

УДК 634.8 : 528.94 : 551.4.03 : 581.524.44

**РАЗРАБОТКА КРУПНОМАСШТАБНОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕННОСТИ  
НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА ДЛЯ КУЛЬТУРЫ ВИНОГРАДА С УЧЁТОМ  
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЛЬЕФА**

**Рыбалко Е.А., канд. с.-х. наук, Баранова Н.В., канд. с.-х. наук,  
Твардовская Л.Б.**

**ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт  
виноградарства и виноделия «Магарач» РАН»  
(Ялта, Республика Крым)**

**Реферат.** Представлен анализ распределения теплообеспеченности территории Республики Крым. Проведены исследования по усовершенствованию формулы Софрона-Энтензона при расчетах теплообеспеченности на больших территориях, таких как Крымский полуостров. Создана крупномасштабная картографическая модель пространственного распределения теплообеспеченности на территории Крыма применительно к культуре винограда с учётом морфометрических особенностей рельефа.

**Ключевые слова:** сорта винограда, сроки созревания, теплообеспеченность, картографическая модель, морфометрические особенности рельефа, цифровая карта

**Summary.** Analysis of heat supply distribution on the territory of the Republic of Crimea is presented. The research has been carried out to improve the Sofroni – Entenzon's formula used to calculate heat supply of large territories, such as the Crimean peninsula. Cartographic model of heat supply spatial distribution on the territory of the Crimea in relation to viticulture was created, taking into account the morphometric characteristics of the terrain.

**Key words:** grapes varieties, ripening period, heat supply, cartographic model, morphometric characteristics of the terrain, digital map

**Введение.** Виноград является одной из наиболее важных культур в сельскохозяйственном производстве Крыма. Высокая урожайность, пластичность и большое разнообразие направлений использования гроздей делает эту культуру широко распространённой в Крыму. Однако раскрытие биологического потенциала винограда возможно только при размещении посадок в соответствующих агроэкологических условиях, удовлетворяющих биологические требования сортов. Для агроклиматического выделения районов под виноградные насаждения может быть использован весь арсенал климатических характеристик, но практически используются те из них, которые могут лимитировать возможность возделывания культуры [1, 2, 3].

Одним из важнейших факторов окружающей среды, оказывающих влияние на урожайность винограда и качество продукции, является теплообеспеченность территории, выражаемая суммой активных температур выше 10 °C за вегетационный период [4, 5]. Данний показатель не только определяет величину и потребительские характеристики урожая винограда, но и обуславливает принципиальную возможность выращивания того или иного сорта на заданной территории.

Сумма активных температур служит методическим ключом для выбора направления использования и специализации виноградарства – производство вина различных типов, столового винограда, сушеної продукции.

При закладке виноградных насаждений важно определить пространственное варьирование уровня теплообеспеченности территории, используя данные ближайшей метеостанции. Однако задача значительно усложняется в условиях пересечённого рельефа, так

как величина суммы активных температур подвержена влиянию таких факторов, как абсолютная высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склона [6, 7].

В Крыму основные массивы виноградников размещены в Южнобережной и Предгорной зонах, отличающихся сложным рельефом [8, 9]. Поэтому актуальной задачей является определение характера и степени влияния морфометрических особенностей рельефа на теплообеспеченность территории, а также разработка математических моделей, описывающих это влияние и позволяющих рассчитывать сумму активных температур на участках, удалённых от метеостанции. Несмотря на многолетние агроклиматические исследования вопрос теплообеспеченности Крыма продолжает оставаться актуальным ввиду чрезвычайной вариации рельефа и изменчивости климата.

Цель данного исследования заключается в оценке температурных ресурсов Крымского полуострова, исследовании влияния параметров рельефа на теплообеспеченность территории и в разработке крупномасштабной картографической модели пространственного распределения теплообеспеченности на исследуемой местности применительно к культуре винограда с учётом морфометрических особенностей рельефа.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились на базе сектора агроэкологии. Объектами исследований являлись агроклиматические условия, материалами служила электронная модель рельефа SRTM-3 территории Крыма, многолетние данные метеонаблюдений по 10 метеостанциям.

Работы выполнялись в соответствии с рекомендациями по оптимизации размещения виноградных насаждений в Крыму (575/46.00334830.002-94) [7]. Для визуализации постановки задач размещения промышленных посадок, а также целей агроэкологического моделирования был использован пакет программ ArcGIS.

**Обсуждение результатов.** К основным показателям, характеризующим термические ресурсы территории, относится сумма активных температур ( $\sum t_a$ ) за период вегетации. Для определения  $\sum t_a$  суммируется температура воздуха за все дни, когда средняя суточная температура была равна или превышала 10 °C (биологический ноль для винограда).

Ранее нами были собраны многолетние метеоданные по основным метеостанциям Крыма. На основании имеющегося материала проведен расчет сумм температур воздуха выше 10 °C на исследуемой территории.

Суммы активных температур достигают оптимальных значений в районах метеостанций ГНБС (Никитский сад) – 3832 °C, Севастополь – 3794 °C и Феодосия – 3793 °C. Немного меньше значение этого показателя в южной и юго-западной приморских частях полуострова, то есть в окрестностях Алушты, Евпатории, с. Вилино (3763 °C, 3746 °C, 3714 °C). В остальных регионах Крыма сумма активных температур находится в пределах от 3247 °C (Белогорск) до 3380 °C (Симферополь).

Молдавскими учёными разработана формула, описывающая влияние рельефа на теплообеспеченность территории, учитывающая такие факторы, как географическая широта местности, абсолютная высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склона:

$$T = T^{*1} \cdot (\cos[\gamma + \arctg(\tan i \cdot \cos \alpha \cdot \cos h_0)]) / \cos \gamma^{*1} - 1.671 \cdot (h - h^{*1}), \quad (1)$$

где  $T$  – средняя многолетняя сумма активных температур в исследуемой точке;

$T^*$  – средняя многолетняя сумма активных температур на ближайшей метеостанции;

$\gamma$  – широта местности, для которой определяется сумма активных температур, градусы;

$i$  – крутизна участка, для которого ведётся расчёт, градусы;

$\alpha$  – экспозиция участка, градусы;

$h_0$  – высота солнца в истинный полдень, градусы;

$h_1$  – высота метеостанции над уровнем моря, м;

$h$  – высота участка над уровнем моря, м;

$\gamma_1$  – широта метеостанции, градусы;

1,671 – эмпирический коэффициент, показывающий изменение температуры выше 10° на 1 м разности высот метеостанции и участка.

Данная формула является весьма удобной для автоматических расчётов, а также построения цифровых карт теплообеспеченности с использованием современных географических информационных систем. Однако климатические особенности Крымского полуострова отличаются от Молдовы, поэтому в институте «Магарач» проведены масштабные исследования по адаптации, так называемой, формулы Софрона-Энтензона для условий Крыма (3). В результате формула приобрела следующий вид:

$$T = T^{*1} \cdot (\cos[\gamma + \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} i \cdot \cos \alpha \cdot \cos h_0)]) / \cos \gamma^{*1} - 1.51 * (h - h^{*1}) \quad (2)$$

Данная изменённая формула показала хорошие результаты при моделировании пространственного распределения суммы активных температур на территории Крыма в масштабах отдельных сельскохозяйственных предприятий или административных районов. Однако при расчетах теплообеспеченности на больших территориях, таких как Крымский полуостров в целом, были выявлены некоторые расхождения между реальными и расчётными данными. Поэтому нами проведены исследования по дальнейшему усовершенствованию формулы Софрона-Энтензона.

Для оценки достоверности исходной и усовершенствованной формул были использованы многолетние данные по сумме активных температур на 10 метеостанциях Крыма, равномерно распределённых по территории полуострова (рис. 1).



Рис. 1. Расположение метеостанций, использованных для усовершенствования формулы Софрона-Энтензона

При этом за базовую станцию был взят Симферополь, данные по которому вводились в формулу, и полученные результаты сравнивались с фактическими показателями на других метеостанциях.

На основании проведённых исследований предложено следующее изменение формулы Софрона-Энтензона (2):

$$T = [T^{*1} \cdot (\cos[\gamma + \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} i \cdot \cos \alpha \cdot \cos h_0)]) / \cos \gamma^{*1} - 1.51 * (h - h^{*1})] + (\gamma_1 - \gamma) * 220 \quad (3)$$

В результате сравнительного анализа двух формул были получены следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ достоверности расчётных величин суммы активных температур при разных редакциях формулы Софрони-Энтензона

Метеостанция	Сумма активных температур выше 10 °C, °C		
	Фактические данные	Расчётные данные	
		формула (2)	формула (3)
Клепинино	3413	3580	3540
Черноморское	3503	3657	3617
Евпатория	3746	3764	3724
Феодосия	3793	3763	3723
Белогорск	3247	3417	3377
Симферополь	3380	3380	3380
Вилино	3714	3762	3722
Алушта	3763	3901	3861
ГНБС	3832	3798	3758
Севастополь	3794	3782	3742

Из табл. 1 видно, что усовершенствованная формула по большинству метеостанций обеспечивает получение расчётных данных, более близких к фактическим, чем формула (2). При этом средняя абсолютная величина ошибки расчётов по формуле (2) составляет 77,1 °C, а по формуле (3) – 69,5 °C, максимальная ошибка по отдельным метеостанциям не превышает 170 и 130 °C или 5,2 и 4,0% соответственно.

Усовершенствованная формула была введена в модуль пространственного анализа программного пакета ArcGIS, в результате чего была создана картографическая модель пространственного распределения теплообеспеченности с учетом морфометрических особенностей рельефа Крымского полуострова (рис. 2). При разработке рекомендаций по подбору сортов для выделенных микроклиматических зон исходили из обеспечения вегетационного периода необходимой для вызревания урожая винограда суммой активных температур (не менее 8 лет из 10).

Согласно полученным данным, Крымский полуостров можно разделить на 6 зон по теплообеспеченности (табл. 2). Самой теплой зоной полуострова является Южный берег Крыма, где суммы температур выше 10 °C превышают 3900°C. На большей части исследуемой территории данный показатель находится в пределах 3100-3900°C. Территория с теплообеспеченностью 3500-3900°C составляет 49,8 % от общей площади Крымского полуострова. В эту зону входят юго-западные, западные и северо-восточные прибрежные районы, центральная часть и большая часть Керченского полуострова. Следующая зона, с теплообеспеченностью в диапазоне от 3100 °C до 3500 °C, незначительно меньше по площади предыдущей и составляет 41,2 % (восточные, северные, центральные и юго-восточные районы Крыма, а также северные и центральные части Керченского полуострова). Зона с суммой температур 2700-3100 °C занимает 4,6 % от общей территории. В предгорных областях данный показатель находится на уровне 2300-2700 °C.

Имея картографическую модель пространственного распределения теплообеспеченности на территории Крымского полуострова и зная биологические особенности сортов, возможно рекомендовать размещение винограда различных сроков созревания для выделенных нами зон.

Таблица 2 – Характеристика зон Крымского полуострова

Зона	Сумма температур выше 10°C	Площадь	
		га	%
1	более 3900	17331	0,7
2	3500-3900	1276543	49,8
3	3100-3500	1056049	41,2
4	2700-3100	117293	4,6
5	2300-2700	54756	2,1
6	менее 2300	40158	1,6
Всего		2562130	100,0

В первой зоне с теплообеспеченностью более 3900°C возможно выращивание винограда всех сроков созревания: от очень ранних до очень поздних. Вторая зона, где суммы активных температур выше 10°C находятся на уровне 3500-3900°C, пригодна для выращивания винограда от очень ранних до поздних сроков созревания. В третьей зоне с суммой температур выше 10°C 3100-3500°C наиболее благоприятные условия складываются для производства сортов очень раннего, раннего и среднего периодов созревания. Четвертая зона пригодна для выращивания винограда очень раннего и раннего сроков созревания. В пятой же зоне суммы активных температур достигают максимально 2700°C. Данная температура достаточна только лишь для вызревания сортов винограда очень ранних сроков созревания. В шестой зоне, при теплообеспеченности менее 2300°C, ведение промышленной культуры исключается.

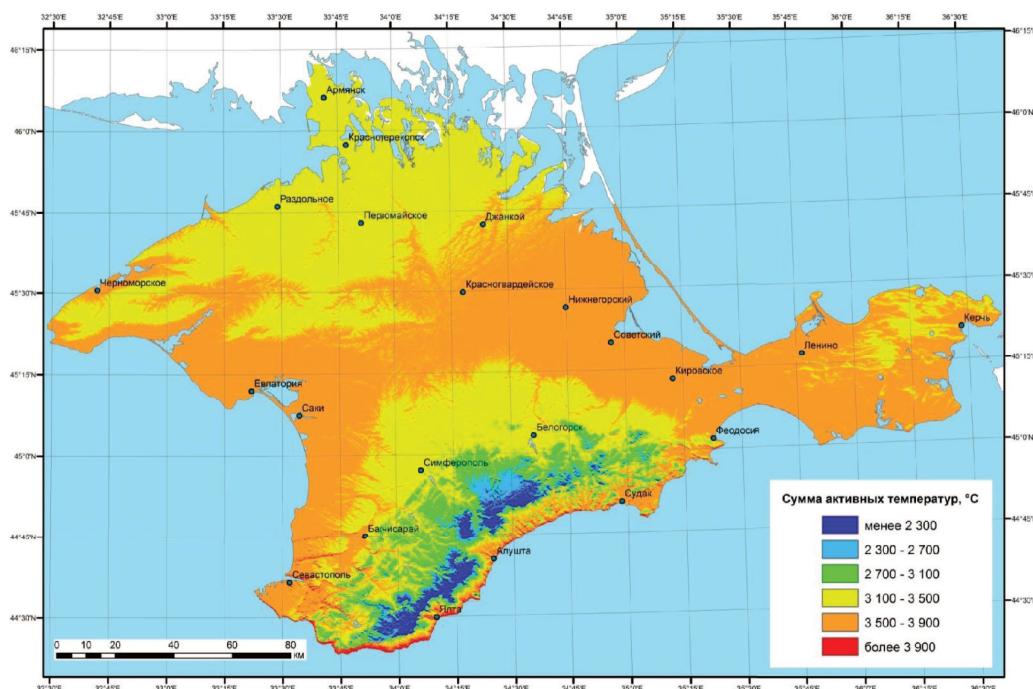


Рис. 2. Крупномасштабная картографическая модель пространственного распределения теплообеспеченности на территории Крымского полуострова

**Выходы.** Проведен расчет сумм температур воздуха выше 10°C на основании многолетних данных метеостанций Республики Крым. Суммы активных температур достигают оптимальных значений в районах метеостанций ГНБС – 3832°C, Севастополь – 3794°C и Феодосия – 3793°C. Немного меньше значение этого показателя в южной и юго-западной приморских частях полуострова, то есть в окрестностях Алушты, Евпатории, с. Вилино

(3763 °C, 3746 °C, 3714 °C). В остальных регионах Крыма сумма активных температур находится в пределах от 3247 °C (Белогорск) до 3380 °C (Симферополь).

Исследовано влияние параметров рельефа на теплообеспеченность территории Крымского полуострова. Проведены исследования по усовершенствованию данной формулы при расчетах теплообеспеченности на больших территориях. Предложенное усовершенствование формулы Софрона-Энтензона обеспечивает повышение точности расчётов пространственного распределения суммы активных температур на территории Крымского полуострова для составления ампелоэкологических карт Крыма и проведения агроэкологического районирования сортов винограда.

Создана крупномасштабная картографическая модель пространственного распределения теплообеспеченности на территории Крымского полуострова применительно к культуре винограда с учётом морфометрических особенностей рельефа

На основании данной модели выделено 6 зон с различной степенью теплообеспеченности, 5 из которых пригодны для возделывания сортов винограда различного срока созревания: с суммой активных температур более 3900°C – для всех сроков созревания; 3500 - 3900°C – для очень ранних, средних и поздних сортов; 3100-3500°C – для очень ранних, ранних и средних; 2700-3100 °C – для очень ранних и ранних сортов; 2300-2700°C – для возделывания очень ранних сортов винограда. При теплообеспеченности меньше 2300 °C возделывание промышленной культуры исключается.

### Литература

1. Иванченко, В.И. Методологические подходы к решению задачи по оценке эффективности размещения промышленных виноградников в зависимости от их сортового состава и агроэкологических условий местности на примере земель ГП АФ «Магарач» Бахчисарайского района / В.И. Иванченко, Н.В. Баранова, Р.Г. Тимофеев, Е.А. Рыбалко // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2010. – № 4. – С. 10-12.
2. Иванченко, В. И. Оценка агроэкологических ресурсов местности в контексте эффективности размещения / В.И. Иванченко, Р.Г. Тимофеев, Н.В. Баранова // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2009. – Т. 39 – С. 35-38.
3. Волынкин, В.А. Биолого-хозяйственная характеристика новых технических сортов винограда селекции НИВиВ «Магарач» / В.А. Волынкин, С.В. Левченко, Н.А. Рошка, Д.С. Коновалов, С.В. Ерпылев // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2006. – № 4. – С. 11-13.
4. Гаджиев, М.С. Агроэкологические и социально-экономические основы устойчивого развития виноградарства, плодоводства и виноделия Южного Дагестана в XXI веке: монография / М.С. Гаджиев. – Махачкала: Юпитер, 2004. – 392 с.
5. Иванченко, В.И. Оценка теплообеспеченности и морозоопасности земель Предгорного отделения ГП АФ «Магарач» в контексте перспектив развития промышленного виноградарства / В.И. Иванченко, Р.Г Тимофеев, Н.В Баранова, Е.А. Рыбалко // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2010. – № 1. – С. 10-11.
6. Иванченко, В.И. Оценка экологических условий размещения виноградных насаждений в ГП «Магарач» Бахчисарайского района АР Крым / В.И. Иванченко, Р.Г Тимофеев, Н.В Баранова, Е.А. Рыбалко // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2009. – № 4 – С. 8.
7. Рекомендации 575/46.00334830.002-94 «Оптимизация размещения виноградных насаждений в Крыму». – Ялта: Институт винограда и вина «Магарач», 1993. – 68 с.
8. Левченко, С.В. Оценка столовых форм винограда частной селекции по агробиологическим и хозяйствственно-ценным признакам / С.В Левченко // Проблемы развития АПК региона. – 2015. – № 3 (23). – С. 43-47.
9. Лиховской, В.В. Морозоустойчивость крымских аборигенных сортов винограда и их гибридов / В.В. Лиховской, В.А. Зленко, В.А. Волынкин [и др.] // Политеатический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 117. – С. 681-694.