

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ ВИНОГРАДА К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА*

Новикова Л.Ю., д-р с.-х. наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (Санкт-Петербург)

Реферат. Создана компьютерная система VITIS TIME SERIES для анализа многолетних наблюдений за сортами винограда. Система обеспечивает возможность одновременного расчета ряда характеристик для нескольких сортов: показателей тепло- и влагообеспеченности межфазных периодов за ряд лет; параметров уравнений регрессии; прогноза динамики агробиологических показателей; скорости реакции сортов на рост и снижение температуры на основе динамических моделей.

Ключевые слова: информационная система, временной ряд, изменения климата, адаптивность, виноград

Summary. A computer system VITIS TIME SERIES for the analysis of long-term observations of grape varieties was developed. The system provides the possibility of simultaneous calculation of a number of characteristics of several varieties: indicators of warm and precipitation for interphases for a number of years; parameters of regression equations; forecast of dynamics of agrobiological characteristics; rate of reaction of varieties to growth and decrease in temperature based on dynamic models.

Key words: information system, time series, climate change, adaptability, grape

Введение. Создание, хранение и анализ фенотипических баз данных генетических ресурсов растений являются особенно актуальными в эпоху глобальных климатических изменений для прогнозирования взаимодействия генотип-фенотип-среда [1]. Научной основой программы адаптации виноградарства к текущим и ожидаемым климатическим изменениям является создание фенотипических баз данных генетических ресурсов винограда [2, 3], оценка и прогноз тенденций в динамике хозяйственно-ценных признаков [4, 5], их моделирование и прогнозирование [6, 7]. В настоящее время при работе с ампелографическими коллекциями одной из главных задач является создание информационных баз хозяйственно ценных признаков винограда для наиболее продуктивного использования его генофонда в научных программах [8, 9].

Цель работы – создание компьютерной информационной системы для анализа и агрометеорологического прогнозирования агробиологических показателей винограда в условиях изменения климата.

Объекты и методы исследований. Программа VITIS TIME SERIES разработана в среде Delphi for Microsoft Windows 32 Borland Developer Studio 2006. В функционал программы входит создание регрессионных моделей, в том числе в разностях [10]. Регрессия в разностях используется при анализе многолетних наблюдений для удаления из длинных рядов посторонних трендов, в нашем случае агротехнических. В программе рассчитываются основные тенденции динамики исследуемых показателей – линейные тренды. Тренды рассчитываются как коэффициенты регрессии показателей от номера года [10].

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-016-00213. Автор благодарит инженера-программиста Лебедеву Е.Г. за помощь в создании программы.

Реализована разработанная ранее динамическая модель вегетации и перезимовки SEASONS [11]. В основе динамической модели лежит дифференциальное уравнение первого порядка. Динамическая модель реализована на ЭВМ разностным методом с суточным шагом [12]. Реализован алгоритм поиска оптимальных значений параметров методом полного перебора по сетке параметров. Для каждого набора параметров проводился расчет за ряд лет, полученные модельные значения сравниваются с фактическими, рассчитывается средняя абсолютная ошибка аппроксимации. Оптимальный набор параметров определен по минимальной средней ошибке аппроксимации.

Обсуждение результатов. Разработанная программа VITIS TIME SERIES имеет следующие требования к аппаратным средствам: IBM PC; наличие свободного места на жестком диске более 100 Мбайт. Требования к программным средствам: Windows XP или более высокая версия. Входные и выходные данные формируются в MS Excel. Программа состоит из 6 блоков (рис. 1).

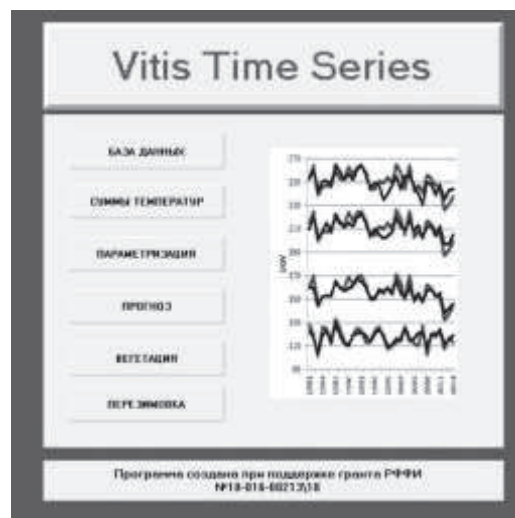
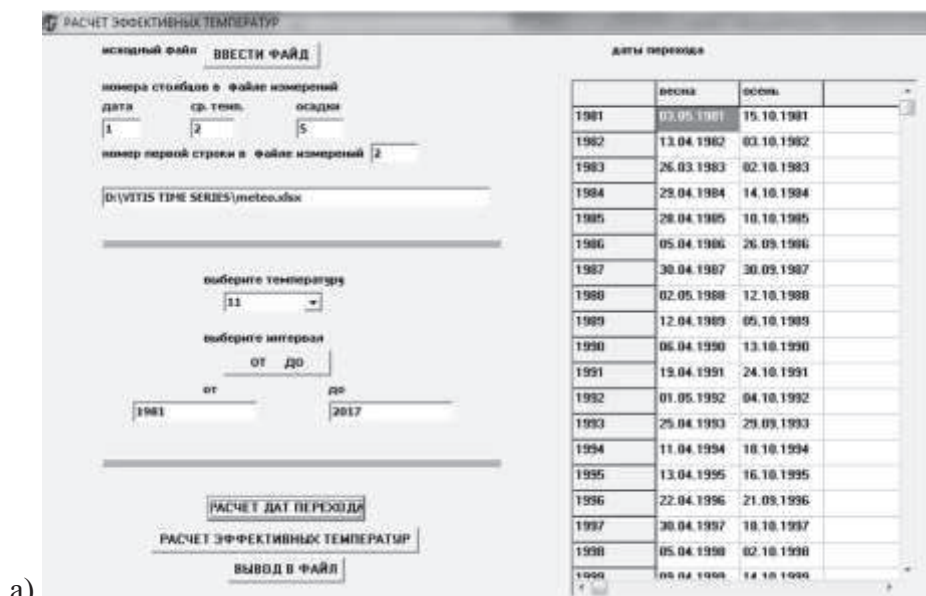


Рис. 1. Основное меню программы VITIS TIME SERIES

Блок БАЗА ДАННЫХ выполняет функцию создания, хранения и выбора временных рядов агробиологических и сопряженных агрометеорологических показателей (рис. 2 а, б).



ТЕМПЕРАТУРЫ

введите сорт,год,F1,F2,F3,F4

ВВОД РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ ВВОД МЕТЕОДАНЫХ Готово

D:\VITIS TIME SERIES\VTS_171.xlsx D:\VITIS TIME SERIES\meteo.xlsx

Эффективная температура 15 РАСЧЕТ ВЫВОД В ФАЙЛ

Сорт	Год	F1-F2	длит.	сумма Т	Тср.	Осад.	сум.Тэф	Тэф ср	сум.Такт	Такт.ср	F2-F3	дл.
Краснослон золотовс	2007	04.05.2007-29.05.2007	25	504.1	21	4	144.5	7.22	444.5	22.22	29.05.2007-30.07.2007	62
Краснослон золотовс	2008	22.04.2008-10.06.2008	49	769.7	16.04	48.5	89.5	3.89	434.5	18.89	10.06.2008-08.08.2008	59
Краснослон золотовс	2009	04.05.2009-08.06.2009	35	602.5	17.72	49.2	95.2	4.14	440.2	19.14	08.06.2009-06.08.2009	59
Краснослон золотовс	2010	30.04.2010-03.06.2010	34	633.3	19.19	50.5	126	4.06	591	19.06	03.06.2010-26.07.2010	53
Краснослон золотовс	2011	05.05.2011-07.06.2011	33	643.3	20.1	37.6	155.8	5.56	575.8	20.56	07.06.2011-03.08.2011	57
Краснослон золотовс	2012	25.04.2012-21.05.2012	26	564.7	22.59	31.7	174.7	6.72	564.7	21.72	21.05.2012-20.07.2012	60
Краснослон золотовс	2013	27.04.2013-24.05.2013	27	579.4	22.28	4.5	174.4	6.46	579.4	21.46	24.05.2013-22.07.2013	59
Краснослон золотовс	2014	04.05.2014-29.05.2014	25	517.5	21.56	32.6	148.8	6.76	478.8	21.76	29.05.2014-29.07.2014	61
Краснослон золотовс	2015	04.05.2015-06.06.2015	33	597	18.66	84.4	119.8	4.79	494.8	19.79	06.06.2015-30.07.2015	54
Краснослон золотовс	2016	19.04.2016-03.06.2016	45	728.4	16.55	184.4	77.9	2.69	512.9	17.69	03.06.2016-30.07.2016	57
Краснослон золотовс	2017	30.04.2017-10.06.2017	41	720.5	18.01	57.7	124.1	3.88	604.1	18.88	10.06.2017-07.08.2017	58
Крымская женчужин	1996	02.05.1996-03.06.1996	32	621.4	20.05	106.2	143.6	4.95	578.6	19.95	03.06.1996-15.07.1996	42
Крымская женчужин	1997	06.05.1997-09.06.1997	34	647.8	19.63	45.2	148.3	5.11	583.3	20.11	09.06.1997-17.07.1997	38
Крымская женчужин	1998	04.05.1998-08.06.1998	35	648.2	19.06	59.8	123.3	3.63	633.3	18.63	08.06.1998-08.07.1998	30
Крымская женчужин	1999	17.04.1999-08.06.1999	52	770.8	15.11	91.8	81.6	3.71	411.6	18.71	08.06.1999-07.07.1999	29
Крымская женчужин	2000	22.04.2000-06.06.2000	45	713.5	16.22	40.1	112	4.48	487	19.48	06.06.2000-07.07.2000	31
Крымская женчужин	2001	28.04.2001-13.06.2001	46	700.8	15.57	74	56.1	2.55	386.1	17.55	13.06.2001-13.07.2001	30
Крымская женчужин	2002											
Крымская женчужин	2003	08.05.2003-05.06.2003	28	566.5	20.98	13.8	150.7	5.58	555.7	20.58	05.06.2003-12.07.2003	37
Крымская женчужин	2004	26.04.2004-15.06.2004	50	803	16.39	93.6	87.5	2.82	552.5	17.82	15.06.2004-23.07.2004	38
Крымская женчужин	2005	25.04.2005-31.05.2005	36	651.1	18.6	45.9	132.8	5.53	492.8	20.53	31.05.2005-12.07.2005	42
Крымская женчужин	2006	06.05.2006-07.06.2006	32	627.2	20.23	61.9	149.4	5.15	584.4	20.15	07.06.2006-17.08.2006	71

б)

Рис. 2. Блок СУММЫ ТЕМПЕРАТУР. Пример расчета: а) дат устойчивого перехода температур выше определенного предела; б) характеристик теплолагообеспеченности межфазных периодов сортов винограда

Блок СУММЫ ТЕМПЕРАТУР позволяет рассчитывать агрометеорологические показатели: даты перехода температур выше заданных пределов (с точностью 1 градус) (рис. 2а), суммы температур (активных, эффективных) и осадков за период между этими датами за каждый год на основе среднесуточных или среднемесячных метеоданных. Рассчитываются суммы температур за межфазные периоды сортов для каждого года и каждого сорта (рис. 2б).

Блок ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ позволяет строить регрессионные агрометеорологические модели для набора сортов одновременно (рис. 3а, б) по заданному набору предикторов. Результатом расчёта является таблица с параметрами сортов и оценкой качества полученных моделей по коэффициенту детерминации. Полученные параметры для ряда сортов могут быть экспортированы в MS Excel и использованы для расчёта прогнозов. Максимальное число предикторов 3.

Блок ПРОГНОЗ позволяет рассчитывать линейные тренды для нескольких показателей или нескольких сортов, их прогноз на 10 лет (рис. 4а, б). С использованием параметров сортов, полученных в блоке ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ, по созданным регрессионным моделям можно рассчитать прогнозы на 10 лет.

Блок ВЕГЕТАЦИЯ представляет динамическую модель вегетации (рис. 5). Позволяет рассчитать сезонную динамику состояния растения и фенологию по суточным температурам по динамической модели [11]. В основе модели лежит предположение о том, что состояние растения следует за температурой воздуха с запаздыванием.



а)

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ

Вывод в файл		В разностях									
Сорт	b0	b1	b2	b3	R2	b0	b1	b2	b3	R2	
Агадав	169,784	0,245	-0,018		0,661	1,327	0,317	-0,015		0,647	
Агат донской	140,272	0,244	-0,011		0,228	-1,301	0,304	-0,015		0,193	
Алар	125,937	0,138	-0,007		0,162	-0,731	0,113	-0,007		0,124	
Арналага	166,489	0,223	-0,014		0,286	0,351	0,316	-0,013		0,351	
Арташат кармир	156,014	0,133	-0,01		0,293	-0,64	0,025	-0,01		0,226	
Асыл кара	181,794	0,309	-0,025		0,711	0,919	0,226	-0,026		0,461	
Белорозовый	126,783	0,188	-0,017		0,622	-0,065	0,197	-0,015		0,47	
Богатырский	137,571	0,214	-0,018		0,514	0,07	0,14	-0,014		0,315	
Варшавин	162,282	0,322	-0,014		0,602	-0,52	0,324	-0,018		0,728	
Венус	118,425	0,59	-0,01		0,77	-0,029	0,688	-0,013		0,81	
Вюрна	159,528	0,392	-0,016		0,3	0,98	0,42	-0,009		0,212	
Восторг	113,754	0,456	-0,008		0,725	0,253	0,559	-0,013		0,7	
Галав	188,255	0,171	-0,025		0,647	0,693	0,198	-0,015		0,4	
Гечен заматов	168,166	0,05	-0,024		0,454	0,61	0,033	-0,017		0,292	
Голубок	152,662	0,461	-0,019		0,375	0,338	0,724	-0,03		0,607	

У-НРР-ПЗР X1-10_15 X2-сумма Т акт.20

б)

Рис. 3. Блок ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ: а) выбор структуры модели, б) параметры сортов

ПРОГНОЗ->

год	a	b1	R2	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
производственный период	1247,184	-0,552	0,279	131,6961038	131,143608	130,5911	130,0386	129,4861	128,9336	128,381
сумма температур	-5174,817	4,081	0,086	3064,747247	3068,82825	3072,909	3076,990	3081,071	3085,152	3089,23
% распустившихся гл.	-997,517	0,528	0,116	69,22389758	69,7522486	70,28059	70,80895	71,33730	71,86565	72,3940
кол-во нормально ра-	-940,527	0,481	0,223	30,64295874	31,1239741	31,60498	32,08600	32,56702	33,04803	33,5290
коэффициент плодон-	-13,759	0,007	0,091	0,910099573	0,91736513	0,924630	0,931896	0,939161	0,946427	0,95369
коэффициент плодон-	-21,938	0,012	0,116	1,398692810	1,41025111	1,421809	1,433367	1,444926	1,456484	1,46804
% плодоносных побег-	-784,917	0,422	0,078	67,04423897	67,4662107	67,88818	68,31015	68,73212	69,15409	69,5760
продуктивность побег-	-1923,139	1,008	0,076	111,5462304	112,553999	113,5617	114,5695	115,5773	116,5850	117,592
площадь с куста (кг)	-139,606	0,071	0,217	3,401104879	3,47202528	3,542855	3,613686	3,684516	3,755347	3,82617

а)

ПАРАМЕТРЫ СОРТОВ

D:\TSeries\модель_71.xlsx

ПРОГНОЗ ПО МОДЕЛИ

ВЫВОД В ФАЙЛ

Сорт	b0	b1	b2	b3	R2	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Агатам	169,784	0,245	-0,018		0,661	127,71702	127,12329	126,52955	125,93582	125,34208	124,74835	124,15461	123,56088
Агат донской	140,272	0,244	-0,011		0,228	116,68947	116,32281	115,95615	115,58949	115,22283	114,85617	114,48951	114,12285
Алар	125,937	0,138	-0,007		0,162	110,54060	110,30797	110,07534	109,84271	109,61008	109,37745	109,14482	108,91220
Арналага	166,489	0,223	-0,014		0,286	134,50155	134,03844	133,57533	133,11223	132,64912	132,18601	131,72290	131,25979
Артавати карн	156,014	0,133	-0,01		0,293	132,57333	132,24360	131,91387	131,58415	131,25442	130,92469	130,59497	130,26524
Асыл кара	181,794	0,309	-0,025		0,711	122,66263	121,83926	121,01590	120,19253	119,36917	118,54580	117,72244	116,89908
Белорозовый	126,783	0,188	-0,017		0,622	86,075072	85,516081	84,957090	84,398099	83,839108	83,280117	82,721126	82,162135
Богатырский	137,571	0,214	-0,018		0,514	94,805270	94,212791	93,620313	93,027834	92,435356	91,842877	91,250399	90,657920
Варюшоп	162,282	0,322	-0,014		0,602	132,52607	132,05894	131,59182	131,12470	130,65758	130,19045	129,72333	129,25621
Венус	118,425	0,59	-0,01		0,77	105,28536	104,93710	104,58885	104,24059	103,89234	103,54409	103,19583	102,84758

б)

Рис. 4. Блок ПРОГНОЗ. Расчет: а) трендов и прогнозов нескольких признаков одного сорта; б) прогноз по регрессионной модели одного признака (продолжительности продукционного периода) для нескольких сортов

Основные положения модели:

1. Состояние растения может быть описано температурой, к которой растение в данный момент адаптировано («внутренней температурой», T_{in}). Оно совпадает с температурой воздуха (T_{out}) при медленном изменении внешней температуры, но запаздывает при быстром росте.

2. Состояние растения меняется под действием температуры со скоростью тем большей, чем больше состояние растения отстаёт от внешней температуры, то есть чем больше $(T_{out} - T_{in})$. Скорость изменения состояния растения за время Δt (сутки) определяется по формуле (1), то есть тем больше, чем больше состояние растения отстаёт от внешней температуры:

$$\Delta T_{in} = k(T_{out} - T_{in})\Delta t,$$

где k – коэффициент пропорциональности; q – константа скорости реакции на повышение температуры, p – снижение температуры.

Пример задания параметров сортов – p , q , температурных минимумов фенофаз, приведён на рис. 5а. Состояние растения рассчитывается с суточным шагом (рис.5б).

Фенофаза начинается при достижении состоянием растения температурного минимума фенофазы. Оптимальные значения параметров находятся методом множественных расчётов по сетке параметров, при определении ошибки аппроксимации каждого расчёта, нахождении набора параметров с минимальной ошибкой. Пример расчёта ошибки определения дат фенофаз приведён на рис. 5в.

Блок ПЕРЕЗИМОВКА: рассчитывается с суточным шагом состояние растения зимой, процент погибших за каждые сутки почек, процент выживших почек на конец периода покоя, ошибка модели за каждый год сравнением с реальными данными, ошибка аппроксимации процента распутившихся почек за все годы наблюдения. Функционал и экранные формы аналогичны блоку ВЕГЕТАЦИЯ.

Выходные файлы всех блоков представляют собой экранные табличные формы, в блоках ВЕГЕТАЦИЯ и ПЕРЕЗИМОВКА – графики, из всех форм возможен вывод результатов в MS Excel.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ
АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ

ВЫБОР ЧИСЛА ФЕНОФАЗ
F4

выберите от 1981 до 2017
годы наблюдений

Выборите исходный файл ->
D:\TSeries\meteo\МНПВ\IV.xlsx

Введите значения фенологических показателей

	г	д	в	р
Начальное состояние	1	град.	0,06	0,07
F1	10	град.	0,06	0,07
F2	15	град.	0,06	0,07
F3	20	град.	0,06	0,07
F4	10	град.	0,06	0,07

Резерв нижней 10 Резерв верхней 10

Выборите режим ввода температуры
ежедневные измерения (ввод из файла)

Выборите файл ДАТЫ НАЧАЛА ВЕГЕТАЦИИ(год,дата)
По умолчанию 01.04

Выборите год 1989

РЕЗУЛЬТАТЫ ГРАФИК

а)



б)

ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ

ВВОД РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ В ФАЙЛ

В: \УПРАВЛЕНИЕ МОНТОЖА\Упав. данные вегетации (Упав.1)

В: \УПРАВЛЕНИЕ МОНТОЖА\Упав. данные вегетации (Упав.1)

Г2 10 14 25 31 1981-2017

Критерии

Год	F1 факт.	F1 факт.	д	F2 факт.	F2 факт.	д	F3 факт.	F3 факт.	д	F4 факт.	F4 факт.	д
1981	05.05.1981	06.05.1981	2	08.05.1981	12.05.1981	-4	07.06.1981	05.06.1981	1	20.09.1981	20.09.1981	0
1982	29.04.1982	30.04.1982	-1	08.06.1982	14.04.1982	-5	08.06.1982	16.06.1982	8	21.09.1982	25.10.1982	-14
1983	12.04.1983	20.04.1983	8	23.05.1983	28.05.1983	6	22.07.1983	02.08.1983	-11	04.09.1983	12.09.1983	8
1984	05.05.1984	02.05.1984	4	29.05.1984	05.06.1984	-7	16.07.1984	06.06.1984	9	16.09.1984	26.09.1984	-10
1985	05.05.1985	06.05.1985	-1	28.05.1985	04.06.1985	-6	16.07.1985	21.06.1985	-4	16.09.1985	28.09.1985	-12
1986	24.04.1986	25.04.1986	-1	31.05.1986	03.06.1986	-3	16.07.1986	30.07.1986	0	14.09.1986	23.09.1986	-9
1987	14.05.1987	11.05.1987	3	13.06.1987	16.06.1987	-3	12.08.1987	17.08.1987	5	25.09.1987	15.10.1987	-10
1988	04.05.1988	03.05.1988	1	06.06.1988	13.06.1988	-7	05.08.1988	10.08.1988	5	18.09.1988	01.10.1988	-13
1989	24.04.1989	25.04.1989	-1	06.06.1989	08.06.1989	-2	05.08.1989	05.08.1989	0	18.09.1989	30.09.1989	-12
1990	19.04.1990	20.04.1990	-9	11.06.1990	11.06.1990	0	10.08.1990	10.08.1990	0	23.09.1990	25.09.1990	-2
1991	29.04.1991	29.04.1991	0	10.06.1991	12.06.1991	-2	09.08.1991	08.08.1991	1	22.09.1991	20.09.1991	2
1992	05.05.1992	04.05.1992	1	15.06.1992	18.06.1992	-4	14.08.1992	10.08.1992	4	27.09.1992	05.10.1992	-8
1993	03.05.1993	04.05.1993	-1	14.06.1993	15.06.1993	-1	13.08.1993	16.08.1993	-3	20.09.1993	08.10.1993	-12
1994	24.04.1994	01.05.1994	-7	07.06.1994	10.06.1994	-3	06.08.1994	18.08.1994	-12	15.09.1994	30.09.1994	-15
1995	23.04.1995	26.04.1995	-3	28.05.1995	03.06.1995	-5	16.07.1995	03.08.1995	0	18.09.1995	18.09.1995	0
1996	18.05.1996	02.05.1996	1	28.05.1996	03.06.1996	-6	27.07.1996	28.07.1996	-1	04.09.1996	27.09.1996	-18

Итого	F1 ср. зн.	F2	F2 ср. зн.	F3	F3 ср. зн.	F4	F4 ср. зн.	интер. зн.	инт. зн. сред.
	5	4,6	5,2	5,2	7,1	9,4	11,2	5,8	7,5

2. РЕЖИМ КОРРЕКЦИИ НАЗ ВВЕДЕНИИ

Длина файла F2 в днях 32 Длина файла F3 в днях 34

ПЕРЕСЧЕТ

в)

Рис. 5. Блок ВЕГЕТАЦИЯ: а) задание параметров фенофаз; б) определение даты цветения; в) сравнение модельных и фактических фенодат

Заключение. Создана авторская компьютерная программа VITIS TIME SERIES, предназначенная для решения типовых задач, возникающих при анализе и прогнозировании временных рядов наблюдений за агробиологическими показателями сортов коллекции винограда. Особенность программы – возможность одновременного анализа и прогноза показателей для большого количества сортов.

В блоках программы реализованы несколько уровней моделирования: расчёт сумм температур за межфазные периоды, расчёт линейных трендов агроклиматических и агробиологических показателей, регрессионное моделирование агробиологических показателей, динамические модели вегетации и перезимовки. Программа позволяет параметризовать сорта по скорости реакции на изменения агрометеорологических показателей.

Литература

1. Alexandersson E., Keinänen M., Chawade A., Himanen K. Nordic research infrastructures for plant phenotyping // *Agricultural and food science*. –2018. – Vol. 27. –P.7–16.
2. Hausmann L., Maul E., Ganesch A., Kecke S., Töpfer R. The *Vitis* International Variety Catalogue and the European *Vitis* Database. INTEGRAPPE 2019. Data Integration as a key step for future grapevine. Book of Abstracts Chania, Greece 25-28 March, 2019; 9. <http://www.integrapp.eu/images/pdf/CA17111-integrapp2019.pdf>
3. Delrot S., Girollet N., Garcia V. Investigating grapevine x environment interactions: data integration is the corner stone! INTEGRAPPE 2019. Data Integration as a key step for future grapevine. Book of Abstracts. Chania, Greece, 25-28 March, 2019; 17. <http://www.integrapp.eu/images/pdf/CA17111-integrapp2019.pdf>
4. Jones G. Climate, Grapes, and Wine: Structure and Suitability in a Changing Climate. *Acta Hort*. 2012;931:19-28
5. Choudhury A., Jones J. Crop yield prediction using time series models. *Journal of Economics and Economic Education Research*. 2014;15(3):53-67.
6. Molitor D., Junl J., Evers D., Hoffmann L., Beyer M. A high-resolution cumulative degree day-based model to simulate phenological development of grapevine. *Am. J. Enol. Vitic*. 2014;65(1):72–80
7. Quenol H., Grosset M., Barbeau G., K.van Leeuwen, Hofmann M., Foss Ch., Irimia L., Rochard J., Boulanger J.-Ph., Tissot C., Mirand K. Adaptation of viticulture to climate change: high resolution observation of adaptation scenario for viticulture. *Bull. de l'OIV*. 2014;1001-1002-1003(87):385-406
8. Полулях А.А. Волынкин В.А., Лиховской В.В. Генетические ресурсы винограда института «Магарач». Проблемы и перспективы сохранения // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017. № 21(6). С. 608-616. DOI: 10.18699/VJ17.276
9. Петров В.С., Панкин М.И., Коваленко А.Г. Агробиологические свойства технических сортов винограда в условиях умеренно- континентального климата юга России [Электронный ресурс] // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2018. № 49(1). С. 1-15. URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/18/01/01.pdf>. (дата обращения: 21.08.2019).
10. Эконометрика: учебник / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Т. В. Костеева [и др.]; под ред. И. И. Елисеевой. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2007. 576 с.
11. Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Динамическая модель сезонного развития винограда // *Агрофизика*, 2018. № 2. С. 46-52. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.02.07
12. Годунов, С. К., Рябенский В.С. Разностные схемы (введение в теорию): учебное пособие. М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1977. 440 с.