминированности ряда уравнений были получены переходом к первым разностям; для самого длинного ряда – 37 лет наблюдений за соей – модель улучшалась переходом ко вторым разностям. Рассмотрим модель в разностях для распространенного случая линейной зависимости хозяйственно ценного признака в момент времени t y_t от климатической характеристики

K_t , возможно имеющей собственный тренд, с коэффициентами регрессии a_K, b_K .

Пусть y_t аппроксимируется модельным значением \hat{y}_t с ошибкой ε_t , удовлетворяющей предположкам применения метода наименьших квадратов:

$$y_t = \hat{y}_t + \varepsilon_t.$$

Пусть временная зависимость (от неклиматического воздействия) также линейна с коэффициентами a, b :

$$\hat{y}_t = (a_K + b_K K_t) + (a + bt).$$

Тогда анализ связи приростов переменных за год позволяет определить коэффициент регрессии исходных уровней b_K :

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

Коэффициент a_K определить методом разностей не удается.

При аппроксимации неклиматической тенденции полиномом 2-го порядка переход ко вторым разностям также позволяет убрать данный тренд:

$$\begin{aligned} \hat{y}_t &= (a_K + b_K K_t) + (a + b_1 t + b_2 t^2); \\ \Delta_t y &= y_t - y_{t-1} = b_K \Delta_t K + (a + b_1 t + b_2 t^2 + \varepsilon_t) - \\ &- (a + b_1(t-1) + b_2(t-1)^2 + \varepsilon_{t-1}); \\ \Delta_t y &= b_K \Delta_t K + (b_1 - b_2) + 2b_2 t + (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}); \\ \Delta \Delta_t y &= \Delta_t y - \Delta_{t-1} y = b_K \Delta \Delta_t K + 2b_2 + \\ &+ (\varepsilon_t - 2\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_{t-2}). \end{aligned}$$

Еще одно преимущество работы с разностями – возможность объединения рядов наблюдений. Пусть имеются два сорта (вида) с одинаковыми скоростями реакции хозяйственно ценного признака y_{it} ($i = 1, 2$) на исследуемый климатический фактор K (b_K) и время (b), но разными абсолютными значениями признака – свободными членами уравнений a_1 и a_2 . Их объединение в один ряд будет содержать заведомую дисперсию из-за различия a_i , в то время как объединение рядов их первых разностей $\Delta_t y$ даст удлинение ряда и увеличение точности определения b_K (взятие разностей в модели панельных данных, Елисеева, 2007). Необходимым условием для этого является одинаковое распределение остатков исходных рядов:

$$\begin{cases} y_{1t} = a_1 + b_K K_t + bt + \varepsilon_{1t} \\ y_{2t} = a_2 + b_K K_t + bt + \varepsilon_{2t} \\ \Delta_t y_i = b_K \Delta_t K + b + (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{i(t-1)}) \end{cases}$$

Вообще, регрессия в разностях – простой метод, который дает модели более правильной спецификации, чем в исходных уровнях. Однако метод последовательных разностей не дает возможности непосредственно прогнозировать исходные уровни признаков: при наличии пропусков в данных их количество умножается с каждой последовательной разностью, т.е. меняется исследуемая выборка.

Метод последовательных разностей был успешно использован авторами для исследования климатических зависимостей хозяйственно ценных признаков овса, пшеницы, сои (Новикова и др. 2010, 2011; Сеферова и др., 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения климата. Анализ условий вегетации яровых – на протяжении весны, лета и осени – показал, что во всех четырех филиалах наблюдался рост летних температур, в частности, за периоды устойчивого перехода температур через 5, 10, 15°C. Однако на Кубанской станции рост температур начался в 90-х, до этого, с 60-х годов, наблюдалось слабое похолодание. Суммы осадков были в разных пунктах различными: уменьшились в г. Пушкине (Санкт-Петербург), увеличились в Екатерино (Тамбовская обл.), не изменились в Московской области и Краснодарском крае. Показатели, оказавшиеся важными факторами длительности вегетационного периода – продолжительности периодов между переходом температур через 10 и 15, 5 и 15°C весной и 15 и 10°C осенью – не проявили достоверных тенденций к изменению (кроме г. Пушкина, где наблюдается тенденция к увеличению продолжительности периода с температурами от 5 до 15°C).

Динамика хозяйственно ценных признаков

На всех станциях (на Кубанской – с 90-х годов) наблюдались более ранние всходы всех исследованных культур (при более раннем осуществлении посевов).

На рисунках 1 и 2 представлена динамика вегетационного периода и урожая с 1 м² исследованных культур, выделены основные тенденции, которые ограничены пе-

риодом наблюдения, т.к. вид нескольких трендов, очевидно, зависит от периода, на котором он был определен.

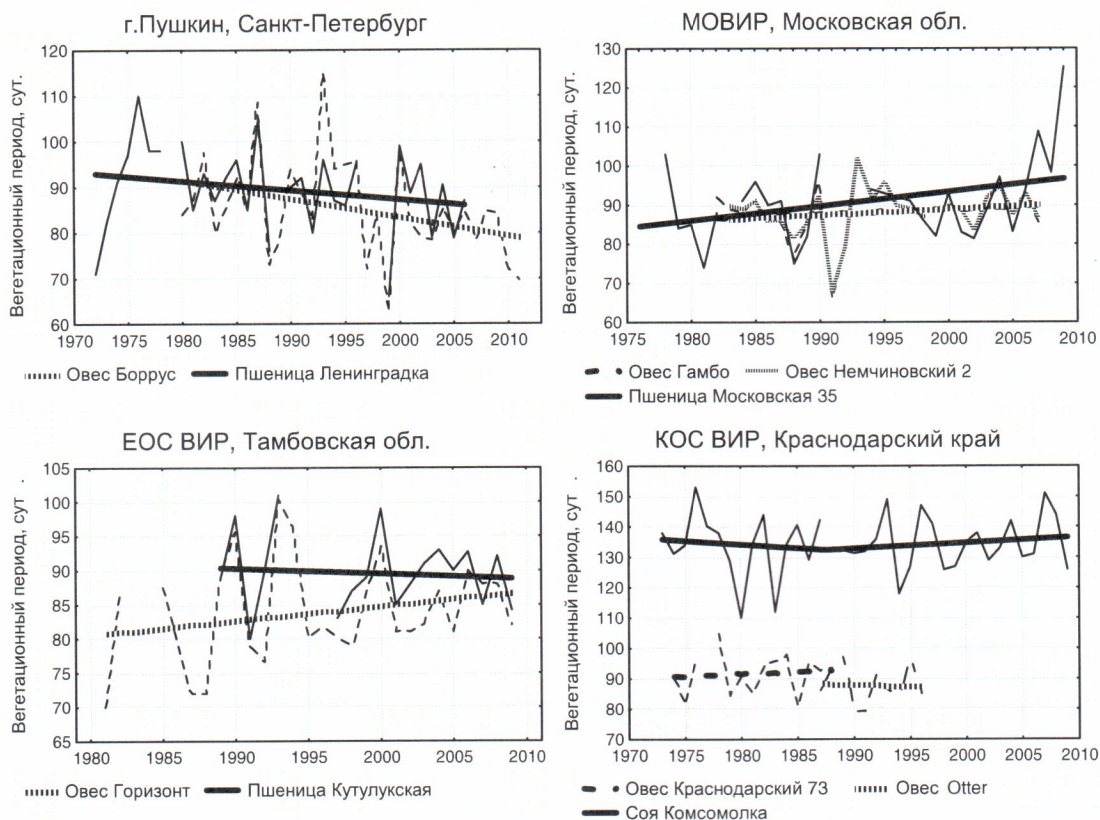


Рис. 1. Продолжительность вегетационного периода сортов-стандартов на четырех опытных станциях ВИР

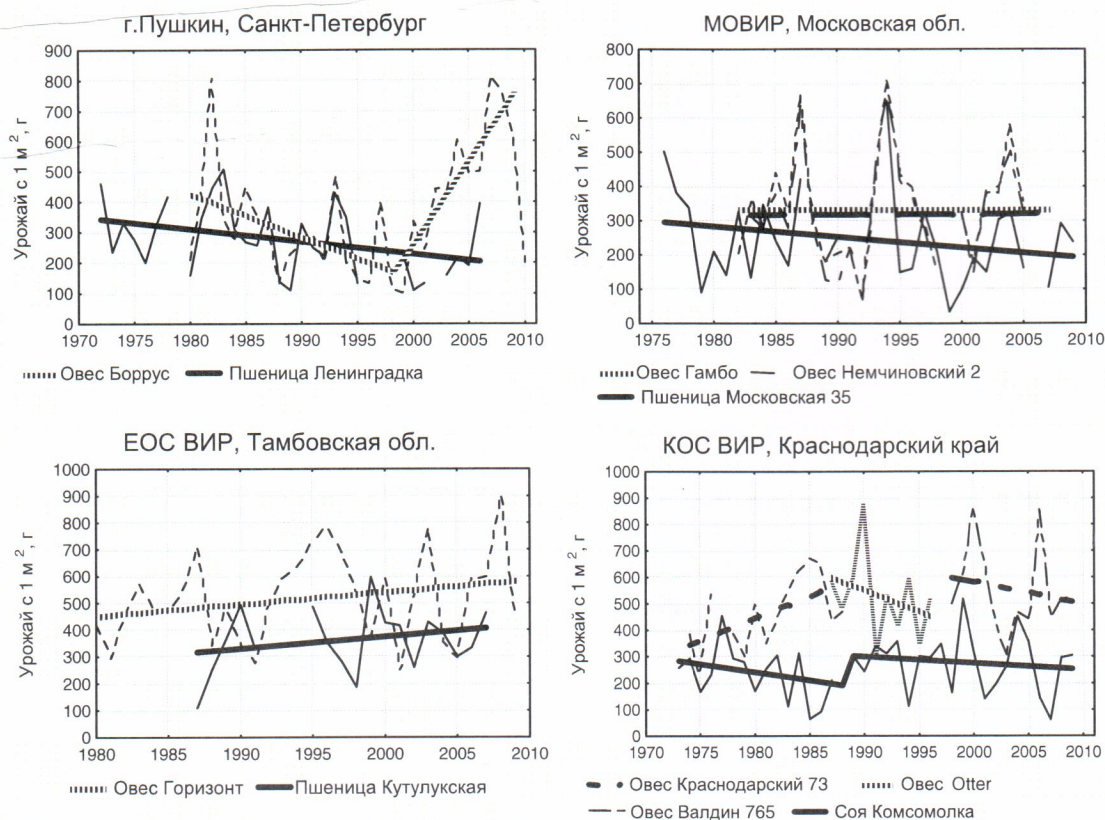


Рис. 2. Динамика урожая с 1 м² стандартных сортов на четырех станциях ВИР

В г. Пушкине наблюдалось уменьшение продолжительности вегетационного периода овса и пшеницы. Высота растения, масса 1000 зерен и урожайность уменьшались до 2000 г., а в 2000-х годах отмечено резкое увеличение данных показателей. Модель зависимости от погодно-климатических факторов не объясняет указанного явления – возможно, влияли изменения агротехники – мелиорация полей, например.

На Московском отделении ВИР не удалось отметить заметных тенденций к изменению продолжительности вегетационного периода и массы 1000 зерен, однако уменьшалась высота растений всех изученных сортов, и не менялся или уменьшался урожай с 1 м². Наблюдалось некоторое увеличение всех исследованных признаков в 2000-е годы.

На Екатерининской станции наблюдался рост продолжительности вегетационного периода овса, у пшеницы тенденции к изменению не отмечено. Увеличивалась высота

растений, масса 1000 зерен и урожайность обеих культур.

На Кубанской станции динамика в 70–80-е годы – когда там слабо холодало – противоположна динамике годов периода потепления: с 1974 по 1988 гг. росла продолжительность вегетационного периода овса «Краснодарский 73», уменьшалась его высота, росла урожайность. С началом потепления в 90-х годах тенденции противоположны – укорачиваются вегетационный период у овса, высота растений, урожайность. У сои в период потепления уменьшалась высота растений, в 2000-е годы отмечалась слабая тенденция к уменьшению урожайности, продолжительность вегетационного периода и масса 1000 зерен не менялись. Некоторое снижение урожайности наблюдалось в 80-е годы.

Регрессионные модели. Были построены регрессионные модели хозяйственно ценных признаков. Модели продолжительности вегетационного периода представлены в таблице 2.

Таблица 2. Регрессионные модели климатической зависимости продолжительности вегетационного периода сортов-стандартов

| Пункт | Вид | Сорт | Модель продолжительности вегетационного периода | R ² | N |
|---------------------------------|---------------|--------------------|---|----------------|-----|
| г. Пушкин (Санкт-Петербург) | овес | «Боррус» | $L=110.614-0.101\Sigma T_{\text{эф}15}$ | 0.65 | 31 |
| | пшеница | «Ленинградка» | $L=108.809-0.083\Sigma T_{\text{эф}15}$ | 0.60 | 27 |
| | овес, пшеница | 1972–2009 | $\Delta L=0.397-0.102\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}$ | 0.68 | 57 |
| МОВИР (Московская обл.) | овес | «Гамбо» | $\Delta L=1.144-0.060\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.206\Delta L_{10,15}$ | 0.53 | 22 |
| | овес | «Немчиновский 2» | $\Delta L=1.606-0.050\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.187\Delta L_{10,15}$ | 0.51 | 21 |
| | пшеница | «Московская 35» | $\Delta L=0.299-0.057\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.217\Delta L_{10,15}$ | 0.77 | 22 |
| | овес 2 сорта | 1982–2007 | $\Delta L=0.193-0.044\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.108\Delta L_{10,15}$ | 0.42 | 43 |
| | овес, пшеница | 1976–2009 | $\Delta L=0.836-0.052\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.145\Delta L_{10,15}$ | 0.53 | 65 |
| ЕОС ВИР (Тамбовская обл.) | овес | «Горизонт» | $L=84.512-0.034\Sigma T_{\text{эф}15}+0.061R_{15}$ | 0.66 | 26 |
| | пшеница | «Кутулукская» | $L=93.777-0.027\Sigma T_{\text{эф}15}+0.031R_{15}$ | 0.60 | 19 |
| | овес, пшеница | 1976–2009 | $\Delta L=0.899-0.034\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.014\Delta R_{15}$ | 0.58 | 39 |
| КОС ВИР (Краснодарский край) | овес | «Краснодарский 73» | $L=100.791+0.153L_{5,15}-0.022\Sigma T_{\text{эф}15}$ | 0.52 | 13 |
| | овес | «Otter» | $L=79.484+0.364 L_{5,15}$ | 0.56 | 10 |
| | овес 2 сорта | 1974–1998 | $\Delta L=-0.851+0.242\Delta L_{5,15}-0.013\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}$ | 0.52 | 20 |
| | соя | «Комсомолка» | $\Delta\Delta L=0.441+11.076\Delta\Delta\Gamma\text{TK}_{15}+0.311\Delta\Delta L_{15,10}$ | 0.60 | 29 |
| 4 станции | овес, пшеница | 1972–2009 | $\Delta L=0.272-0.046\Delta\Sigma T_{\text{эф}15}+0.193\Delta L_{10,15}+0.014\Delta R_{15}$ | 0.51 | 180 |

L – продолжительность вегетационного периода, дни; T_{эф15} – сумма эффективных температур за период устойчивого перехода через 15°C; S – дата посева (номер дня посева от 1 апреля); R₁₅ – сумма осадков за период устойчивого перехода температур через 15°C, мм; L_{10 15} – продолжительность периода между датами устойчивого перехода температур через 10 и 15°C весной, дни; L_{5 15} – продолжительность периода между датами устойчивого перехода температур через 5 и 15°C весной, дни; L_{15 10} – продолжительность периода между датами устойчивого перехода температур через 15 и 10°C осенью, дни.

Модели климатической зависимости вегетационного периода почти для всех исследуемых рядов хорошо (больше 50%) детерминированы в исходных уровнях. Использование моделей в первых разностях позволяет немного повысить коэффициент детерминации; спецификации моделей и коэффициенты регрессии (кроме свободного члена) при этом не меняются. Например, уравнения для овса сорта Боррус в исходных уровнях и первых разностях:

$$L = 110.614 - 0.101\Sigma T_{эф15}$$

$$R^2 = 0.65 \quad N = 31.$$

$$\Delta L = 0.476 - 0.112\Delta\Sigma T_{эф15}$$

$$R^2 = 0.76 \quad N = 30.$$

В подобных условиях следует считать более предпочтительными уравнения в исходных уровнях, поскольку они дают ин-

формацию об абсолютном значении исследуемого признака, а не только о закономерностях его изменения.

Для стандартов МОВИР не удалось построить хорошо детерминированные уравнения для вегетационного периода в исходных уровнях (не было значимых коэффициентов регрессии), однако в первых разностях климатические зависимости проявились (рис. 3). Причиной этого является повышение продолжительности вегетационного периода в 2000-е годы при тех же эффективных температурах, наблюдавшееся, помимо МОВИР, в г. Пушкине и не получившее объяснения в рамках данной модели. Эффект не может быть объяснен сдвигом второго фактора, влияющего на вегетационный период – продолжительности периода с температурами от 5 до 15°C, т.к. он не имеет тренда.

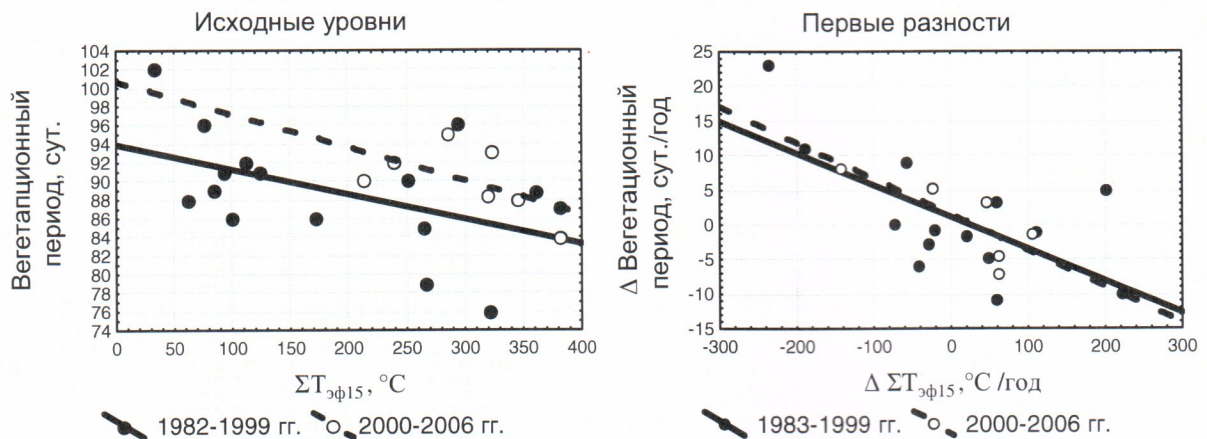


Рис. 3. Температурная зависимость продолжительности вегетационного периода овса сорта «Гамбо» в условиях МОВИР в исходных уровнях и первых разностях

Использование первых разностей позволило сомкнуть ряды продолжительностей вегетационных периодов сортов овса «Краснодарский 73» и более скороспелого сорта «Otter» в один в условиях Кубанской станции. Общность предикторов и сходство коэффициентов регрессии для двух параллельно исследованных сортов овса на МО ВИР позволили предложить также обобщенное уравнение для этих сортов (табл. 2).

Полученные для овса и пшеницы уравнения имеют общие элементы спецификации

для каждой станции, что свидетельствует об одинаковых лимитирующих факторах для роста и развития растений в складывающихся на станции условиях. Состоятельность объединенных уравнений (в разностях) доказывает, что исследованные сорта и культуры имеют сравнимые скорости реакции на изменения среды. Иллюстрация построения объединенной модели продолжительности вегетационного периода для овса и пшеницы стандартных сортов на Екатерининской станции представлена на рисунке 4.

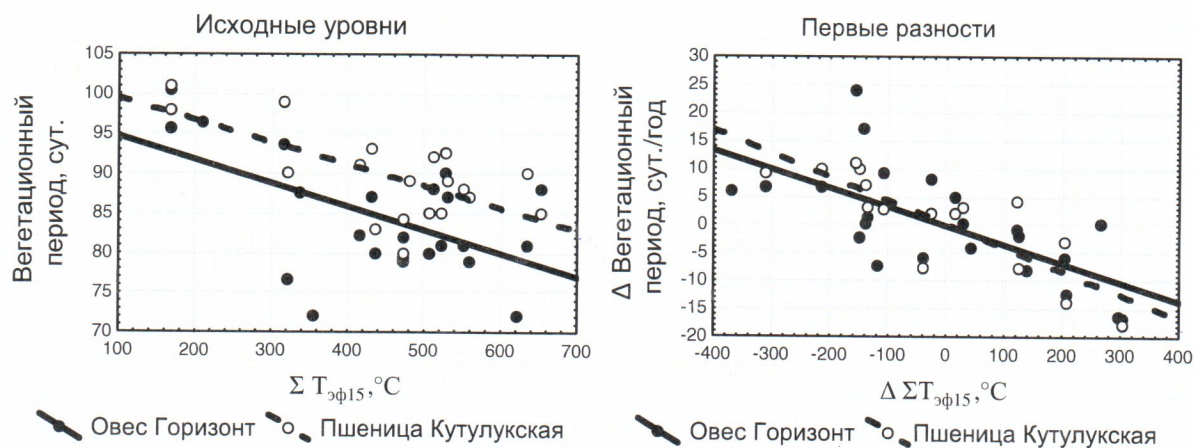


Рис. 4. Зависимость продолжительности вегетационного периода овса сорта «Горизонт» и пшеницы сорта «Кутулукская» от суммы эффективных температур за период устойчивого перехода через 15°C ($\Sigma T_{эф15}$), ЕОС ВИР

Было построено объединенное уравнение в первых разностях для вегетационного периода овса и пшеницы (179 наблюдений) на всех четырех станциях (табл. 2).

Анализ объединенных уравнений показал, что важнейшими климатическими факторами для зерновых оказались характеристики периода с высокими – более 15°C – температурами. Рост сумм температур выше 15°C повсеместно вызывает укорачивание вегетационного периода адаптированных к условиям конца прошлого века сортов. В условиях Северо-Западного региона (г. Пушкин), обеспеченного осадками несмотря на уменьшение их количества, это единственный фактор, влияющий на продолжительность вегетации за последние 30 лет. Кроме того, в Центральном регионе (Московская обл.) температурная зависимость выразилась через положительную корреляцию продолжительности вегетационного периода и продолжительности периода с благоприятными для роста и развития растений температурами от 10 до 15°C. В засушливых условиях Центрально-Черноземного региона (Тамбовская обл.) важным фактором оказалось повышение сумм осадков. На Кубанской станции продолжительность вегетационного периода овса зависела от продолжительности периода с температурами от 5 до 15°C. Однако данный показатель не проявил тенденции к изменению со временем.

Продолжительность вегетационного периода сои «Комсомолка» на Кубанской станции зависит (помимо сумм температур

выше 15°C) также от осадков за указанный период, что выражается в положительной связи с $ГТК_{15}$. Данный показатель также зависел от условий осенней вегетации – продолжительности периода с благоприятными температурами от 10 до 15°C (не показавшей достоверной тенденции к увеличению или уменьшению за изученный период). Наилучшие модели для сои получились во вторых разностях, что, возможно, указывает на наличие сложного неклиматического тренда за столь длинный период (37 лет) наблюдений за сортом.

Модели формирования высоты растения хуже детерминированы климатическими факторами, детерминированность возрастает при переходе к первым разностям и составила от 33 до 72%, меняется спецификация уравнений. Все вышеуказанное свидетельствует о большей чувствительности данного признака к неучтенным, предположительно агротехническим, воздействиям. Однако климатические факторы, формирующие высоту растения, там, где они определены, те же, что и факторы, формирующие продолжительность вегетационного периода на каждой станции. Наблюдающееся уменьшение высоты растений овса и пшеницы на всех станциях, кроме Екатериново (Тамбовская обл.), связано с ростом температур. Высота растения сои уменьшается с уменьшением $ГТК$ за период перехода температур через 10°C (наилучшее уравнение для высоты сои получено так же, как и для вегетационного периода во вторых разностях). В Екатериново-

но наблюдается некоторое увеличение высоты растений овса и пшеницы, связанное с ростом осадков.

Масса 1000 зерен оказалась наименее моделируемой величиной. За редкими исключениями, не удалось построить уравнений регрессии.

Масса зерна с квадратного метра связана с климатическими условиями опосредованно, зависит от успешности прохождения растением вегетативного этапа, выраженной зависимостью от высоты растения, и генеративного – от массы 1000 зерен.

Высота растения и урожайность сои зависят непосредственно от климатической характеристики – ГТК₁₀. Данные зависимости лучше всего проявляются во вторых разностях - в исходных уровнях $R^2 = 0.21$ (это лучшая модель из всех изученных спецификаций), в первых разностях $R^2 = 0.42$, во вторых $R^2 = 0.53$. Были рассмотрены виды урав-

нений регрессии по календарным десятилетиям (рис. 5). Графики демонстрируют, что регрессионные зависимости в 70-х и 90-х годах близки, в 80-е годы при том же ГТК₁₀ урожайность была ниже, чем в другие годы – наблюдался сдвиг свободного члена в уравнении регрессии, в 2000-е годы уменьшился коэффициент регрессии – была более замедленная реакция на изменения ГТК₁₀. В первых разностях ошибка уравнения уменьшилась за счет ликвидации сдвига 80-х годов, во вторых – уменьшилась разница коэффициента регрессии 2000-х от остальных. Возможно, в 2000-е годы имела место квадратичная неклиматическая тенденция, ГТК₁₀ в указанный период уменьшался, т.е. временная составляющая замедляла падение урожайности. В 80-е годы урожайность уменьшилась по неклиматическим или не обнаруженным климатическим причинам.

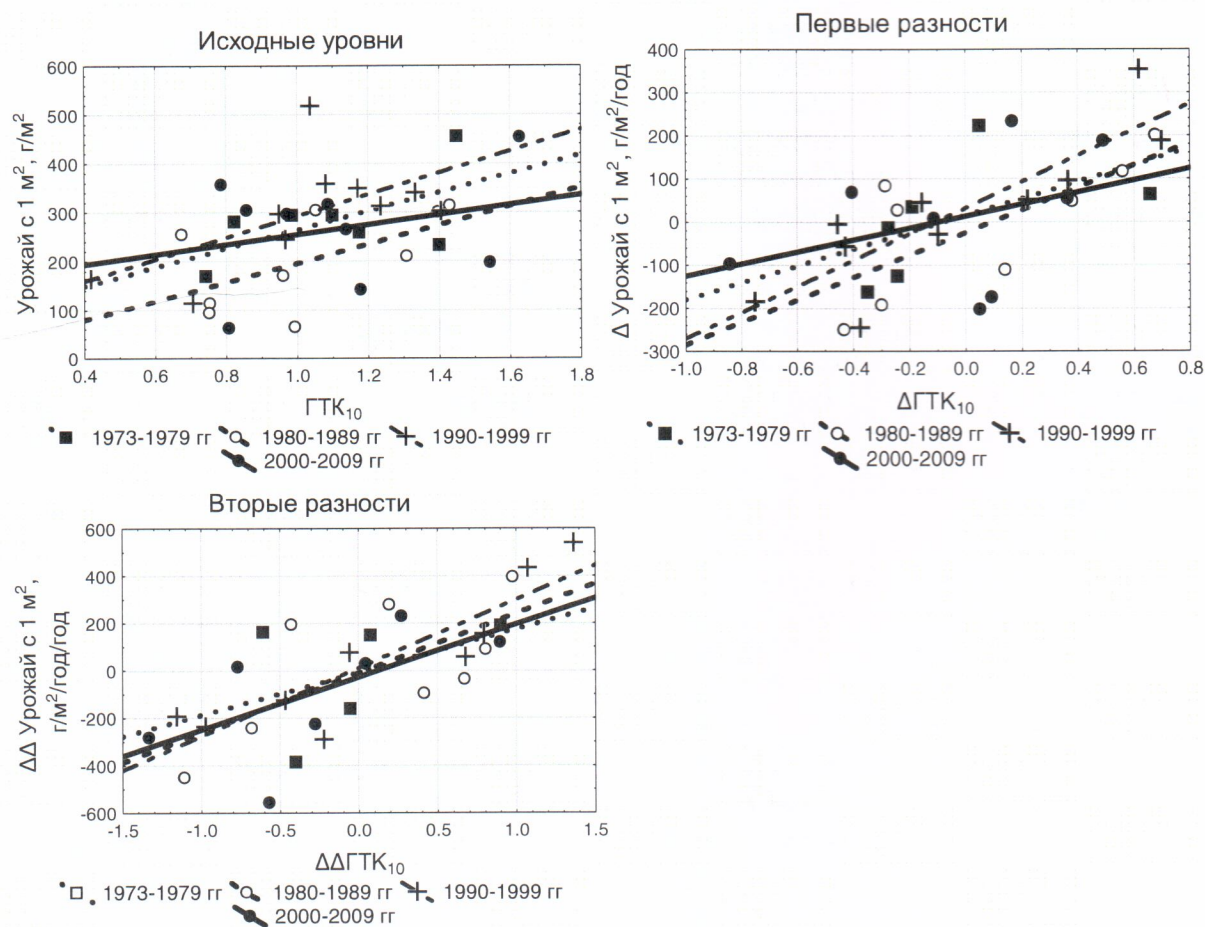


Рис. 5. Анализ зависимости урожая с 1 м² сои сорта «Комсомолка» от ГТК₁₀ в условиях КОС ВИР в последовательных разностях

ВЫВОДЫ

1. На всех четырех исследованных станциях ВИР ЕТ РФ наблюдается рост летних температур за периоды устойчивого перехода температур через 5, 10, 15°C. Суммы осадков уменьшились в г. Пушкине (Санкт-Петербург), увеличились в Екатерино (Тамбовская обл.), не изменились в Московской области и Краснодарском крае.

2. Полученные для сортов овса и пшеницы регрессионные уравнения имеют близкие спецификации на каждой станции, т.е. одинаковые лимитирующие факторы для роста и развития данных культур в складывающихся на станциях условиях.

3. Хорошо детерминированные обобщенные модели продолжительности вегетационного периода овса и пшеницы свидетельствуют о схожей реакции сортов данных культур на лимитирующие факторы.

4. Наиболее важным отрицательным фактором динамики хозяйственно ценных признаков районированных ранее сортов оказались суммы высоких температур - за

период устойчивого перехода через 15°C. Для засушливых условий Екатерининской станции (Тамбовская область) и для сои в условиях Кубанской станции (Краснодарский край) важным оказалось изменение сумм осадков за указанный период.

5. Для роста сои (более позднеспелой, чем остальные изученные культуры) условиях Краснодарского края решающим климатическим фактором оказался ГТК за период устойчивого перехода температур через 10°C.

6. Использование метода последовательных разностей позволяет исключить влияние изменений агротехники на исследуемые хозяйственно ценные признаки и повысить за счет этого точность агрометеорологических прогнозов, а также смыкать ряды динамики показателей различных сортов и культур.

7. На основе полученных моделей можно прогнозировать, что в случае продолжения наблюдающегося потепления будут востребованы более позднеспелые сорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. 1985. Прикладная статистика: исследование зависимостей. Изд. Финансы и статистика, Москва.
- Бокс Дж., Дженкинс Г. 1974. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир.
- Гордеев А. В. (Ред.) и др. 2008. Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата. Изд. НИИСХМ, Обнинск.
- Елисеева И. И. Эконометрика. 2007. Изд. Финансы и статистика, Москва.
- Николаев М. В. 1994. Современный климат и изменчивость урожаев. Изд. Гидрометеиздат, Санкт-Петербург.
- Сиротенко О. Д. 2009. Развитие физико-математических методов исследования в агрометеорологии. В: Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России. Обнинск, с. 112-130.
- 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: 31-39.