








DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311

УДК 631.111:551.583

Научная статья / Research article


## Проекции условий влагообеспеченности в Севастопольском регионе для выращивания винограда

Е.В. Вышкваркова<sup>1,2</sup>  , Е.А. Рыбалко<sup>3</sup> ,  
О.В. Марчукова<sup>1</sup> , Н.В. Баранова<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Институт природно-технических систем, Севастополь, Российская Федерация

<sup>2</sup> Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация

<sup>3</sup> Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства  
и виноделия «Магарач» РАН, Ялта, Российская Федерация

aveiro\_7@mail.ru

**Аннотация.** Климатические и орографические особенности Севастопольского региона являются основой развития виноградарства, виноделия и получения широкой палитры вин высокого качества. Виноградарство является специализацией сельского хозяйства в Севастопольском регионе. Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата приводят к смещению благоприятных зон для выращивания винограда. Количество атмосферных осадков является ключевым параметром, наравне с температурой воздуха, для получения винограда высокого качества, а в дальнейшем вина. Потребности винограда в воде меняются в зависимости от сезона и фазы развития растения. Проведена оценка возможных изменений условий влагообеспеченности Севастопольского региона для выращивания винограда. Используются данные численных расчетов глобальных климатических моделей проекта СМIP6 при неблагоприятном сценарии концентрации парниковых газов SSP5-8.5. Оценка проведена с использованием двух агроклиматических индексов – гидротермический коэффициент Селянинова и индекс сухости, к середине и концу XXI века. Согласно прогнозируемым величинам агроклиматических индексов к середине и концу века Севастопольский регион останется в зоне, где выращивание винограда будет возможно без орошения. Полученные результаты показали вероятность увеличения засушливости региона в будущие периоды, особенно к концу века, что повлечет дополнительный стресс для винограда. Для минимизации неблагоприятных условий потребуются принятие мер адаптации, таких как выбор засухоустойчивых сортов винограда, изменений в системе обработки почвы, размещение виноградников на северных склонах.

**Ключевые слова:** виноград, климат, осадки, прогноз, Севастопольский регион

© Вышкваркова Е.В., Рыбалко Е.А., Марчукова О.В., Баранова Н.В., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>






**Благодарности и финансирование:** Работа выполнена в рамках госзадания ИПТС (№ госрегистрации 121122300072-3).

**Вклад авторов:** *Е.В. Вышкваркова* – концепция и дизайн исследования, написание текста; *Е.А. Рыбалко* – анализ полученных данных, визуализация результатов; *О.В. Марчукова* – сбор и обработка данных; *Н.В. Баранова* – сбор и обработка данных.

**История статьи:** поступила в редакцию 21.03.2022; принята к публикации 17.05.2022.

**Для цитирования:** *Вышкваркова Е.В., Рыбалко Е.А., Марчукова О.В., Баранова Н.В.* Проекция условий влагообеспеченности в Севастопольском регионе для выращивания винограда // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 300–311. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311>


## Projections of moisture conditions in the Sevastopol region for grapes growing

Elena V. Vyshkvarkova<sup>1,2</sup>  , Evgeniy A. Rybalko<sup>3</sup> ,  
Olesia V. Marchukova<sup>1</sup> , Natalia V. Baranova<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> *Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation*

<sup>3</sup> *All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking 'Magarach' RAS, Yalta, Russian Federation*

 [aveiro\\_7@mail.ru](mailto:aveiro_7@mail.ru)

**Abstract.** The climatic and orographic features of the Sevastopol region are the basis for the development of viticulture, winemaking and obtaining a wide range of high-quality wines. Viticulture is a specialization of agriculture in the Sevastopol region. Observed and predicted climate changes lead to a shift in favorable zones for growing grapes. The amount of precipitation is a key parameter, along with air temperature, for obtaining high quality grapes, and later wine. The water requirements of grapes vary with the season and phase of plant development. The article assesses the possible changes in the conditions of moisture conditions in the Sevastopol region for the grapes growing. The work uses data from numerical calculations of global climate models of the CMIP6 project under an unfavorable scenario of greenhouse gas concentrations SSP5-8.5. The assessment was carried out using two agroclimatic indices – the Selyaninov hydrothermal coefficient and the dryness index, by the middle and end of the 21st century. According to the predicted values of agroclimatic indices, by the middle and the end of the century, the Sevastopol region will remain in the zone where the cultivation of grapes will be possible without irrigation. The results obtained showed the likelihood of an increase in the aridity of the region in future periods, especially towards the end of the century, which will entail additional stress for the grapes. Adaptation measures such as selection of drought-tolerant grape varieties, changes in tillage systems, and placement of vineyards on northern slopes will be required to minimize unfavorable conditions.

**Keywords:** grapes, climate, precipitation, forecast, Sevastopol region

**Acknowledgements and Funding:** The study was supported by state assignment of Institute of natural and technical systems (Project Reg. No. 121122300072-3).

**Authors' contributions:** E.V. Vyshkvarkova – research concept and design, text writing; E.A. Rybalko – formal analysis, visualization; O.V. Marchukova – data collection and processing; N.V. Baranova – data collection and processing.

**Article history:** received 21.03.2022; accepted 17.05.2022.

**For citation:** Vyshkvarkova EV, Rybalko EA, Marchukova OV, Baranova NV. Projections of moisture conditions in the Sevastopol region for grapes growing. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):300–311. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311>

## Введение

Температура воздуха и атмосферные осадки являются основными метеорологическими параметрами для выращивания винограда (*Vitis Vinifera* L.). Многочисленные исследования о влиянии температурных условий на развитие виноградной лозы, созревание ягод и качество вина проведены для многих винодельческих районов мира (например, [1–3]). Влиянию количества осадков на виноградарство посвящено меньше работ, а роли отдельных характеристик осадков на фенологию винограда еще меньше [4]. Необходимость в осадках и их количестве изменяется в зависимости от сезона и фазы развития виноградного растения. Осадки оказывают существенное влияние на водный баланс почвы, определяя доступность воды для растений [5]. Осадки необходимы в зимне-весенний период для накопления воды в почве [6], а в начале вегетации для развития соцветий [7]. В период цветения и созревания ягод наоборот нужны сухие атмосферные условия [8]. Избыточное количество осадков может увеличить урожай, однако снизить содержание сахара в ягодах, чрезмерные дожди могут вызвать грибковые заболевания и прервать опыление цветов, а также задержать сбор урожая. В то же время дефицит осадков отрицательно сказывается на растении, нарушая процесс созревания, и, как следствие, снижает качество вина [7; 9].

Наблюдаемое потепление климата привело к сдвигу климатических зон, в первую очередь в виде увеличения засушливости климата [10]. Наряду с этим, по данным наблюдений, произошел рост экстремальных событий, связанных с осадками и этот рост, как показывают расчеты глобальных моделей, в будущем сохранится [11]. На Европейской территории России в летний сезон наблюдается уменьшение количества осадков, существенное в южных областях [12]. По данным IPCC, изменение атмосферных осадков при дальнейшем потеплении не будет однородным [11]. При неблагоприятном сценарии концентрации парниковых газов (RCP8.5) во многих засушливых регионах средних широт и в субтропиках среднее количество осадков, вероятно, уменьшится, в то время как во многих влажных регионах в средних широтах к концу этого столетия оно, вероятно, возрастет. В XXI в. осадки на территории России в целом будут возрастать, причем наиболее значительный их рост ожидается зимой. К середине XXI в. на юге Европейской части России ожидается тенденция к уменьшению количества осадков в летний сезон [12].

Виноградарство является специализацией сельского хозяйства Севастопольского региона. На конец 2020 г. общая площадь виноградных насаждений составила в регионе более 5,9 тыс. га, из них плодоносящих – свыше 4,7 тыс. га. В регионе ведется работа над реализацией приоритетного проекта «Терруар Севастополь», который предполагает развитие винодельческой инфраструктуры и увеличение площадей виноградников до 10 тыс. га к 2030 г. [13]. Виноградарство в регионе неполивное. По данным метеорологических наблюдений, Севастопольский регион обладает достаточными тепловыми условиями для выращивания винограда всех сроков созревания [14].

**Цель работы** – оценка возможных изменений влагообеспеченности Севастопольского региона к середине и концу XXI в.

### Материалы и методы

Будущие изменения влагообеспеченности региона оценивались на основе данных результатов моделирования глобальных климатических моделей проекта CMIP6 [15]. Для шестой фазы проекта CMIP разработан новый набор сценариев, которые отражают различные социально-экономические изменения (SSP – Shared Socioeconomic Pathways), а также различные пути антропогенного изменения концентрации парниковых газов в атмосфере [16]. В работе использованы данные расчетов при сценарии SSP5-8.5. Сценарий SSP5-8.5 – это крайний сценарий, который считается самым неблагоприятным. Радиационное воздействие к 2100 г. при таком сценарии составляет 8,5 Вт/м<sup>2</sup>, а концентрация парниковых газов – 1100 ppm [17], инновации и технологии растут за счет интенсивного использования природного ископаемого топлива [18].

Для получения оценок будущих изменений условий влагообеспеченности региона использован ансамбль из результатов моделирования шести моделей: ACCESS-CM2, CMCC-CM2-SR5, HadGEM3-GC31-LL, INM-CM4-8, KACE-1-0-G, NESM3. Использование ансамбля результатов моделей позволяет уменьшить неопределенность, связанную с отдельной моделью [19]. Анализ основан на первом члене ансамбля (`member_id = r1i1p1f1`) каждой модели. Интерполяция данных из узлов сетки моделей в район Севастопольского региона выполнена методом линейной интерполяции.

За исторический (базовый) период принят 1981–2014, и два будущих периода – 2021–2050 и 2051–2080. Выбраны 30-летние периоды, так как период обновления виноградной лозы составляет 25–30 лет.

В статье проанализированы следующие параметры влагообеспеченности региона: 1) количество осадков за вегетационный период (мм), определяется как сумма осадков за вегетационный период (с апреля по октябрь в Северном полушарии) и дает информацию о влиянии осадков за этот период на фенологию и созревание ягод, что, в свою очередь, влияет на качество винограда и здоровье виноградной лозы [20]; 2) гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) [21]; 3) индекс сухости (`dryness index – DI`) [22].

Формулы для расчета индексов:

$$\text{ГТК} = \frac{P \cdot 10}{\sum t}, \quad (1)$$

$$DI = W_0 + DI = W_0 + \sum_{1 \text{ Apr}}^{31 \text{ Oct}} [P - (E_t + E_s)], \quad (2)$$

где  $P$  – осадки, мм;  $W_0$  – начальная влажность почвы, мм;  $\sum t$  – сумма температур выше  $10^\circ\text{C}$ ;  $E_t$  – потеря воды через транспирацию,  $E_s$  – количество воды, испаряющейся с поверхности земли.

Значения гидротермического коэффициента больше 1,0 свидетельствуют о достаточном увлажнении территории, в то время как меньше 1,0 – о недостаточном соответственно. Индекс сухости делится на четыре класса: DI+2 «очень сухой» со значениями меньше  $-100$  мм; DI+1 – «умеренно сухой», от  $-100$  до  $50$  мм; DI–1 «умеренно влажный», от  $50$  до  $150$  мм и DI–2 – «влажный», с величинами индекса более  $150$  мм.

Материалами служили векторная карта Крымского полуострова, цифровая модель рельефа SRTM-3, климатическая модель Worldclim 2.0. Моделирование пространственного распределения величины гидротермического коэффициента Селянинова осуществлялось на основе раздельного моделирования двух климатических факторов, формирующих данный коэффициент – суммы активных температур выше  $10^\circ\text{C}$  (с использованием формулы Софрони–Энтензона с предложенными для территории Крымского полуострова поправками [23]) и суммы осадков за вегетационный период (на основе модели Worldclim 2.0). Моделирование пространственного варьирования индекса сухости также основано на модели Worldclim 2.0. При этом начальное значение водного баланса ( $W_0$ ) для исследуемого региона принято за  $200$  мм, а потенциальная эвапотранспирация –  $5$  мм/сут. Для моделирования агроклиматических индексов и визуализации результатов использован ArcGIS.

## Результаты и обсуждение

Сравнение данных наблюдений и ансамбля климатических моделей по температуре воздуха показало высокую связь (коэффициент корреляции составил  $0,88$ ). Значения атмосферных осадков по данным моделирования имеют низкие значения корреляции с данными наблюдений. Это ожидаемый результат, поскольку ежедневные осадки характеризуются сильной пространственной неоднородностью. Проведено сравнение линейных трендов данных наблюдений осадков и ансамбля из моделей, которое показало совпадение тенденций в данных за исторический период. Проведенные тесты позволяют использовать ансамбль модельных данных для дальнейших расчетов индексов влагообеспеченности региона.

Для базового периода  $1981$ – $2014$  получено количество осадков за вегетационный период –  $224$  мм. При сценарии SSP5-8.5 ожидается сначала рост в первый будущий период до  $227$  мм (выше, чем в базовый период  $1981$ – $2014$ ), а затем уменьшение до  $195$  мм. В целом в Севастопольском

регионе наблюдается динамика к уменьшению суммы осадков за вегетационный период к середине и концу XXI в.

*Гидротермический коэффициент.* ГТК показывает уровень влагообеспеченности региона [21], используется в агрономии для общей оценки климата и выделения зон различного уровня влагообеспеченности с целью определения целесообразности выращивания тех или иных сельскохозяйственных культур. Изменение значений гидротермического коэффициента по территории Севастопольского региона на два будущих периода при сценарии SSP5-8,5 относительно базового периода (1981–2014) представлено на рис. 1. Как видно, в будущие периоды наблюдается увеличение площади региона со значениями ГТК менее 0,6 за счет уменьшения площадей с другими интервалами коэффициента. В первый будущий период процент площади региона с недостаточным увлажнением (ГТК < 1,0) возрастает до 96,2 %, в то время как в исторический период он составлял 94,3 %. Во второй будущий период процент площади региона с достаточным увлажнением (ГТК > 1,0) сокращается до 2 %.

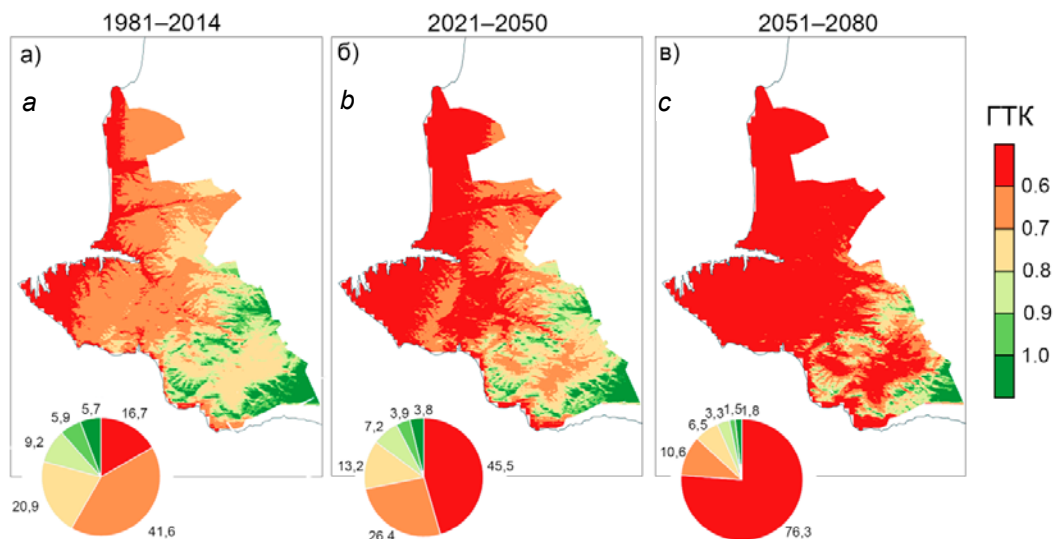
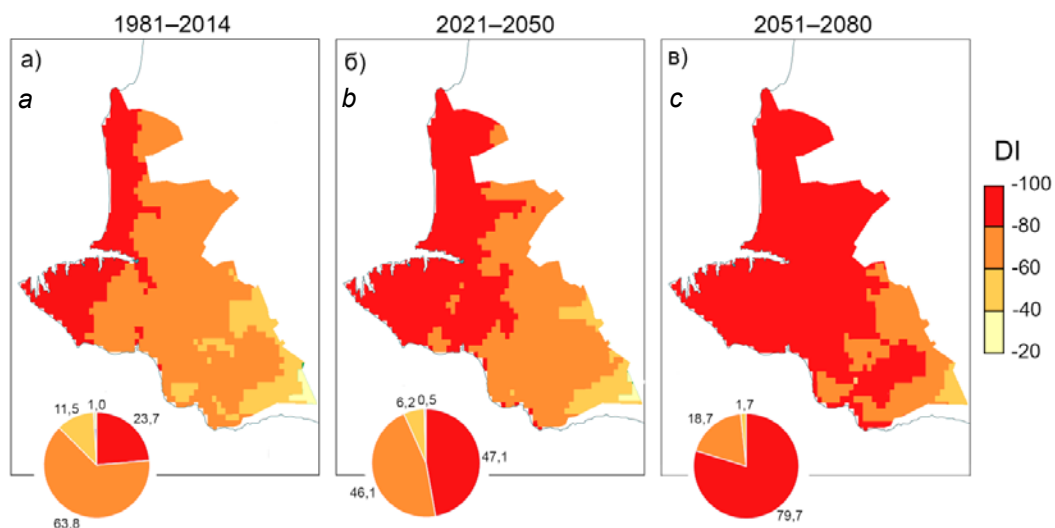


Рис. 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) для территории Севастопольского региона для исторического (а) и будущих периодов (б, в) при сценарии SSP5-8,5 и диаграммы распределения площадей (в %) /

Figure 1. Hydrothermal coefficient (HTC) for the territory of the Sevastopol region for the historical (a) and future periods (b, c) under the SSP5-8.5 scenario and the area distribution diagram (in %)

Значение ГТК, равное 0,5, считается границей для возделывания винограда без орошения в богарной зоне [24; 25]. В современный период и в будущие периоды Севастопольский регион по значениям ГТК остается в зоне, в которой возделывание винограда возможно без искусственного орошения. Снижение уровня обеспеченности территории осадками в период роста и созревания ягод винограда обнаружено в агроэкологических регионах промышленного виноградарства Краснодарского края и Ростовской области (Россия) [26].

**Индекс сухости (DI).** Индекс сухости – это климатический индекс, используемый в виноградарстве для характеристики водной составляющей региона, тесно связанной с качественными характеристиками винограда и вина [27]. Индекс учитывает климатические требования виноградника, испарение с открытой почвы, количество осадков без вычета поверхностного стока или дренажа. Он указывает на потенциальную доступность воды в почве, связанную с уровнем засушливости в регионе. По значениям индекса сухости вся территория Севастопольского региона в первый и второй будущие периоды будет находиться в классе DI+1 “умеренно сухой” виноградарского климата, при котором виноградная лоза потенциально может столкнуться с определенным уровнем сухости. Это класс с большим интервалом значений от 50 до –100 мм [22]. Мы разделили этот класс на небольшие интервалы с шагом в 20 мм, чтобы посмотреть динамику изменения индекса к середине и концу века. Как видно на рис. 2, увеличивается процент площади с преобладающими значениями индекса сухости от –80 до –100. Эти регионы можно классифицировать как климат средиземноморского типа с дефицитом воды летом [22]. Таким образом территория Севастопольского региона к концу второго будущего периода находится на грани перехода в класс DI+2.



**Рис. 2.** Индекс сухости (мм) для территории Севастопольского региона для исторического (а) и будущих периодов (б, в) при сценарии SSP5-8,5 и диаграммы распределения площадей (в %) / **Figure 2.** Dryness index (mm) for the territory of the Sevastopol region for the historical (a) and future periods (b, c) under the SSP5-8.5 scenario and area distribution diagrams (in %)

Наши результаты согласуются с ранее полученными, например, в работе [28] в период 2071–2100 территория Крымского полуострова будет находиться в этом классе DI. Использование биоклиматических индексов для оценки будущих изменений условий влагообеспеченности в будущем проведено для некоторых винодельческих районов Европы и мира. В целом для винодельческих районов Европы характерно увеличение засушливости в будущем, что особенно будет выражено на юге (Средиземноморская часть).

## Заключение

В работе по данным результатов моделей проекта СМIP6 получены оценки возможных изменений условий влагообеспеченности Севастопольского региона к середине и концу XXI в. Для этого использованы два индекса, основанных на атмосферных осадках – гидротермический коэффициент и индекс сухости. Гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г.Т. Селяниновым, наиболее полно характеризует условный баланс влаги и тепла. Результаты показали увеличение площади региона с показателями ГТК менее 0,6, что свидетельствует об увеличении засушливости региона. По нашим расчетам Севастопольский регион в будущие периоды будет находиться в классе «умеренно сухо» по значениям индекса сухости.

Ожидаемые тенденции к потеплению и увеличению засушливости могут создать дополнительные проблемы для выращивания винограда. Прогнозируемое уменьшение осадков, более высокие температуры воздуха и почвы, более частые и продолжительные экстремальные климатические явления (например, волны тепла, экстремальная засуха) негативно скажутся на виноградарстве. Подобные климатические изменения приведут к увеличению теплового стресса и водного дефицита, что потребует изменений в системе обработки почвы, выбору более устойчивых к засухе подвоев, увеличению потребности растений в воде и необходимости орошения, а также использования видового разнообразия винного винограда. Полученные результаты важны для выбора мер адаптации к текущим и будущим климатическим изменениям и будущим. Исследование требует продолжения ввиду прогрессирующих изменений климата.

## Список литературы

- [1] *Venios X., Korkas E., Nisiotou A., Banilas G.* Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming // *Plants*. 2020. Vol. 9. 1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- [2] *Fraga H., Pinto J.G., Santos J.A.* Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment // *Climat Changing* 2019. Vol. 152. P. 179–193. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2337-5>
- [3] *Gutiérrez-Gamboa G., Zheng V., Toda M.* Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review // *Food Research International*. 2021. Vol. 139. 109946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>
- [4] *Carlo P., Aruffo E., Brune W.H.* Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 685. P. 508–513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.449>
- [5] *Santos J.A., Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J., Dinis L.-T., Correia C., Moriondo M., Leolini L., Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Kartschall T., Menz C., Molitor D., Junk J., Beyer M., Schultz H.R.* A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture // *Applied Science* 2020. Vol. 10. 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- [6] *Gladstones J.* *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press: Kent Town South Australia. 2011. 280 p.



- [7] Novikova L.Yu., Naumova L.G. Dependence of Fresh Grapes and Wine Taste Scores on the Origin of Varieties and Weather Conditions of the Harvest Year in the Northern Zone of Industrial Viticulture in Russia // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101613>
- [8] Jones G.V., Davis R.E. Climate Influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France // *Am. J. Enol. Vitic.* 2000. Vol. 51. P. 249–261.
- [9] de Orduña M.R. Climate change associated effects on grape and wine quality and production // *Food Res. Int.* 2010. Vol. 43. P. 1844–1855.
- [10] Jia G., Shevliakova E., Artaxo P., Noblet-Ducoudré D., Houghton R., House J., Kitajima K., Lennard C., Popp A., Sirin A. Land-climate interactions // *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems* / Shukla P.R., Skea J., Buendia E.C., Masson-Delmotte V., Pörtner H.-O., Roberts D.C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R. (eds.). 2019.
- [11] AR6 Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. 2022, in press.
- [12] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. 2014. 56 с.
- [13] Стратегия социально-экономического развития города Севастополя до 2030 года. Закон города Севастополя. Севастополь, 2017. 171 с.
- [14] Vyshkvarkova E.V., Rybalko E.A., Baranova N.V., Voskresenskaya E.N. Favorability Level Analysis of the Sevastopol Region's Climate for Viticulture // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. 1226. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091226>
- [15] Eyring V., Bony S., Meehl G.A., Senior C.A., Stevens B., Stouffer R.J., Taylor K.E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geosci. Model Dev.* 2016. Vol. 9. P. 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- [16] Meinshausen M., Nicholls Z.R.J., Lewis J., Gidden M.J., Vogel E., Freund M., Beyerle U., Gessner C., Nauels A., Bauer N., Canadell J.G., Daniel J.S., John A., Krummel P.B., Luderer G., Meinshausen N., Montzka S.A., Rayner P.J., Reimann S., Smith S.J., van den Berg M., Velders G.J.M., Vollmer M.K., Wang R.H.J. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500 // *Geosci. Model Dev.* 2020. Vol. 13. P. 3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- [17] O'Neill B.C., Tebaldi C., van Vuuren D.P., Eyring V., Friedlingstein P., Hurtt G., Knutti R., Kriegler E., Lamarque J.-F., Lowe J., Meehl G.A., Moss R., Riahi K., Sanderson B.M. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6 // *Geosci. Model Dev.* 2016. Vol. 9. P. 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- [18] Riahi K., van Vuuren D.P., Kriegler E., Edmonds J., O'Neil B., Fujimori S., Bauer N., Calvin K. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview // *Global Environmental Change*. 2017. Vol. 42. P. 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- [19] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections; National Center for Atmospheric Research. Boulder: CO, USA, 2010.
- [20] Cabré F., Nuñez M. Impacts of climate change on viticulture in Argentina // *Regional Environmental Change*. 2020. Vol. 20. 12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01607-8>

- [21] *Селянинов Г.Т.* Агроклиматическая карта мира. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 12 с.
- [22] *Tonietto J., Carbonneau A.* A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2004. Vol. 124 (1–2). P. 81–97.
- [23] *Рыбалко Е.А.* Адаптация математической модели пространственного распределения теплообеспеченности территории с целью эффективного размещения промышленных виноградников на территории Крымского полуострова // *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2014. № 2. С. 10–11.
- [24] *Виноградарство: учебник / К.В. Смирнов, Л.М. Малтабар, А.К. Раджабов, Н.В. Матузок, Л.П. Трошин; под ред. К.В. Смирнова. М.: Изд-во МСХА. 2017. 510 с.*
- [25] *Давитая Ф.Ф.* Климатические зоны винограда СССР. Москва: Пищепромиздат, 1948. 192 с.
- [26] *Петров В.С., Алейникова Г.Ю.* Влияние изменений климата на фенологию винограда // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2019. № 57 (03). С. 29–50. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50>
- [27] *Tonietto J., Ruiz V.S., Gomez-Miguel V.D., editors.* *Clima, Zonification y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas*. Madrid: CYTED, 2012.
- [28] *Malheiro A.C., Santos J.A., Pinto J.G., Jones G.V.* European viticulture geography in a changing climate // *Bulletin de l'OIV*. 2012. Vol. 85. № 971-972-973. P. 15–22.

## References

- [1] Venios X, Korkas E, Nisiotou A, Banilas G. Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants*. 2020;9:1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- [2] Fraga H, Pinto JG, Santos JA. Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment. *Clim. Chang*. 2019;152:179–193. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2337-5>
- [3] Gutiérrez-Gamboa G, Zheng V, Toda M. Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*. 2021;139:109946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>
- [4] Carlo P, Aruffo E, Brune WH. Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines. *Science of the Total Environment*. 2019;685:508–513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.449>
- [5] Santos JA, Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Dinis L-T, Correia C, Moriondo M, Leolini L, Dibari C, Costafreda-Aumedes S, Kartschall T, Menz C, Molitor D, Junk J, Beyer M, Schultz HR. A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Appl. Sci*. 2020;10:3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- [6] Gladstones J. *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press: Kent Town South Australia; 2011.
- [7] Novikova LYu, Naumova LG. Dependence of Fresh Grapes and Wine Taste Scores on the Origin of Varieties and Weather Conditions of the Harvest Year in the Northern Zone of Industrial Viticulture in Russia. *Agronomy*. 2020;10:1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101613>
- [8] Jones GV, Davis RE. Climate Influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic*. 2000;51:249–261.
- [9] de Orduña MR. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Res. Int*. 2010;43:1844–1855.
- [10] Jia G, Shevliakova E, Artaxo P, Noblet-Ducoudré D, Houghton R, House J, Kitajima K, Lennard C, Popp A, Sirin A. Land–climate interactions. In: *Climate Change and Land*:

- An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Shukla PR, Skea J, Buendia EC, Masson-Delmotte V, Pörtner H-O, Roberts DC, Zhai P, Slade R, Connors S, van Diemen R, editors. 2019. in press.
- [11] AR6 Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. 2022, in press.
- [12] Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Rosgidromet; 2014. (In Russ).
- [13] Strategy for socio-economic development of the city of Sevastopol until 2030. Law of the city of Sevastopol. Sevastopol; 2017. (In Russ).
- [14] Vyshkvarkova EV, Rybalko EA, Baranova NV, Voskresenskaya EN. Favorability Level Analysis of the Sevastopol Region's Climate for Viticulture. *Agronomy*. 2020;10:1226. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091226>
- [15] Eyring V, Bony S, Meehl GA, Senior CA, Stevens B, Stouffer RJ, Taylor KE. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev*. 2016;9:1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- [16] Meinshausen M, Nicholls ZRJ, Lewis J, Gidden MJ, Vogel E, Freund M, Beyerle U, Gessner C, Nauels A, Bauer N, Canadell JG, Daniel JS, John A, Krummel PB, Luderer G, Meinshausen N, Montzka SA, Rayner PJ, Reimann S, Smith SJ, van den Berg M, Velders GJM, Vollmer MK, Wang RHJ. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geosci. Model Dev*. 2020;13:3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- [17] O'Neill BC, Tebaldi C, van Vuuren DP, Eyring V, Friedlingstein P, Hurtt G, Knutti R, Kriegler E, Lamarque J-F, Lowe J, Meehl GA, Moss R, Riahi K, Sanderson BM. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev*. 2016;9:3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- [18] Riahi K, van Vuuren DP, Kriegler E, Edmonds J, O'Neil B, Fujimori S, Bauer N, Calvin K. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*. 2017;42:153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- [19] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections; National Center for Atmospheric Research. Boulder: CO; 2010.
- [20] Cabré F, Nuñez M. Impacts of climate change on viticulture in Argentina. *Regional Environmental Change*. 2020;20:12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01607-8>
- [21] Selyaninov GT. Agro-climatic map of the world. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1966. (In Russ).
- [22] Tonietto J, Carbonneau A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2004;124(1–2):81–97.
- [23] Rybalko EA. Adaptation of the mathematical model of the spatial distribution of the heat supply of the territory in order to effectively locate industrial vineyards on the territory of the Crimean Peninsula. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*. 2014;2:10–11. (In Russ).
- [24] Smirnov KV, Maltabar LM, Radzhabov AK, Matuzok NV, Troshin LP. *Vinogradarstvo: uchebnik*. Moscow: Izd-vo MSHA; 2017. (in Russ).
- [25] Davitaya FF. Climatic zones of grapes of the USSR. Moscow: Pishhepromizdat; 1948. (In Russ).

- [26] Petrov VS, Aleynikova GYu. The influence of climate changes the grape phenology. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*. 2019;57(03):29–50. (In Russ). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50>
- [27] Tonietto J, Ruiz VS, Gomez-Miguel VD, editors. *Clima, Zonification y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas*. Madrid: CYTED; 2012.
- [28] Malheiro AC, Santos JA, Pinto JG, Jones GV. European viticulture geography in a changing climate. *Bulletin de l'OIV*. 2012;85:15–22.

### Сведения об авторах:

*Вышкваркова Елена Васильевна*, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата, ФГБУН «Институт природно-технических систем», Российская Федерация, 299011, Севастополь, ул. Ленина, д. 28; доцент кафедры Мониторинг и теория климата, Севастопольский государственный университет, Российская Федерация, 299053, Севастополь, ул. Университетская, д. 33. ORCID: 0000-0002-4890-3247. E-mail: aveiro\_7@mail.ru

*Рыбалко Евгений Александрович*, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий сектором агроэкологии, ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Российская Федерация, 298600, Ялта, ул. Кирова, д. 31. ORCID: 0000-0002-4579-3505. E-mail: agroeco-magarach@yandex.ru

*Марчукова Олеся Владимировна*, младший научный сотрудник лаборатории крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата, ФГБУН «Институт природно-технических систем», Российская Федерация, 299011, Севастополь, ул. Ленина, д. 28. ORCID: 0000-0001-6205-9946. E-mail: olesjath@mail.ru

*Баранова Наталья Валентиновна*, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория агроэкологии, ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Российская Федерация, 298600, Ялта, ул. Кирова, д. 31. ORCID: 0000-0002-2588-360X. E-mail: natali.v.0468@mail.ru

### Bio notes:

*Elena V. Vyshkvarkova*, PhD (Geogr.), Leading Researcher, Laboratory Large-scale Interaction Atmosphere and Ocean and Climate Change, Institute of Natural and Technical Systems, 28 Lenina St, Sevastopol, 299011, Russian Federation; Associate Professor, Department of Monitoring and Theory of Climate, Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St, Sevastopol, 299053, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4890-3247. E-mail: aveiro\_7@mail.ru

*Evgeniy A. Rybalko*, PhD (Agric.), Head of Agroecology Sector, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking «Magarach» of Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St, Yalta, 298600, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4579-3505. E-mail: agroeco-magarach@yandex.ru

*Olesia V. Marchukova*, junior researcher, Laboratory Large-scale Interaction Atmosphere and Ocean and Climate Change, Institute of Natural and Technical Systems, 28 Lenina St, Sevastopol, 299011, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6205-9946. E-mail: olesjath@mail.ru

*Natalia V. Baranova*, PhD (Agric.), Leading Researcher, Laboratory Agroecology, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking «Magarach» of Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St, Yalta, 298600, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2588-360X. E-mail: natali.v.0468@mail.ru