

<sup>1</sup>Л. Г. Наумова, внс лаб. ампелографии, к. с.-х. н.,  
<sup>2</sup>Л. Ю. Новикова, снс группы агрометеорологии, к. т. н.  
<sup>1</sup>ВНИИВиВ – филиал ФГБНУ ФРАНЦ, г. Новочеркасск,  
<sup>2</sup>ВИР, г. Санкт-Петербург  
<sup>1</sup>L.Gnaumova@yandex.ru, <sup>2</sup>I.novikova@vir.nw.ru

УДК 634.8:551.582.2 (470.61)

DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-133-137

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РАЗНОСТЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ\*

**Резюме.** Создан комплекс регрессионных моделей хозяйственно-ценных признаков винограда в условиях Нижнего Придонья. Материалом послужили наблюдения за сортами винограда Донской ампелографической коллекции им. Я. И. Потапенко в 1981-2017 гг. Для получения стационарных временных рядов в условиях агротехнических и климатических изменений был осуществлен анализ в разностях. По полученным моделям сделаны климатообусловленные прогнозы. Модели в разностях обладают лучшими прогноз способностями.

**Ключевые слова:** виноград, агрометеорология, регрессия в разностях.

**Summary.** The complex of regression models of economically valuable features of grape in the conditions of the Lower Don region was created. The material for study served the observations of grape varieties of the Ya. I. Potapenko Don ampelographic collection in 1981-2017. For receiving stationary time series in the conditions of agrotechnical and climatic changes the analysis in differences was carried out. On the received models climate-cause forecasts were made. Models in differences have the best predictive abilities.

**Keywords:** grape, agrometeorology, regression in differences.

### Введение

Изменения климата и агротехники привели к нелинейной динамике признаков сельскохозяйственных культур в последние десятилетия [1, 2]. Для выявления корреляционно-регрессионных связей переменных по временным рядам необходимо нивелировать посторонние тренды, которые могут привести к наличию связей там, где их нет, в случае совпадающих трендов или замаскировать в случае противоположно направленных [2-4]. Существует несколько способов приведения рядов к стационарному виду: включение в регрессионную модель времени в явном виде [3, 5], анализ отклонений от трендов [2], анализ в разностях [3, 4, 6]. В связи со сложным характером агротехнических трендов в последние 30 лет нами был выбран анализ в разностях.

\*работа поддержана грантом РФФИ № 18-016-00213.

Целью данного исследования было создание регрессионных моделей продолжительности продукционного периода, сахаристости, кислотности ягод, зимостойкости винограда в условиях Нижнего Придонья.

### Материал

Материалом для исследования послужили выборки из Донской ампелографической коллекции им. Я. И. Потапенко. Выборки представлены сортами винограда различного происхождения, направления использования, способа ведения кустов. Модели продолжительности продукционного периода были построены по наблюдениям за 20 сортами в 1981-2011 гг. и за 24 сортами в 1981-2012 гг. [7, 8]; сахаристости и кислотности – за 23 сортами в 1981-2012 гг. [9]; зимостойкости (процента распутившихся весной глазков) – за 81 сортом *Vitis vinifera* L. в 1981-2017 гг. в укрывной культуре и 20 межвидовыми гибридами, полученными с участием *Vitis amurensis* Rupr. в неукрывной культуре.

### Метод

Рассмотрим принцип создания регрессионной модели в разностях [3, 10]. Предположим, что хозяйственно-ценный признак  $Y$  в момент времени  $t$  ( $Y_t$ ) складывается из линейной зависимости от климатической характеристики  $K_t$  и линейной зависимости от уровня агротехники:

$$Y_t = (a_K + b_K K_t) + (a + b) \quad (1)$$

Нас интересует только агрометеорологически обусловленная зависимость, т. е.  $b_K$ , но ее расчету мешает  $b$ . Для расчета  $b_K$  переходим к анализу связи приростов переменных за год, обозначаемому  $\Delta$ :

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} = b_K \Delta K_t + b \quad (2)$$

Эти уравнения дают возможность делать климатообусловленные прогнозы.

### Результаты

С 1981 г. в условиях Нижнего Придонья по исследованным выборкам отмечено сокращение продолжительности продукционного периода в среднем на 7 сут./10 лет. Были построены 2 модели продолжительности продукционного периода: для средних наблюдений за 24 сортами в 1981-2012 гг. в исходных уровнях [7] и объединенных данных для 20 сортов в 1981-2011 гг. в разностях [8]:

$$L = 147,294 - 0,013 \sum T_{20} + 0,311 L_{10-15} \quad R^2 = 0,70 \quad (3)$$

$$\Delta L = -0,154 - 0,013\Delta \sum T_{20} + 0,353\Delta L_{10-15} \quad R^2 = 0,69 \quad (4)$$

Здесь  $L_{10-15}$  – продолжительность весеннего периода с температурами 10-15 °С весной,  $\sum T_{20}$  – сумма температур выше 20 °С. Обе модели имели близкие коэффициенты регрессии при  $L_{10-15}$  и  $\sum T_{20}$  и коэффициент детерминации  $R^2$ , что говорит о малом влиянии на фенологию неклиматических агротехнических воздействий. Модель (4) была проверена по данным 2012-2014 гг., средняя абсолютная ошибка прогноза составила 3-6 сут., т. е. 2,2-5,0%. В 1980-2014 гг. тренды составили  $\Delta \sum T_{20} = 270$  °С/10 лет;  $\Delta L_{10-15} = -0,2$  сут./10 лет, что позволяет прогнозировать дальнейшее сокращение продолжительности продукционного периода винограда со скоростью  $\Delta L = -3,6$  сут./10 лет.

**Сахаристость ( $C_B$ ) и кислотность ( $K_B$ ) ягод** всех исследованных сортов винограда имели нелинейную динамику [9], с 1995 года скорость роста сахаристости в среднем составила 2,0 г/100 см<sup>3</sup>/10 лет, уменьшения кислотности – 2,1 г/дм<sup>3</sup>/10 лет. Оба признака зависели от ГТК за период с температурами выше 15 °С (ГТК<sub>15</sub>), в разностях зависимость была больше. Так, коэффициент корреляции сахаристости и ГТК<sub>15</sub> в разностях  $r = 0,76$ , в исходных уровнях  $r = 0,52$ , уравнения были построены для «среднего сорта» в разностях:

$$\Delta C_B = -0,071 - 2,599\Delta \text{ГТК}_{15} \quad R^2=0,50 \quad (5)$$

$$\Delta K_B = -0,026 + 2,871\Delta \text{ГТК}_{15} \quad R^2=0,58 \quad (6)$$

При сохранении наблюдающегося тренда  $\Delta \text{ГТК}_{15} = -0,131$  за 10 лет можно ожидать дальнейшего роста сахаристости на 0,34 г/100см<sup>3</sup>/10 лет и уменьшения кислотности ягод на 0,37 г/дм<sup>3</sup>/10 лет.

Наблюдался рост количества распутившихся почек на 0,27%/год у группы *Vitis vinifera* L. и 0,62%/год – у гибридов с *Vitis amurensis* Rupr. в 1981-2017 гг. Процент распутившихся почек ( $B$ ) у укрывных сортов *Vitis vinifera* L. зависел от осадков июля ( $P_{\text{июл}}$ ), температуры августа ( $T_{\text{авг}}$ ) и минимальной среднесуточной температуры периода покоя ( $T_{\text{мин}}$ ):

$$B = 32,197 - 0,092P_{\text{июл}} + 1,779T_{\text{авг}} + 0,551T_{\text{мин}} \quad R^2 = 0,32 \quad (7)$$

$$\Delta B = -0,018 + 1,114\Delta T_{\text{мин}} - 0,077\Delta P_{\text{июл}} \quad R^2 = 0,43 \quad (8)$$

Эффективность перезимовки гибридов, полученных с участием *Vitis amurensis* Rupr. зависела от осадков июля, температуры августа и числа дней с температурой ниже -20 °С ( $N_{<-20}$ ):

$$B = 34,750 - 0,203P_{\text{июл}} + 2,171T_{\text{авг}} - 7,980N_{<-20} \quad R^2 = 0,51 \quad (9)$$

$$\Delta B = 0,639 - 9,248\Delta N_{<-20} - 0,190\Delta P_{июл} \quad R^2 = 0,58 \quad (10)$$

Уравнения в разностях имеют меньше предикторов и больший коэффициент детерминации. Тренды выявленных предикторов за 1981-2017 гг. составили:  $\Delta T_{\min} = -0,1$  °C/10 лет;  $\Delta P_{июл} = -6,5$  мм/10 лет;  $\Delta N_{<-20} = 0,1$  сут./10 лет, климатообусловленный прогноз процента перезимовавших почек – 0,4 и 0,3%/10 лет. Расчетные значения тренда меньше фактических, т. е. наблюдавшиеся значения роста зимостойкости частично обусловлены совершенствованием агротехники.

### Выводы

1. Метод разностей позволил создать прогностические регрессионные модели хозяйственно-ценных признаков винограда повышенной точности.
2. Рост температур и уменьшение осадков периода активной вегетации винограда несмотря на нестабильность зимних условий в условиях Нижнего Придонья способствуют сокращению продолжительности продукционного периода (на 3,6 сут./10 лет), росту сахаристости ягод (0,3 г/100см<sup>3</sup>/10 лет) при снижении кислотности (-0,4 г/дм<sup>3</sup>/10 лет), повышению количества перезимовавших почек (на 0,3-0,4%/10 лет).

### Список использованной литературы

1. Сиротенко О. Д., Абашина Е. В., Павлова В. Н. Динамика климатообусловленных изменений теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности сельскохозяйственной зоны России // Труды ФГБУ ВНИИСХМ. – Обнинск, 2013. – Вып. 38. – С. 41-53.
2. Per A. M., Inouye D. W., Schmidt N. M., Høye T. T. Detrending phenological time series improves climate–phenology analyses and reveals evidence of plasticity // Ecology, 2017. – 98(3). – P. 647–655.
3. Елисеева И. И., Курышева С. В., Костеева Т. В. и др. – Эконометрика. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
4. Сиротенко О. Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии // Математические модели в агрометеорологии (Книга 1). – Обнинск, 2012. – Т. 2. – 135 с.
5. Kaukoranta T., Hakala K. Impact of spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland // Agricultural and Food Science, 2008. – Vol. 17.– P. 165-176.
6. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – Вып.1 – 406 с.; Вып. 2. – 197 с.
7. Новикова Л. Ю., Дюбин В. Н., Сеферова И. В., Лоскутов И. Г., Зуев Е. В., Наумова Л. Г. Методы прогнозирования хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Труды ФГБУ ВНИИСХМ. – Обнинск, 2013. – Вып. 38. – С. 257-271.

8. Наумова Л. Г., Новикова Л. Ю. Тенденции продолжительности вегетации сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко // Виноградарство и виноделие, 2013. – № 6. – С. 48-53.

9. Новикова Л. Ю., Наумова Л. Г. Тенденции изменений сахаристости и кислотности сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко // Виноградарство и виноделие, 2013. – № 6. – С. 54-57.

10. Новикова Л. Ю., Дюбин В. Н., Лоскутов И. Г., Зуев Е. В., Сеферова И. В. Моделирование динамики хозяйственно ценных признаков сортов зерновых культур в условиях изменения климата // Агрофизика. – СПб: АФИ, 2011. – № 4. – С. 1-9.

<sup>1</sup>L. G. Naumova, <sup>2</sup>L. Y. Novikova

<sup>1</sup>Ya. I. Potapenko All-Russian Research Institute of Viticulture and Winemaking -  
Branch of Federal Rostov Agricultural Research Center, Novocherkassk,

<sup>2</sup>N. I.Vavilov Research Institute of Plant Industry, St. Petersburg, Russia

**USING THE METHOD OF REGRESSION IN DIFFERENCES FOR CREATING  
AGROMETEOROLOGICAL REGRESSION MODELS OF LONG-TERM DATA**