

Структурирование ампелографической коллекции по фенотипическим характеристикам и сравнение реакции сортов винограда на изменение климата

Л.Ю. Новикова¹✉, Л.Г. Наумова²

¹ Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия им. Я.И. Потапенко – филиал Федерального Ростовского аграрного научного центра, Новочеркасск, Россия

✉ e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

Современные изменения климата ставят задачу адаптации виноградарства к новому природно-ресурсному потенциалу регионов. Необходимым условием для этого являются оценка и анализ современных тенденций изменения агробиологических характеристик контрастных групп сортов. Целью исследования было выделение однородных групп сортов ампелографической коллекции и сравнение скоростей реакции их агробиологических показателей на климатические изменения. Материалом для исследования послужили наблюдения за 21 агробиологическим показателем 109 сортов винограда Донской ампелографической коллекции им. Я.И. Потапенко (г. Новочеркасск) с периодом наблюдения от 10 до 36 лет в 1981–2017 гг. В выборку вошли сорта *Vitis vinifera* L. и межвидовые гибриды *V. vinifera* L. × *V. labrusca* L., *V. vinifera* L. × *V. amurensis* Rupr., *V. vinifera* L. с несколькими американскими видами. Методами анализа главных компонент (PCA) и дисперсионного анализа (ANOVA) выделены однородные группы признаков и сортов. Рассчитаны тренды агробиологических показателей сортов и групп сортов. Метод PCA позволил выявить, что главным дифференцирующим фактором изученного фрагмента ампелографической коллекции является крупность грозди, вторым – урожайность, третьим – срок созревания. Значения факторов контрастны у сортов разного направления использования и таксономического происхождения, что подтвердил метод ANOVA. Группы гибридов *V. vinifera* × *V. labrusca* и *V. vinifera* × *V. amurensis* достоверно не отличаются друг от друга по большинству показателей, превосходя сорта *V. vinifera* по количеству элементов продуктивности, зимостойкости и урожайности. Комплексные гибриды с американскими видами занимают по этим признакам промежуточное положение, однако превышают все группы по массе грозди. У всех групп сортов наблюдались тренды к сокращению продукционного периода, увеличению массы грозди и урожайности, росту сахаристости и уменьшению кислотности. Выделяются гибриды *V. vinifera* × *V. labrusca* наибольшей скоростью сокращения продолжительности активного роста, снижением доли плодоносных побегов и увеличением массы грозди. Большая скорость сокращения продукционного периода и уменьшение кислотности отмечены у более поздних сортов. Регрессионный анализ показал, что ускорение созревания винограда происходит в значительной степени из-за роста температур.

Ключевые слова: ампелографическая коллекция; изменение климата; информационная система; временные ряды; агрометеорология; адаптивность.

Для цитирования: Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Структурирование ампелографической коллекции по фенотипическим характеристикам и сравнение реакции сортов винограда на изменение климата. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(6):772-779. DOI 10.18699/VJ19.551

Structuring ampelographic collections by phenotypic characteristics and comparing the reaction of grape varieties to climate change

L.Yu. Novikova¹✉, L.G. Naumova²

¹ Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

² All-Russian Research Institute named after Ya.I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – Branch of Federal Rostov Agricultural Research Center, Novocheerkassk, Russia

✉ e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

Modern climate changes task breeders to adapt viticulture to the new natural resource potential of the regions. A necessary condition is the assessment and analysis of current trends in changing the characteristics of contrasting groups of varieties. The aim of the study is to identify homogeneous groups of varieties of an ampelographic collection and to compare the rates of reaction of their agrobiological parameters to climate changes. Material for the study consists of observations of 21 agrobiological characteristics of 109 grape varieties from the Don ampelographic collection named after Ya.I. Potapenko (Novocheerkassk) with an observation period from 10 to 36 years in 1981–2017. The sample included *Vitis vinifera* L. varieties and the *V. vinifera* L. × *V. labrusca* L. and *V. vinifera* L. × *V. amurensis* Rupr. interspecific hybrids, and hybrids from crosses between *V. vinifera* L. and several American species. Homogeneous groups of characteristics and varieties are identified by principal component analysis (PCA) and analysis of variance (ANOVA) methods. Trends in changing the agrobiological characteristics of the varieties and groups of varieties are calculated. PCA revealed that the main differentiating factor of

the studied fragment of the ampelographic collection is the size of the bunch; the second, the yield; the third, the time of ripening. The values of the factors are contrasting in varieties of different directions of use and taxonomic origin, which was confirmed by ANOVA. The groups of the *V. vinifera* × *V. labrusca* and *V. vinifera* × *V. amurensis* hybrids do not differ significantly from each other in most indicators, exceeding *V. vinifera* varieties in the number of elements of productivity, winter hardiness and yield. Complex hybrids with American species have an intermediate position between these groups exceeding all groups in bunch weight. All groups of cultivars show trends towards a reduction in productive period, an increase in the mass of bunch and yield, sugar content and a decrease in acidity. The *V. vinifera* × *V. labrusca* hybrids are distinguished by the highest growth rate of the bunch mass caused by a reduction in the duration of active growth and a decrease in the percentage of fruit-bearing shoots. A higher reduction rate of the production period and a decrease in acidity were observed in later varieties. Regression analysis showed that the acceleration of the ripening of grapes is largely due to rising temperatures.

Key words: ampelographic collection; climate change; information system; time series; agrometeorology; adaptability.

For citation: Novikova L.Yu., Naumova L.G. Structuring ampelographic collections by phenotypic characteristics and comparing the reaction of grape varieties to climate change. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(6):772-779. DOI 10.18699/VJ19.551 (in Russian)

Введение

Современные изменения климата стали существенным фактором виноградарства многих стран (Jones, 2012; Vršič, Vodovnik, 2012; Quenol et al., 2014). Научной основой программы адаптации виноградарства к текущим и ожидаемым климатическим изменениям является создание фенологических баз данных генетических ресурсов винограда (Delrot et al., 2019; Hausmann et al., 2019), оценка тенденций в динамике хозяйственно ценных признаков (Jones, 2012; Choudhury, Jones, 2014), их моделирование и прогнозирование (Molitor et al., 2014; Quenol et al., 2014). Фенология растений оказалась очень чувствительной к изменениям климата (Cleland et al., 2007; Santibáñez et al., 2014), что возродило интерес к математическим моделям фенологии, в частности к суммам суточных активных и эффективных температур за вегетацию (Cleland et al., 2007; Molitor et al., 2014; Santibáñez et al., 2014). Однако точность фенологических моделей остается недостаточной (Richardson et al., 2012).

Ранее нами на выборке 20 сортов винограда Донской ампелографической коллекции по данным 1981–2011 гг. была исследована динамика продолжительности продукционного периода и показана однотипность реакции сортов на изменения агроклиматических факторов (Наумова, Новикова, 2013, 2018). Для определения агроклиматических факторов, определяющих развитие растений, была построена регрессионная модель (1) с помощью модифицированного для временных рядов метода – регрессии в разностях. Анализ в разностях позволяет улучшить качество моделей временных рядов за счет очистки их от технологических трендов (Елисеева и др., 2007; Сиротенко, 2012; Wenjiao et al., 2013; Iler et al., 2017). Метод заключается в регрессионном анализе связи годовых приростов показателей, обозначаемых знаком Δ . Нами показано (Наумова, Новикова, 2013, 2018), что продолжительность продукционного периода винограда (N) зависит от сумм температур выше 20 °C ($\sum T_{20}$) и продолжительности весеннего периода с температурами 10–15 °C (N_{10-15}):

$$\Delta N = -0.154 - 0.013 \cdot \Delta \sum T_{20} + 0.353 \cdot \Delta N_{10-15}, R^2 = 0.69, (1)$$

где R^2 – коэффициент детерминации уравнения.

Адаптивный потенциал виноградного растения находится в тесной зависимости от происхождения сорта

(Негруль, 1946; Трошин, 1999; Носульчак, 2015; Зармаев, Борисенко, 2018). В 1960–1980-х гг. стало ясно, что возможности внутривидовой селекции европейско-азиатского вида *Vitis vinifera* L. исчерпаны, и активизировалась селекция на межвидовом уровне, особенно для получения устойчивых к вредителям, болезням и низким температурам сортов (Носульчак, 2015). В селекцию были широко вовлечены американские и восточноазиатские виды: *V. labrusca* L. как донор устойчивости к морозу, болезням и вредителям и *V. amurensis* Rupr. как донор короткого периода вегетации и морозоустойчивости (Зармаев, Борисенко, 2018). При работе с большими коллекциями, в том числе ампелографическими, встает задача оценки полиморфизма и структуризации коллекций, выделения в них однородных групп, решаемая методами многомерной статистики (Cunha et al., 2009; Leão et al., 2011; Lamine et al., 2014). Ранее нами была исследована динамика основных агробиологических показателей 106 сортов винограда со сроком наблюдения от пяти лет, представляющих сорта вида *V. vinifera* L. и гибриды *V. vinifera* L. × *V. amurensis* Rupr., и выявлено различие факторов перезимовки для сортов разного происхождения (Новикова, Наумова, 2018). К настоящему времени удалось расширить базу данных и создать программу для агрометеорологического анализа временных рядов наблюдений за большим количеством сортов, что позволило включить в исследование группы других межвидовых гибридов.

Цель исследования – выделение однородных групп сортов ампелографической коллекции и сравнение скоростей реакции их агробиологических показателей на климатические изменения.

Материал и методы

Материалом для изучения послужили наблюдения за 109 сортами винограда Донской ампелографической коллекции им. Я.И. Потапенко в 1981–2017 гг. В исследование взяты образцы с данными агробиологического учета за 10–36 лет, относящиеся к четырем группам разного таксономического происхождения (табл. 1): сорта и внутривидовые гибриды *V. vinifera*; комплексные гибриды *V. vinifera* с несколькими американскими видами (*V. rupestris* Scheele, *V. riparia* Michaux, *V. lincedumii* Buckley и др.); двойные гибриды *V. vinifera* × *V. labrusca* и *V. vinifera* × *V. amurensis*. По направлению использования выделены

Таблица 1. Распределение образцов исследованной выборки по таксономическому происхождению, направлению использования, сроку созревания

Таксономическое происхождение	Направление использования	Срок созревания, дней						Итого
		Сверх-ранний, <105	Очень ранний, 105–115	Ранний, 115–125	Ранне-средний, 125–135	Средний, 135–145	Средне-поздний, 145–155	
<i>V. vinifera</i>	Технические	0	1	0	7	19	6	33
	Столовые	4	7	4	5	2	0	22
Гибриды <i>V. vinifera</i> с несколькими американскими видами	Технические	0	1	0	4	5	2	12
	Столовые	1	1	2	4	8	3	19
<i>V. vinifera</i> × <i>V. labrusca</i>	Технические	0	1	1	2	0	1	5
	Столовые	1	1	1	1	0	0	4
<i>V. vinifera</i> × <i>V. amurensis</i>	Технические	0	0	2	3	3	1	9
	Столовые	1	1	2	1	0	0	5
Итого		7	13	12	27	37	13	109

две группы – технические и столовые сорта, для укрупнения групп 7 бессемянных сортов были отнесены к столовым, 17 универсальных – к техническим. Представлены сорта со средней продолжительностью продукционного периода от 99 до 152 сут, что соответствует шести группам международного классификатора (Code..., 1983). 82 сорта возделываются в укрывной, 27 – в неукрывной культуре.

Сорта изучали в привитой культуре на подвое Берландиери × Рипариа Кобер 5ББ. Схема посадки кустов 3.0 × 1.5 м. Культура неполивная. Грунтовые воды залегают на глубине 15–20 м и не оказывают влияния на развитие виноградных кустов. Технология возделывания виноградников общепринятая для северной зоны промышленного виноградарства РФ. Изучение сортов винограда (набор показателей, измерение агробиологических характеристик и расчет показателей) проводили с использованием общепринятых в виноградарстве методик (Лазаревский, 1963), сахаристость сока ягод и титруемую кислотность определяли по ГОСТам. Проанализирован 21 агробиологический показатель (табл. 2). Использованы данные метеопоста Всероссийского НИИ виноградарства и виноделия им. Я.И. Потапенко.

В программе StatSoft Statistica 13.0 методом анализа главных компонент (PCA) выявлены основные дифференцирующие факторы и контрастные группы сортов. Дисперсионным анализом исследовано влияние факторов таксономического происхождения, направления использования, срока созревания; апостериорные сравнения проведены по критерию Тьюки. В агрометеорологии винограда многие исследования построены на усредненных по однотипным сортам данных за год – «средних сортах» (Давитая, 1952; Лазаревский, 1961). Рассчитаны «средние сорта» каждой из выделенных однородных групп – средние за год значения показателей по группе.

С помощью Delphi 2006 разработана программа VITIS TIME SERIES (VTS) для хранения и анализа временных рядов наблюдений за агробиологическими показателями, в которой рассчитаны агроклиматические характеристики лет наблюдений (даты перехода температур выше 5, 10, 15, 20, 25 °С (Кельчевская, 1971), суммы температур и осадков за периоды между ними) и суммы температур за межфаз-

ные периоды сортов. Определены основные тенденции динамики – линейные тренды – агрометеорологических характеристик и агробиологических показателей сортов и «средних сортов». Тренды рассчитаны как коэффициенты регрессии исследуемых признаков от номера года (Елисеева и др., 2007) и для удобства выражены в единицах за 10 лет. Валидирована модель (1) сравнением расчетных и фактических значений в 2012–2017 гг., не использованных при ее создании. Рассчитан обусловленный температурами тренд продолжительности продукционного периода по модели (1). В исследовании принят уровень значимости 5 %.

Результаты

Выделение однородных групп. Анализ главных компонент. Метод PCA по 21 агробиологическому показателю позволил выделить три фактора, объясняющие 28.9, 20.0, 18.1, всего 67 % дисперсии, с собственными значениями 6.1, 4.2, 3.8, с общей суммой 14.1. График «каменистой осыпи» собственных значений факторов приведен в Прил. 1¹. Главным дифференцирующим признаком сортов изученной выборки из ампелографической коллекции является характеристика грозди – масса грозди, масса ягоды, длина и ширина грозди, длина и ширина ягоды (см. табл. 2). Сахаристость связана с этим фактором отрицательно. По первому фактору контрастны группы сортов столового и технического направления, уровень значимости различий средних значений фактора $p = 0.000$ (рис. 1). Маркировка направления использования и происхождения сортов представлена в Прил. 2.

Второй фактор – урожайность и связанные с ней (положительно) количество распутившихся глазков (%), число элементов продуктивности и (отрицательно) дата начала распускания почек. Второй фактор контрастен у сортов *V. vinifera* и двойных гибридов с *V. labrusca* и *V. amurensis* (см. рис. 1), которые характеризуются большей урожайностью, высокой зимостойкостью, ранним распусканием почек, более высоким процентом плодоносных побегов и коэффициентом плодоношения. Группы сортов *V. vini-*

¹ Приложения 1–4 см. по адресу: <http://www.bionet.nsc.ru/vogis/download/pict-2019-23/appx17.pdf>

Таблица 2. Факторные нагрузки 21 агробиологического показателя

Показатель	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Дата начала распускания почек	0.050	-0.654	0.096
Начало распускания почек – начало цветения	0.541	-0.112	-0.125
Начало цветения – начало созревания	-0.120	-0.524	0.613
Начало созревания – полная зрелость ягод	-0.204	-0.433	0.702
Продукционный период	-0.089	-0.584	0.741
Количество распутившихся глазков, %	-0.354	0.622	0.276
Количество нормально развитых побегов	-0.478	0.420	0.206
Коэффициент плодоношения (среднее число гроздей на один развившийся побег)	-0.534	0.614	0.427
Коэффициент плодоносности (среднее число гроздей на один плодоносный побег)	-0.413	0.488	0.349
Количество плодоносных побегов, %	-0.549	0.592	0.410
Продуктивность побега	0.480	0.522	0.497
Урожай с куста	0.086	0.757	0.491
Масса грозди	0.907	0.017	0.137
Длина грозди	0.707	0.174	0.101
Ширина грозди	0.730	0.270	0.148
Масса одной ягоды	0.855	0.119	0.297
Длина ягоды	0.831	0.065	0.276
Ширина ягоды	0.782	0.198	0.163
Сахаристость сока ягод	-0.639	-0.249	0.003
Титруемая кислотность	-0.192	-0.466	0.718
ГАП (глюкоацидометрический показатель, отношение сахаристости к кислотности)	-0.118	0.372	-0.718

Примечание. Серым фоном выделены нагрузки более 0.70.

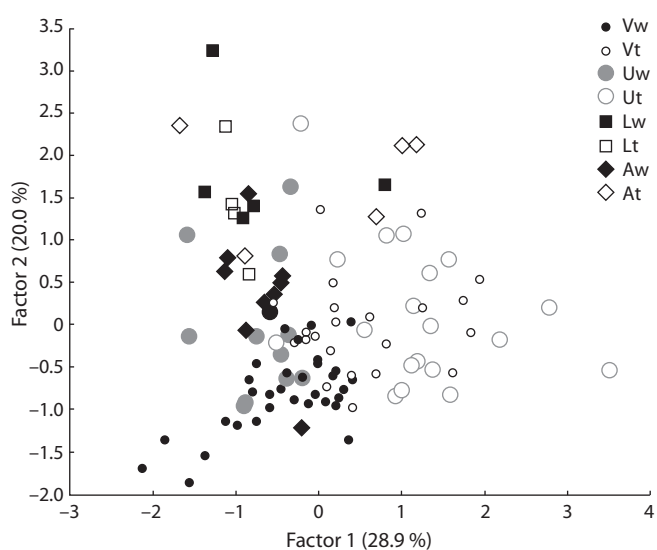
fera × *V. amurensis* и *V. vinifera* × *V. labrusca* не различаются между собой ни по первому фактору ($p = 0.741$), ни по второму ($p = 0.087$). В то же время среднее значение второго фактора у всех межвидовых гибридов достоверно выше, чем у *V. vinifera* ($p = 0.000$ для гибридов с *V. amurensis* и *V. labrusca* и $p = 0.006$ для комплексных гибридов).

Третий фактор – продолжительность продукционного и межфазных периодов и связанная с ними положительно кислотность и отрицательно – ГАП.

Дисперсионный анализ. Роль направления использования, таксономического происхождения и продолжительности продукционного периода сортов на основные дифференцирующие выборку показатели подтверждена дисперсионным анализом. Методом PCA выделены три основных показателя для восьми групп по происхождению и направлению использования (рис. 2).

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что столовые сорта имеют в среднем по изученной выборке достоверно более короткий продукционный период (124 сут), чем технические (136 сут, $p = 0.000$), большую массу грозди (300 и 196 г соответственно, $p = 0.000$). По урожайности достоверных различий не обнаружено (4.7 и 4.1 кг, $p = 0.094$).

По таксономическому происхождению выделилась группа гибридов *V. vinifera* × *V. labrusca* и *V. vinifera* × *V. amurensis*, не отличающихся достоверно друг от друга средними значениями продолжительности продукционного периода (123 и 127 сут соответственно, $p = 0.834$), урожайности (6.8 и 5.8 кг, $p = 0.491$) и массы грозди (190

**Рис. 1.** 109 сортов в пространстве первых двух факторов PCA.

Здесь и на рис. 2 и 3 принадлежность к группе технических сортов обозначена буквой «w», столовых – «t». Vw, Vt – *V. vinifera*; Uw, Ut – гибриды с несколькими американскими видами; Lw, Lt – *V. vinifera* × *V. labrusca*; Aw, At – *V. vinifera* × *V. amurensis*.

и 210 г, $p = 0.943$). По сравнению с *V. vinifera* гибриды с *V. labrusca* и *V. amurensis* характеризуются большей урожайностью (*V. vinifera* – 3.7 кг, $p = 0.000$ для обеих групп), меньшей массой грозди (*V. vinifera* – 235 г, $p = 0.450$ для гибридов с *V. labrusca* и $p = 0.758$ для *V. amurensis*), не раз-

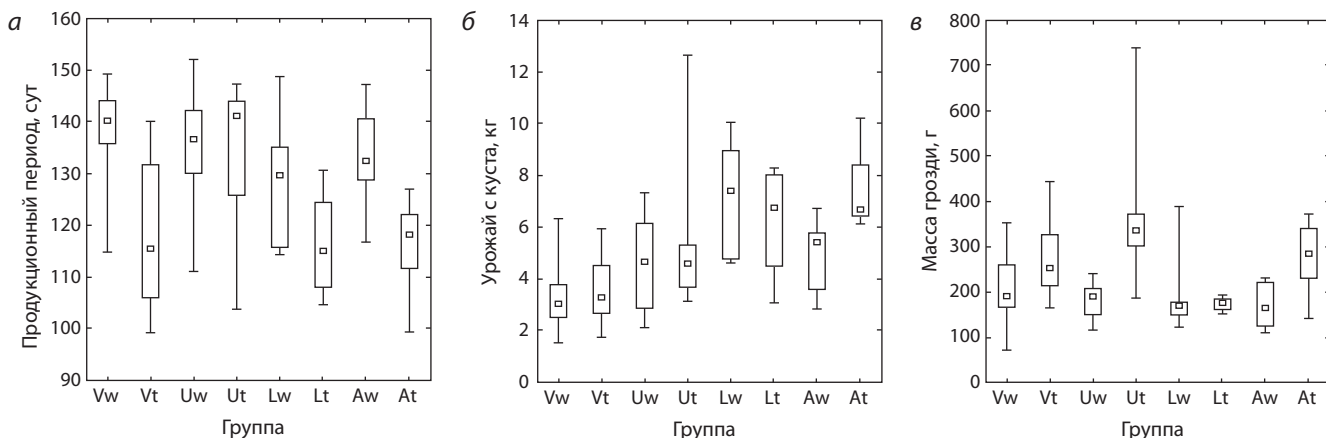


Рис. 2. Хозяйственно ценные признаки групп сортов винограда различного таксономического происхождения и направления использования: а – продукционный период; б – урожайность; в – масса грозди.

личаясь продолжительностью продукционного периода (*V. vinifera* – 131 сут, $p = 0.199$ и $p = 0.637$). Комплексные гибриды с американскими видами представляют собой очень полиморфную группу, превышая другие группы по массе грозди (292 г, $p = 0.010$ при сравнении с *V. vinifera*, $p = 0.018$ при сравнении с *V. labrusca* и *V. amurensis*). По большинству показателей они занимают промежуточное положение между сортами *V. vinifera* и гибридами с *V. labrusca* и *V. amurensis*. По сравнению с сортами *V. vinifera* комплексные гибриды характеризуются в среднем большей урожайностью (4.8 кг, $p = 0.001$), не отличаются продолжительностью продукционного периода (135 сут, $p = 0.411$).

Дисперсионный анализ шести групп по срокам созревания (см. табл. 1) подтвердил выявленную методом РСА достоверную связь срока созревания только с продолжительностью межфазных периодов, кислотностью и ГАП. Средняя продолжительность периода «начало цветения – начало созревания ягод» увеличивается от 40 сут у группы сверхранних сортов до 64 сут у среднепоздних сортов, а периода «начало созревания – полная зрелость ягод» – от 25 сут у сверхранних сортов до 44 сут у среднепоздних. Средняя кислотность ягод возрастает от 6.4 г/дм³ у группы сверхранних до 10.2 г/дм³ у среднепоздних сортов, при этом соответственно уменьшается ГАП – с 3.0 до 1.9 ед.

Тренды агробиологических показателей. В 1981–2017 гг. в Новочеркасске отмечено достоверное увеличение суммы активных температур за период с температурами выше 10 °C на 170 °C/10 лет и недостоверное уменьшение суммы осадков за этот период на 21 мм/10 лет. Средняя температура периода зимнего покоя (15 октября–15 апреля) достоверно росла на 0.5 °C/10 лет, при этом количество суток за зиму с температурами ниже –20 °C достоверно не менялось. Нами рассчитаны тренды для каждого признака каждого сорта, однако для большинства признаков и большинства сортов тренды были незначимы на фоне межгодовых колебаний. Тренды «средних сортов» восьми групп по направлению использования и таксономическому происхождению имели достоверные значения для ряда показателей (рис. 3, Прил. 3). Показатели качества ягод имели нелинейную динамику с

минимумом сахаристости и максимумом кислотности в 1990-х гг. (Новикова, Наумова, 2013), поэтому их тренды рассчитаны с 1995 г.

Группы сортов по таксономическому происхождению и направлению использования характеризуются одинаковой направленностью изменения хозяйственно ценных признаков, за некоторыми исключениями. Начало распускания почек достоверно не меняется ни у одной группы. Продукционный период уменьшается у всех групп, у «среднего сорта» из 109 образцов – на 2 сут/10 лет за счет сокращения всех межфазных периодов. У всех групп сортов возрастает урожайность (в среднем на 1 кг/куст/10 лет), увеличивается масса грозди (на 10.2 г/10 лет), растут сахаристость (на 2 г/100 см³) и ГАП (на 0.6 ед/10 лет), уменьшается кислотность (в среднем на 1 г/дм³). Сумма температур за продукционный период в среднем увеличивается на 71 °C/10 лет, что обусловлено ростом избыточных температур середины лета.

Выделяется группа технических гибридов с *V. labrusca*, у которых отмечена наибольшая скорость сокращения продукционного периода (на 18 сут/10 лет) за счет сокращения всех межфазных периодов, в том числе периода «начало цветения – начало созревания ягод» (на 6 сут/10 лет), который в среднем по выборке 109 сортов не меняется. Сумма температур за все межфазные периоды и продукционный период в целом у этой группы уменьшается на 140 °C/10 лет. Только у технических гибридов с *V. labrusca* достоверно уменьшается количество плодородных побегов (на 11.1 %/10 лет), что приводит к наибольшей среди выделенных групп скорости роста массы грозди (73 г/10 лет) и массы ягоды (3 г/10 лет).

Анализ трендов в группах различных сроков созревания показал, что и при таком делении на группы направление трендов в разных группах в основном совпадает (Прил. 4). У сортов ранне-средних, средних и среднепоздних сроков созревания больше скорость сокращения продолжительности продукционного периода (4–5 сут/10 лет), чем у сверхранних, очень ранних и ранних (2–3 сут/10 лет). У средних и среднепоздних сортов быстрее снижается кислотность (на 2 г/дм³/10 лет), чем у сверхранних и очень ранних (на 0.3–0.4 г/дм³/10 лет) и ранних и ранне-

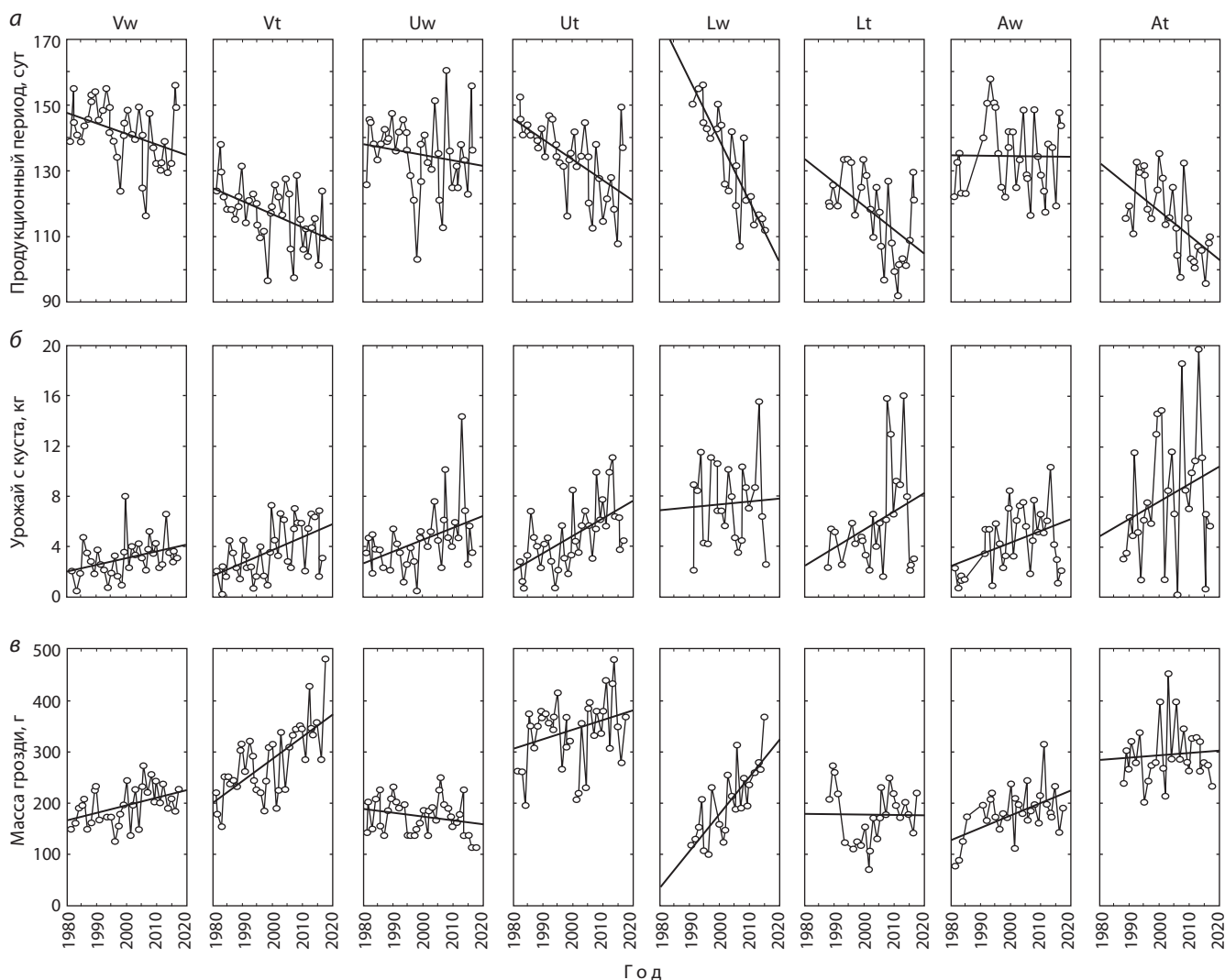


Рис. 3. Тренды хозяйственно ценных признаков групп сортов винограда различного таксономического происхождения и направления использования, 1981–2017 гг. (ед./10 лет): а – продукционный период; б – урожайность; в – масса грозди.

средних (1 г/дм³/10 лет), что, очевидно, связано с ростом теплообеспеченности созревания ягод.

Модельный анализ продолжительности продукционного периода. Наблюдаемые тренды могут содержать вклад климатических изменений, технологических трендов, возрастных изменений кустов. Для оценки вклада климатических изменений в тренд продолжительности продукционного периода применялась регрессионная модель (1). Сначала модель (1) проверили по данным 2012–2017 гг., не использовавшимся при ее создании (рис. 4).

Средняя абсолютная ошибка модели составила 8 сут, без 2016 г. – 5 сут, или 4 % продолжительности продукционного периода, что подтвердило ее адекватность. О точности модели свидетельствует корреляция фактических и расчетных данных ($r = 0.69$). 2016 г. характеризовался аномальным количеством осадков за продукционный период: 338 мм при среднем значении 214 мм, в том числе за период «начало распускания почек – начало цветения» – 182 мм при среднем многолетнем 65 мм. Возможно, это стало одной из причин увеличения продолжительности продукционного периода на 17 сут по сравнению со

среднегодовым значением, не полностью объясняемого моделью.

Тренды предикторов модели составили в 1981–2017 гг.: $\Delta \sum T_{20} = 324.3$ °C/10 лет, $\Delta N_{10-15} = -0.4$ сут/10 лет, тогда по формуле (1) $\Delta N = -4.4$ сут/10 лет. Согласно модели, прогнозировалось более значительное сокращение продукционного периода, чем фактически наблюдавшееся $\Delta N = -2.5$ сут/10 лет. На фактический тренд существенно повлиял 2016 г. (см. рис. 3), за 1981–2015 гг. фактический тренд составил $\Delta N = -4.3$ сут/10 лет, что соответствует расчетному. Таким образом, сокращение продолжительности вегетации сортов обусловлено в значительной степени ростом температур.

Обсуждение

Методом анализа главных компонент средних многолетних значений 21 показателя 109 сортов винограда выявлено, что главным дифференцирующим фенотипическим признаком ампелографической коллекции являются размер грозди и ягоды, контрастные у сортов столового и технического направления использования. Крупной

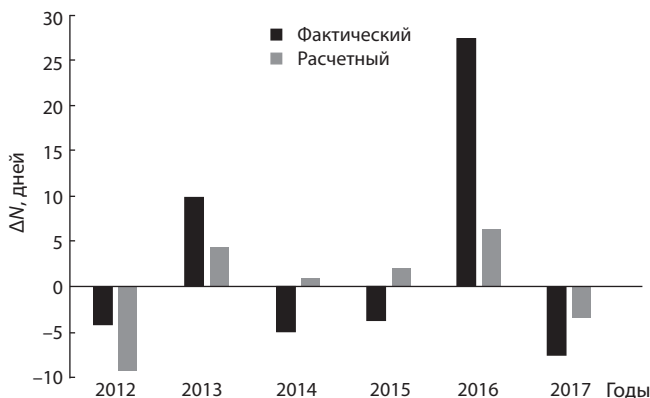


Рис. 4. Сравнение фактического и расчетного по модели годового прироста продолжительности продукционного периода винограда (ΔN) в 2012–2017 гг.

ягодой выделяется группа столовых гибридов *V. vinifera* с несколькими американскими видами. Значительную часть этой группы составляют сорта из Республики Молдова, гибриды с участием американского сорта Сейв Виллар и среднеазиатского сорта Катта-Курган. Известные крупными ягодами среднеазиатские сорта в нашей выборке отсутствуют. Второй фактор – урожайность и связанные с ней количество плодородных побегов, зимостойкость и коэффициент плодородия – максимален у гибридов *V. vinifera* × *V. labrusca* и *V. vinifera* × *V. amurensis*, сохранивших в фенотипе зимостойкость и большее количество элементов продуктивности от амурского и американского видов (Трошин, 1999; Носульчак, 2015), минимален у европейского культурного винограда. Третий фактор – продолжительность продукционного и межфазных периодов и связанные с ними кислотность сока ягод и ГАП.

Дисперсионный анализ подтвердил ряд достоверных различий средних показателей групп сортов по направлению использования, происхождению, сроку созревания. Столовые сорта отличаются от технических более крупной гроздью и более коротким продукционным периодом. Межвидовые гибриды в среднем превосходят сорта *V. vinifera* по количеству элементов продуктивности и урожайности. Группы гибридов *V. vinifera* × *V. labrusca* и *V. vinifera* × *V. amurensis* не различаются достоверно средними значениями продолжительности продукционного периода, урожайности и массы грозди. Сходство ряда характеристик этих видов отмечено в литературе (Негруль, 1946, с. 120). Комплексные гибриды с американскими видами представляют собой полиморфную группу и занимают промежуточное положение по большинству исследованных показателей, кроме характеристик грозди, между сортами *V. vinifera* и гибридами с *V. labrusca* и *V. amurensis*. Дисперсионный анализ подтвердил выявленную методом РСА связь срока созревания только с продолжительностью межфазных периодов, кислотностью и ГАП.

Анализ трендов агробиологических показателей однородных групп сортов подтвердил, что сорта не различаются тенденциями многолетней динамики по большинству показателей. У всех групп сокращается продукционный период (в среднем по 109 сортам на 2 сут/10 лет), растут урожайность (в среднем на 1 кг/куст/10 лет) и сахарис-

тость (в среднем на 2 г/100 см³), уменьшается кислотность (в среднем на 1 г/дм³), что соответствует тенденциям, наблюдаемым в других странах (Vršič, Vodovnik, 2012). Тренды средних показателей групп сортов разных сроков созревания тоже характеризовались одинаковой направленностью. Таким образом, подтвердился тезис, что климатические условия влияют в большей мере на культуру винограда, чем на сорт (Leeuwen et al., 2004).

Значительными изменениями характеризуется группа гибридов *V. vinifera* × *V. labrusca* технического направления использования, у которых отмечены наибольшие скорости сокращения продукционного периода (18 сут/10 лет), уменьшения количества плодородных побегов (11 %/10 лет) и увеличения массы грозди (73 г/10 лет) и массы ягоды (3 г/10 лет).

Модель динамики продолжительности продукционного периода (1) была валидирована на данных 2012–2017 гг., не учтенных при ее создании. Расчетный по модели тренд продолжительности продукционного периода составил –4 сут/10 лет, что соответствует наблюдаемому до 2016 г. Увеличение продолжительности продукционного периода в 2016 г. моделью объяснить не удалось; возможно, повлияло аномальное количество осадков этого года. Таким образом, показано, что наблюдаемое сокращение продолжительности вегетации сортов происходит в значительной степени из-за роста температур.

Заключение

Однородные группы сортов винограда ампелографической коллекции, выделенные по направлению использования, таксономическому происхождению и срокам созревания, характеризуются сходной реакцией на изменение климата. Рост температур в условиях северной зоны промышленного виноградарства РФ приводит к сокращению продукционного периода винограда, росту урожайности и сахаристости, уменьшению кислотности ягод.

Список литературы / References

- Давитая Ф.Ф. Исследование климатов винограда в СССР и обоснование их практического использования. М.; Л., 1952.
[Davitaya F.F. Study of the Climates of Vine in the USSR and Grounds of their Practical Application. Moscow; Leningrad, 1952. (in Russian)]
- Елисева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В., Пантина И.В., Михайлов Б.А., Нерадовская Ю.В., Штрое Г.Г., Бартелс К., Рыбкина Л.Р. Эконометрика. М., 2007.
[Eliseeva I.I., Kurysheva S.V., Kosteeva T.V., Pantina I.V., Mikhaylov B.A., Neradovskaya Yu.V., Stroe G.G., Bartels K., Rybkina L.R. Econometrics. Moscow, 2007. (in Russian)]
- Зармаев А.А., Борисенко М.Н. Селекция, генетика винограда и ампелография. От теории к практике. Симферополь, 2018.
[Zarmaev A.A., Borisenko M.N. Grape Breeding, Genetics and Ampelography. From theory to practice. Simferopol, 2018. (in Russian)]
- Кельчевская Л.С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Л., 1971.
[Kelchevskaya L.S. Methods of Processing of Observations in Agroclimatology. Leningrad, 1971. (in Russian)]
- Лазаревский М.А. Роль тепла в жизни европейской виноградной лозы. Ростов н/Д, 1961.
[Lazarevsky M.A. Role of Heat in the Life of the European Vine. Rostov-on-Don, 1961. (in Russian)]
- Лазаревский М.А. Изучение сортов винограда. Ростов н/Д, 1963.
[Lazarevsky M.A. The Study of Grape Varieties. Rostov-on-Don, 1963. (in Russian)]

- Наумова Л.Г., Новикова Л.Ю. Тенденции продолжительности вегетации сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потопенко. Виноделие и виноградарство. 2013;6:48-53.
[Naumova L.G., Novikova L.Y. Duration trends in grape varieties of the vegetation collection of Potapenko All-Russia Research Institute of Viticulture and Winemaking. *Vinodelie i Vinogradarstvo = Wine-making and Viticulture*. 2013;6:48-53. (in Russian)]
- Наумова Л.Г., Новикова Л.Ю. Использование метода последовательных разностей при создании агрометеорологических регрессионных моделей многолетних данных. Плодоводство и ягодоводство России. 2018;55:133-137. DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-133-137.
[Naumova L.G., Novikova L.Y. Using the method of successive differences for creating an agrometeorological regression model of long-term data. *Plodovodstvo i Yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruit Culture in Russia*. 2018;55:133-137. DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-133-137. (in Russian)]
- Негуль А.М. Очерк семейства виноградных и его главных видов с их краткой хозяйственной характеристикой. В: Ампелография СССР. Т. 1. М., 1946;45-133.
[Negrul A.M. Essay of the Grape Family and its Main Species with their Brief Economic Characterization. In: *Ampelography of the USSR*. Vol. 1. Moscow, 1946;45-133. (in Russian)]
- Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Тенденции изменений сахаристости и кислотности сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потопенко. Виноделие и виноградарство. 2013;6:54-57.
[Novikova L.Y., Naumova L.G. Trends of changes in sugar content and acidity of grape varieties from the collection of the Potapenko All-Russia Research Institute of Viticulture and Winemaking. *Vinodelie i Vinogradarstvo = Wine-making and Viticulture*. 2013;6:54-57. (in Russian)]
- Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Анализ хозяйственно ценных признаков сортов винограда различного происхождения из коллекции ВНИИВиВ в условиях климатических изменений. Науч. труды СКФНЦСВВ. 2018;19:113-119. DOI 10.30679/2587-9847-2018-19-113-119.
[Novikova L.Y., Naumova L.G. Analysis of economically valuable characters of grape varieties of different origin from the Potapenko All-Russia Research Institute of Viticulture and Winemaking under climate change conditions. *Nauchnye trudy SKFNTsSVV = Proceedings of the North Caucasian Research Institute of Horticulture and Viticulture*. 2018;19:113-119. DOI 10.30679/2587-9847-2018-19-113-119. (in Russian)]
- Носулчак В.А. Сортовой состав виноградных насаждений СССР. Краснодар, 2015.
[Nosulchak V.A. *Varietal Composition of Vineyards of the USSR*. Krasnodar, 2015. (in Russian)]
- Сиротенко О.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. 2, кн. 1. Математические модели в агрометеорологии. Обнинск, 2012.
[Sirotenko O.D. *Fundamentals of Agricultural Meteorology*. Vol. 2, Book 1: *Mathematical Models in Agrometeorology*. Obninsk, 2012. (in Russian)]
- Трошин Л.П. Ампелография и селекция винограда. Краснодар, 1999.
[Troshin L.P. *Ampelography and Grape Breeding*. Krasnodar, 1999. (in Russian)]
- Choudhury A., Jones J. Crop yield prediction using time series models. *J. Economics Econ. Educ. Res.* 2014;15(3):53-67.
- Cleland E.E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A., Schwartz M.D. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol. Evol.* 2007;22:357-365.
- Code des caracteres descriptifs des varietes et especes de *Vitis*. Paris, 1983.
- Cunha J., Teixeira Santos M., Carneiro L.C., Feveiro P., Eiras-Dias J.E. Portuguese traditional grapevine cultivars and wild vines (*Vitis vinifera* L.) share morphological and genetic traits. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2009;56:975-989. DOI 10.1007/s10722-009-9416-4.
- Delrot S., Girollet N., Garcia V. et al. Investigating grapevine × environment interactions: data integration is the corner stone! In: *INTEGRAPE 2019. Data Integration as a key step for future grapevine: Book of Abstracts*. Chania, Greece, 25–28 March, 2019;17. Available at: <http://www.integrate.eu/images/pdf/CA17111-integrate2019.pdf>
- Hausmann L., Maul E., Ganesch A., Kecke S., Töpfer R. The *Vitis* International Variety Catalogue and the European *Vitis* Database. In: *INTEGRAPE 2019. Data Integration as a key step for future grapevine: Book of Abstracts*. Chania, Greece, 25–28 March, 2019;9. Available at: <http://www.integrate.eu/images/pdf/CA17111-integrate2019.pdf>
- Iler 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):647-655.
- Jones G. Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a changing climate. *Acta Hort.* 2012;931:19-28. DOI 10.17660/ActaHortic.2012.931.1.
- Lamine M., Zemni H., Ziadi S., Chabaane A., Melki I., Mejr S., Zoghalmi N. Multivariate analysis and clustering reveal high morphological diversity in Tunisian autochthonous grapes (*Vitis vinifera*): insights into characterization, conservation and commercialization. *OENO One*. 2014;48(2):111-122. DOI 10.20870/oenone.2014.48.2.1565.
- Leão P., Cruz C., Motoike S. Genetic diversity of table grape based on morphoagronomic traits. *Sci. Agric.* 2011;68(1):42-49. DOI 10.1590/S0103-90162011000100007.
- Leeuwen C., Friant Ph., Chone X., Tregouat O., Koundouras S., Dubourdieu D. Influence of climate, soil and cultivar on terroir. *Am. J. Enol. Vitic.* 2004;55(3):207-217.
- 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.
- Quenol H., Grosset M., Barbeau G., van Leeuwen K., Hofmann M., Foss Ch., Irimia L., Rochard J., Boulanger J.-Ph., Tissot C., Miranda C. 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.
- Richardson A.D., Anderson R.S., Arain M.A. Terrestrial biosphere models need better representation of vegetation phenology: results from the North American Carbon Program Site Synthesis. *Glob. Change Biol.* 2012;18:566-584. DOI 10.1111/j.1365-2486.2011.02562.x.
- Santibáñez F., Sierra H., Santibáñez P. Degree day model of table grape (*Vitis vinifera* L.) phenology in Mediterranean temperate climates. *Int. J. Sci. Environ. Technol.* 2014;3(1):10-22.
- Vršič S., Vodovnik T. Reactions of grape varieties to climate changes in North East Slovenia. *Plant Soil Environ.* 2012;58(1):34-41.
- Wenjiao S., Fulu T., Zhao Z. A review on statistical models for identifying climate contributions to crop yields. *J. Geogr. Sci.* 2013;23(3):567-576.

ORCID ID

L.Yu. Novikova orcid.org/0000-0003-4051-3671

L.G. Naumova orcid.org/0000-0002-5051-2616

Благодарности. Анализ полиморфизма коллекции и трендов динамики агробиологических показателей выполнен в рамках ГЗ № 0662-2019-0004. База данных и программа VTS созданы при поддержке РФФИ, грант № 18-016-00213.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.05.2019. После доработки 11.07.2019. Принята к публикации 15.07.2019.