

УДК 634.8: 551.58

UDC 634.8: 551.58

DOI 10.30679/2219-5335-2023-1-79-1-11

DOI DOI 10.30679/2219-5335-2023-1-79-1-11

**ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
МИНИМАЛЬНОЙ УРОЖАЙНОСТИ
РАННИХ СТОЛОВЫХ СОРТОВ
ВИНОГРАДА
МЕЖВИДОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
ДЛЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

**A PROGNOSTIC MODEL
OF THE MINIMUM YIELD
CAPACITY OF INTERSPECIFIC
EARLY TABLE GRAPE
VARIETIES
OF THE KRASNODAR REGION**

Марморштейн Анна Александровна
младший научный сотрудник
лаборатории управления
воспроизводством
в ампелоценозах и экосистемах
e-mail: am342@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6256-4886>

Marmorshtein Anna Aleksandrovna
Junior Research Associate
of Reproduction Control
in the Ampelocenoses
and Ecological Systems Laboratory
e-mail: am342@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6256-4886>

Петров Валерий Семенович
д-р с.-х. наук, доцент
ведущий научный сотрудник
лаборатории управления
воспроизводством в ампелоценозах
и экосистемах
e-mail: Petrov_53@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0856-7450>

Petrov Valeriy Semionovich
Dr. Sci. Agr., Docent
Leading Research Associate
of Reproduction Control
in the Ampelocenoses
and Ecological Systems Laboratory
e-mail: Petrov_53@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0856-7450>

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

*Federal State Budget
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia*

В статье рассмотрен вопрос влияния аномальных агрометеорологических условий на урожайность ранних столовых сортов винограда межвидового происхождения в Краснодарском крае для создания математической модели минимальной урожайности. Для оценки влияния использовались парная корреляция и множественная регрессия. Урожайность винограда ранних столовых сортов межвидового происхождения взята с разных агроэкологических зон Краснодарского края за 1997-2020 год. Экстремальные агрометеорологические показатели рассчитаны по общепринятым методикам. С помощью парной корреляции отобраны

The article considers the issue of the influence of abnormal agrometeorological conditions on the yield capacity of early table grape varieties of interspecific origin in the Krasnodar region to create a mathematical model of minimum yield capacity. Paired correlation and multiple regression were used to assess the impact of abnormal agrometeorological conditions on the yield capacity. The yield capacity of grapes of early table varieties of interspecific origin was taken from different agroecological zones of the Krasnodar region for 1997-2020. Extreme agrometeorological indicators are calculated according to generally

наиболее важные экстремальные агрометеорологические параметры: минимальная температура воздуха июня-ноября предыдущего год ($r = 0,41$), сумма атмосферных осадков май-июль ($r = -0,50$) и гидротермический коэффициент Селянинова за май-июль ($r = -0,52$). Прогностическая модель минимальной урожайности ранних столовых сортов винограда межвидового происхождения включила в себя минимальную температуру воздуха июня-ноября предыдущего года и гидротермический коэффициент Селянинова за май-июль. Модель апробирована по показателям фактической урожайности, полученным в Центральной агроэкологической зоне на двух сортах раннего срока созревания межвидового происхождения – Гурман Крайнова и Виктор. Определена прогнозируемая средняя минимальная урожайность ранних столовых сортов винограда межвидового происхождения для агроэкологических зон и подзон Краснодарского края с помощью разработанной модели урожайности. Выявлены агроэкологические подзоны с высокой средней минимальной прогнозируемой урожайностью в зависимости от аномальных погодных условий – в Черноморской зоне подзоны Ч₁, Ч₂ и Ч₅ с урожайностью равной или выше 10 т/га, в Северной зоне подзоны С₁ и С₃ с урожайностью выше 9 т/га, в Западной зоне подзона З₁ с урожайностью выше 9 т/га, в Центральной зоне подзоны Ц₁, Ц₂ и Ц₃ с урожайностью выше 8 т/га. Наименьшую прогнозируемую продуктивность показывают сорта в удаленных от моря подзонах Центральной агроэкологической зоны и в Предгорной зоне. Данная методика для оценки рисков возделывания рекомендуется использовать для любых сортов технического и столового направления использования.

Ключевые слова: РИСКИ, УРОЖАЙНОСТЬ, МЕЖВИДОВЫЕ ГИБРИДЫ, СТОЛОВЫЙ ВИНОГРАД, РАННИЙ СРОК СОЗРЕВАНИЯ

accepted methods. Using pair correlation, the most important extreme agrometeorological parameters were selected: the minimum air temperature of June-November of the previous year ($r = 0.41$), the total precipitation in May-July ($r = 0.50$) and the Selyaninov hydrothermal coefficient for May-July ($r = 0.52$). The prognostic model of the minimum yield capacity of early table grape varieties of interspecific origin included the minimum air temperature of June-November of the previous year and the Selyaninov hydrothermal coefficient for May-July. The model was tested according to the observed yield capacity indicators obtained in the Central Agroecological Zone on two varieties of early ripening of interspecific origin – Gurman Kraynova and Viktor. The predicted average minimum yield capacity of early table grape varieties of interspecific origin for agroecological zones and subzones of the Krasnodar region was determined using the developed yield capacity model. Agroecological subzones with high average minimum predicted yield capacity depending on abnormal weather conditions were identified – in the Black Sea zone, subzones BS₁, BS₂ and BS₅ with yield capacity equal to or higher than 10 t/ha, in the Northern zone of subzones N₁ and N₃ with yield capacity above 9 t/ha, in the Western zone of subzone W₁ with yield capacity above 9 t/ha, in the Central zone of the C₁, C₂ and C₃ subzones with yield capacity above 8 t/ha. The lowest predicted productivity is shown by varieties in the subzones of the Central Agroecological Zone remote from the sea and in the Foothill zone. This technique for assessing the risks of cultivation is recommended to be used for any varieties of technical and table directions of use.

Key words: RISKS, YIELD CAPACITY, INTERSPECIFIC HYBRIDS, TABLE GRAPES, EARLY MATURING

Введение. На протяжении онтогенеза виноградного растения как в большом жизненном, так и малом годичном циклах, влияют агроэкологические природные и антропогенные факторы [2]. Для изучения их влияния используется математический аппарат – парная корреляция, множественная регрессия. Особый интерес вызывает зависимость виноградного растения от погодных и климатических условий [2-5]. Данные зависимости выражаются в виде математических моделей [6], которые подразделяются на три вида: статистические, физико-статистические и динамические [7]. Ежегодно появляются новые модели роста, развития, продуктивности и качества сельскохозяйственных культур из-за невозможности создания в области сельскохозяйственной науки единой универсальной модели, так как существует необходимость адаптации моделируемых процессов и формализация моделей к конкретным условиям или к новым проблемам [8]. Кроме математических моделей в виноградарстве, основанных на средних параметрах теплообеспеченности и влагообеспеченности [9, 10], используются также и максимальные и минимальные показатели, например, температуры [11]. Изучается устойчивость винограда к неблагоприятным факторам среды [12]. Для оценки страховых рисков по урожайности помимо стандартных погодных явлений используются и аномальные [13].

Целью данной работы было создание прогностической модели минимальной урожайности ранних столовых сортов межвидового происхождения с последующим получением значений средней минимальной урожайности винограда по Краснодарскому краю 2011-2020 гг.

Такая работа выполнена впервые.

Объект и методы исследований. Для создания прогностической модели минимальной урожайности по аномальным погодным условиям были взяты данные по урожайности ранних сортов винограда столового направ-

ления использования межвидового происхождения из разных агроэкологических зон Краснодарского края.

В качестве источника метеорологических данных использовали агрометеорологические бюллетени по Краснодарскому краю и сайт ВНИИГМИ-МЦД [14, 15]. Для отбора экстремальных агрометеорологических параметров в будущую модель минимальной урожайности изначально были рассчитаны максимальные и минимальные температуры воздуха за разные периоды, количество дней с максимальной температурой выше +35 °С, продолжительность самого длительного бездождного периода за вегетацию, индекс сухости Будыко, и ГТК Селянинова [16, 17]. После нахождения коэффициентов парной корреляции между аномальными агрометеорологическими показателями и урожайностью ранних столовых сортов винограда в программе Statistica [18], были отброшены лишние независимые параметры.

Для создания модели минимальной урожайности сортов винограда межвидового происхождения в программе Statistica был использован метод гребневой регрессии [7, 18]. Процедура пошаговая с включением, свободный член учтен в уравнении. Уравнение множественной регрессии считалось значимым, если фактический критерий Фишера был выше табличного. Точность модели определялась по коэффициенту детерминации (R^2) – если он был выше 0,15, то модель считалась удовлетворительной.

Для оценки рисков возделывания ранних столовых межвидовых сортов винограда в различных агроэкологических условиях Краснодарского края, в модель подставили значения агрометеорологических независимых параметров за десять лет (2011-2020 гг.) с последующим осреднением. Наиболее оптимальными условиями отмечались зоны с урожайностью более 8,0 т/га, соответствующей порогу безубыточности, кроме того, выделялись подзоны с продуктивностью выше 7,0 т/га, которые могут быть использованы при соответствующей агротехнике [19].

Обсуждение результатов. Среди всех аномальных агрометеорологических показателей, на урожайность ранних столовых сортов винограда наибольшее влияние оказывали минимальная температура воздуха июня-ноября предыдущего года ($r = 0,41$ – значимая умеренная прямая связь), сумма атмосферных осадков май-июль ($r = -0,50$ – значимая средняя обратная связь) и гидротермический коэффициент Селянинова за май-июль ($r = -0,52$ – значимая средняя обратная связь). Остальные параметры показали низкую связь с урожайностью.

Модель минимальной урожайности столовых ранних сортов межвидового происхождения в итоге включала в себя как аномальные показатели влагообеспеченности, так и теплообеспеченности (1):

$$Y = -3,78x_1 + 0,22x_2 + 13,02 \quad (1)$$

где x_1 – гидротермический коэффициент Селянинова за май-июль;

x_2 – минимальная температура воздуха за июнь-ноябрь (предыдущий год).

Статистически значимыми параметрами являются гидротермический коэффициент Селянинова за май-июль и свободный член уравнения. Коэффициент множественной регрессии R составляет 0,57, уравнение объясняет 32,2 % изменчивости урожайности. Хотя коэффициент детерминации менее 0,5, рассматривается влияние только одной группы факторов – аномальных агрометеорологических, поэтому такой коэффициент детерминации допускается. Критерий Фишера выполнен при $p < 0,005$. Стандартная ошибка оценки регрессии составляет 3,0.

На рис. 1 показана сходимость результатов моделирования и фактических значений урожайности.

Кроме того, значения минимальной прогнозируемой урожайности были сопоставлены со значениями урожайности столовых ранних сортов

винограда Гурман Крайнова и Виктор, полученных в полевом опыте за 2020-2021 гг. (табл. 1). Все фактические значения полевого опыта выше прогнозируемых, что свидетельствует об успешной апробации модели на фактических данных, не участвующих в создании модели.

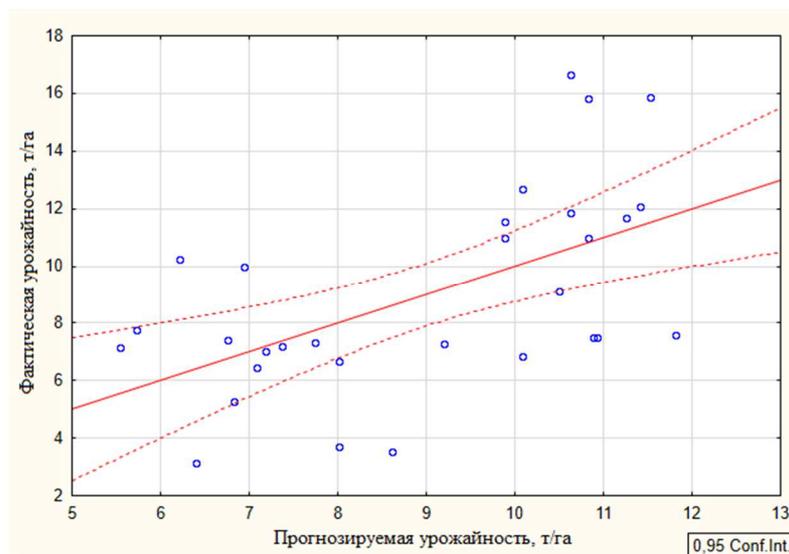


Рис. 1. Прогнозируемые и фактические значения урожайности по статистической модели минимальной урожайности ранних столовых сортов винограда межвидового происхождения

Таблица 1 – Минимальная прогнозируемая урожайность в Динском районе и фактические значения урожайности столовых ранних сортов винограда межвидового происхождения Гурман Крайнова и Виктор, 2020-2021 гг.

Год	Прогнозируемая минимальная урожайность по математической модели, т/га	Фактическая урожайность сорта Гурман Крайнова, т/га	Фактическая урожайность сорта Виктор, т/га
2020	7,2	7,9	12,6
2021	8,7	21,6	14,4

После расчетов модели по метеорологическим станциям получена средняя минимальная прогнозируемая урожайность (табл. 2) по подзонам виноградарства Краснодарского края (рис. 2).



Условные обозначения зон и подзон виноградарства

С1-С7	Северная зона	П1-П17	Предгорная зона
Ц1-Ц13	Центральная зона	от 900м и выше	Большой Кавказ
31-34	Западная зона	Ч1-Ч6	Черноморская зона

Рис. 2. Агроэкологические зоны виноградарства в Краснодарском крае [20]

Наибольшая средняя минимальная прогнозируемая урожайность по агроэкологическим зонам отмечается в Черноморской зоне, в трех подзонах она равна и больше 10 т/га и почти во всех подзонах выше порога безубыточности в 8 т/га. В подзоне Ч₆ отмечается наибольший разброс из-за перепадов высот и сумм атмосферных осадков.

Таблица 2 – Средняя минимальная прогнозируемая урожайность ранних столовых сортов винограда по агроэкологическим зонам и подзонам виноградарства Краснодарского края

Подзона	Средняя минимальная прогнозируемая урожайность, т/га	Подзона	Средняя минимальная прогнозируемая урожайность, т/га
Черноморская зона			
Ч₁	10,4	Ч₄	9,3
Ч₂	10,0	Ч₅	10,1
Ч₃	9,0	Ч₆	4,9-7,9
Северная зона			
С₁	9,4	С₅	8,5
С₂	8,9	С₆	7,5
С₃	7,9-9,4	С₇	8,1-8,6
С₄	8,8		
Центральная зона			
Ц₁	8,0	Ц₈	7,5
Ц₂	7,3-8,1	Ц₉	7,0-9,3
Ц₃	8,0	Ц₁₀	6,1
Ц₄	8,3	Ц₁₁	6,1
Ц₅	7,5	Ц₁₂	6,7
Ц₆	7,7	Ц₁₃	6,5
Ц₇	6,2-7,0		
Западная зона			
З₁	9,4-9,7	З₃	8,2
З₂	8,8	З₄	7,7
Предгорная зона			
П₁	7,1-8,2	П₁₀	6,0
П₂	6,5	П₁₁	5,5
П₃	6,5	П₁₂	5,5
П₄	7,2	П₁₃	4,5
П₅	6,4	П₁₄	4,0
П₆	6,3	П₁₅	5,5
П₇	6,2	П₁₆	5,3
П₈	6,2	П₁₇	5,0
П₉	6,2		

В Северной зоне средняя минимальная прогнозируемая урожайность также почти везде выше порога безубыточности. Следует отметить, что наибольшая продуктивность в зоне полуукрывной культуры ведения винограда (подзоны С₁ и С₃). Сама низкая урожайность в подзоне С₆, но также больше 7 т/га.

В Центральной зоне, за счет того, что в части подзон увеличивается ГТК за счет уменьшения температур и увеличения осадков, а также уменьшения минимальной температуры за июнь-ноябрь, средняя минимальная прогнозируемая урожайность ниже 7 т/га, даже с учетом укрывного ведения культуры винограда.

В Западной зоне, кроме подзоны З₄, которая расположена на наибольшем удалении от моря, средняя минимальная прогнозируемая урожайность выше 8 т/га. Самая высокая продуктивность в подзоне З₁ (Темрюк).

В предгорной зоне, за счет расположения подзон в самой холодной части Краснодарского края за исключением территории Большого Кавказа с высотой над уровнем моря более 900 м, средняя минимальная прогнозируемая урожайность только в двух подзонах П₁ и П₄ выше 7 т/га. Следует учитывать, что это минимальная урожайность за счет значений экстремальных агрометеорологических параметров без учета агротехники.

Выводы. Получена статистическая модель урожайности ранних столовых сортов винограда межвидового происхождения на основе аномальных погодных условий. Определена прогнозируемая средняя минимальная урожайность ранних столовых сортов винограда межвидового происхождения для территории Краснодарского края с помощью разработанной модели, выявлены зоны с высокой средней минимальной урожайностью в зависимости от аномальных погодных условий. Данную методику для оценки рисков возделывания рекомендуется использовать для любых сортов технического и столового направления использования.

Литература

1. Смирнов К.В., Малтабар Л.М., Раджабов А.К., Матузок Н.В., Трошин Л.П. Виноградарство: учебник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 500 с.
2. Jones G.V., Davis R. E. Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France // American Journal of Enology and Viticulture. 2000. № 51(3). P. 249-261.

3. Tomasi D., Jones G.V., Giust M., Lovat L., Gaiotti F. Grapevine Phenology and Climate Change: Relationships and Trends in the Veneto Region of Italy for 1964–2009 // *American Journal of Enology and Viticulture*. 2011. № 62. P. 329-339.
4. Molitor D., Junk J., Evers D., Hoffmann L., Beyer M. A high resolution cumulative degree day based model to simulate the phenological development of grapevine // *American Journal of Enology and Viticulture*. 2014. Vol. 65 (1). P. 72-80.
5. Costa R., Fraga H., Fonseca A. et al. Grapevine phenology of cv. Touriga Franca and Touriga Nacional in the Douro wine region: modeling and climate change projections // *Agronomy journal*. 2019. Vol. 9. 210.
6. Brisson N. et al. An overview of the crop model STICS // *Europ J. Agronomy*. 2003. Vol. 18. P. 309-332
7. Сиротенко О.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 1. Математические модели в агрометеорологии. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 136 с.
8. Sinclair T.R., Seligman N.G. Crop modeling: from infancy to maturity // *Agron. J*. 1996. Vol. 88. P. 698-704.
9. Mesterházy I., Mészáros R., Pongracz R., Bodor P., Ladányi M. The analysis of climatic indicators using different growing season calculation methods – An application to grapevine grown in Hungary // *Időjárás*. 2018. Vol. 122 (3). P. 217-235.
10. Cameron W., Petrie P.R., Barlow E.W.R. The effect of temperature on grapevine phenological intervals: Sensitivity of budburst to flowering // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022. Vol. 315. 108841.
11. Garcia de Cortazar-Atauri I., Brisson N., Segun B., Gaudillere J., Baculat B. Simulation of budbreak date for vine. The BRIN model. Some applications in climate change study // XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Germany, 23-27 August, 2005. P. 485-490.
12. Ferguson J.C., Moyer M.M., Mills L.J., Hoogenboom G., Keller M. Modeling dormat bud cold hardiness and budbreak in twenty-three Vitis genotypes reveals variation by region if origin // *Am. J. Enol. Vitic*. 2014. Vol. 65(1). P. 59-71.
13. Salgueiro A.M. Weather index-based insurance as a meteorological risk management alternative in viticulture // *Wine Economics and Policy*. 2019. Vol. 8, Issue 2. P. 114-126.
14. База метеорологических данных ВНИГМИ-МЦД. Режим доступа: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 15.07.2020).
15. Агрометеорологические бюллетени по территории Краснодарского края / Краснодар: Краснодарский краевой центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1997-2020.
16. Мищенко З.А. Агроклиматология. Киев: КНТ. 2009. 512 с.
17. Szenteleki K. et al. Climatic risk factors of Central Hungarian grape growing regions // *Applied ecology and environmental research*. 2012. 10(1). P. 87-105.
18. STATISTICA Base. Режим доступа: http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Base/ (дата обращения: 19.10.2022)
19. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А. Управление устойчивостью производственных процессов в промышленном виноградарстве. Научная монография. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2018. 380 с.
20. Петров В.С., Алейникова Г.Ю., Мarmorштейн А.А. Агроэкологическое зонирование территории для оптимизации размещения сортов, устойчивого виноградарства и качественного виноделия. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2020. 138 с.

References

1. Smirnov K.V., Maltabar L.M., Radjabov A.K., Matuzok N.V., Troshin L.P. Viticulture: textbook. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotech", 2017. 500 p. (in Russian)

2. Jones G.V., Davis R. E. Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France // *American Journal of Enology and Viticulture*. 2000. Vol. 51(3). P. 249-261.
3. Tomasi D., Jones G.V., Giusti M., Lovat L., Gaiotti F. Grapevine Phenology and Climate Change: Relationships and Trends in the Veneto Region of Italy for 1964–2009 // *American Journal of Enology and Viticulture*. 2011. Vol. 62. P. 329-339.
4. Molitor D., Junk J., Evers D., Hoffmann L., Beyer M. A high resolution cumulative degree day based model to simulate the phenological development of grapevine // *American Journal of Enology and Viticulture*. 2014. Vol. 65 (1). P. 72-80.
5. Costa R., Fraga H., Fonseca A. et al. Grapevine phenology of cv. Touriga Franca and Touriga Nacional in the Douro wine region: modeling and climate change projections // *Agronomy journal*. 2019. Vol. 9. 210.
6. Brisson N. et al. An overview of the crop model STICS // *Europ J. Agronomy*. 2003. Vol. 18. P. 309-332.
7. Sirotenko O.D. Fundamentals of agricultural meteorology. Volume II. Methods of calculations and forecasts in agrometeorology. Book 1. Mathematical models in agrometeorology. Obninsk: FSBI "RIHMI-WDC", 2012. 136 p. ([in Russian](#))
8. Sinclair T.R., Seligman N.G. Crop modeling: from infancy to maturity // *Agron. J.* 1996. Vol. 88. P. 698-704.
9. Mesterházy I., Mészáros R., Pongracz R., Bodor P., Ladányi M. The analysis of climatic indicators using different growing season calculation methods – An application to grapevine grown in Hungary // *Időjárás*. 2018. Vol. 122 (3). P. 217-235.
10. Cameron W., Petrie P.R., Barlow E.W.R. The effect of temperature on grapevine phenological intervals: Sensitivity of budburst to flowering // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022. Vol. 315. 108841.
11. Garcia de Cortazar-Atauri I., Brisson N., Segun B., Gaudillere J., Baculat B. Simulation of budbreak date for vine. The BRIN model. Some applications in climate change study // XIV International GESCO Viticulture Congress, Geisenheim, Germany, 23-27 August, 2005. P. 485-490.
12. Ferguson J.C., Moyer M.M., Mills L.J., Hoogenboom G., Keller M. Modeling dormat bud cold hardiness and budbreak in twenty-three *Vitis* genotypes reveals variation by region if origin // *Am. J. Enol. Vitic.* 2014. Vol. 65(1). P. 59-71.
13. Salgueiro A.M. Weather index-based insurance as a meteorological risk management alternative in viticulture // *Wine Economics and Policy*. 2019. Vol. 8, Issue 2. P. 114-126.
14. Meteorological data base RIHMI-WDC. Available at: <http://meteo.ru/> (accessed date: 15.07.2020). ([in Russian](#))
15. Agrometeorological bulletins on the territory of Krasnodar region / Krasnodar: Krasnodar Regional Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 1997-2020. ([in Russian](#))
16. Mishchenko Z.A. Agroclimatology. Kiev: KNT. 2009. 512 p. ([in Russian](#))
17. Szenteleki K. et al. Climatic risk factors of Central Hungarian grape growing regions // *Applied ecology and environmental research*. 2012. 10(1). P. 87-105.
18. STATISTICA Base. Available at: http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Base/ (accessed date: 19.10.2022) ([in Russian](#))
19. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Kochyan G.A. Management of the sustainability of reproductive processes in industrial viticulture. Scientific monograph. Krasnodar: FSBI NCF SCHVW, 2018. 380 p. ([in Russian](#))
20. Petrov V.S., Aleynikova G.Yu., Marmorstein A.A. Agroecological zoning of the territory to optimize the placement of varieties, sustainable viticulture and high-quality wine-making. Krasnodar: FSBI NCF SCHVW, 2020. 138 p. ([in Russian](#))