

Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

Прогноз зоны возделывания винограда на европейской территории России в условиях изменения климата

Л.Ю. Новикова , П.В. Озерский

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия
 l.novikova@vir.nw.ru

Аннотация. Потепление климата оказалось существенным фактором для виноградарства и виноделия всех виноградарских районов мира. Многие страны рассматривают продвижение виноградарства на север и в горные районы как возможный путь адаптации к потеплению. Факторы, лимитирующие зону виноградарства в России, определены советским ученым Ф.Ф. Давитая в 1948 г. и актуальны до сих пор. Это сумма активных температур выше 10 °C ($\Sigma T_{10} > 2500$ °C), средний из абсолютных минимумов температуры ($T_{\min} > -35$ °C), продолжительность безморозного периода ($L_{ff} < 150$ сут) и гидротермический коэффициент ($0.5 < ГТК < 2.5$). Значения лимитирующих факторов современной зоны промышленного виноградарства (ЗПВ) соответствуют определенным Ф.Ф. Давитая диапазонам, за исключением T_{\min} , которая в современной ЗПВ на европейской территории России везде выше -26 °C. Целью исследования было определение возможности продвижения на север границ зоны промышленного виноградарства в современных и прогнозируемых климатических условиях европейской территории России. По суточным данным 1980–2019 гг. для 150 метеостанций Росгидромета рассчитали среднемноголетние значения, тренды и прогнозы к 2050 г. значений лимитирующих факторов ЗПВ, определили точки, лежащие в допустимом для виноградарства диапазоне. В программе QGIS нанесли точки на карту европейской территории России, определили предельную широту. Были рассмотрены варианты с $T_{\min} > -26$ °C и $T_{\min} > -35$ °C. В 1980–2019 гг. в среднем на европейской территории России наблюдался рост ΣT_{10} , T_{\min} , L_{ff} и снижение ГТК. Однако южнее 55° N в ряде точек прослеживалась тенденция к снижению T_{\min} . Рост теплообеспеченности вегетационного периода на европейской территории России создает предпосылки продвижения промышленного виноградарства к северу от современной предельной широты 46.6° до 51.8° в текущих условиях, а к 2050 г. – до 60.7° N. Кроме того, уже сейчас виноградарство возможно в районе Калининграда (54° N, 20° E). При дополнительных мерах по укрытию на зиму до -35 °C виноградарство возможно до 53.3° N в текущих условиях и до 60.7° N – в прогнозируемых. Возможное снижение минимальной температуры зимы на юге европейской территории России потребует дополнительных мер защиты зимой, а повышение засушливости климата на северо-западном побережье Каспийского моря будет уменьшать площади под неорошаемыми виноградниками.

Ключевые слова: виноградарство; лимитирующие климатические факторы; изменения климата; тренды; прогнозы; ГИС.

Для цитирования: Новикова Л.Ю., Озерский П.В. Прогноз зоны возделывания винограда на европейской территории России в условиях изменения климата. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(3): 264-271. DOI 10.18699/VJGB-22-33

Forecast for the zone of viticulture in European Russia under climate change

L.Yu. Novikova , P.V. Ozerski

Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia
 l.novikova@vir.nw.ru

Abstract. Climate warming has turned out to be a significant factor in viticulture and winemaking in all grape-growing areas of the world. Many countries consider the advance of viticulture to the north and to mountainous areas as a possible way to adapt to warming. The factors limiting the zone of viticulture in Russia have been identified by Soviet scientist F.F. Davitaya in 1948, and they are still relevant. They are the sum of active temperatures above 10 °C ($\Sigma T_{10} > 2500$ °C), mean of absolute minimum temperatures ($T_{\min} > -35$ °C), length of the frost-free period ($L_{ff} < 150$ days), and hydrothermal coefficient ($0.5 < HTC < 2.5$). The values of these limiting factors in the present-day zone of commercial viticulture (ZCV) correspond to the ranges defined by F.F. Davitaya, with the exception of T_{\min} , which in the modern ZCV in European Russia is above -26 °C everywhere. The objective of this work was to assess the possibility of moving the boundaries of the ZCV to the north under the existing and predicted climate conditions in European Russia. The 1980–2019 daily data from 150 weather stations of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring were used to calculate mean long-term values, trends and

forecasts for 2050 for the ZCV limiting factors and locate the points lying in the range acceptable for viticulture. The QGIS program was applied to plot the points on the European Russia map and mark the terminal latitude. Versions with $T_{\min} > -26^{\circ}\text{C}$ and $T_{\min} > -35^{\circ}\text{C}$ were considered. On average for European Russia, in 1980–2019, there was an increase in ΣT_{10} , T_{\min} , and L_{ff} and a decrease in HTC. However, in the same period, T_{\min} showed a tendency toward decreasing at a number of points at latitudes lower than 55°N . The increase in heat supply during the growing season in European Russia implies a possibility of expanding the ZCV northward, beyond the present-day terminal latitude of 46.6°N , to 51.8°N under the existing conditions, and up to 60.7°N by 2050. In addition, even under the current conditions viticulture is possible in the area of Kaliningrad (54°N , 20°E). Using extra protective measures in winters not colder than -35°C would make it possible to grow grapes at up to 53.3°N under the current conditions and at up to 60.7°N under the prognosticated ones. At the same time, a possible decrease in the minimum winter temperature at the south of European Russia will require additional protective measures in winter, while an increase in the aridity of the climate on the northwest coast of the Caspian Sea will reduce the area under non-irrigated vineyards.

Key words: viticulture; climatic limiting factors; climate change; trends; forecast; GIS.

For citation: Novikova L.Yu., Ozerski P.V. Forecast for the zone of viticulture in European Russia under climate change. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(3):264–271. DOI 10.18699/VJGB-22-33

Введение

Климатические зоны высококачественного виноградарства и виноделия узки и сильно зависят от изменений климата (Hannah et al., 2013; Mozell, Thach, 2014; Santos et al., 2020). Рост температур более чем на 1°C в период малого климатического оптимума VIII–XIII вв. привел к продвижению границы возделывания винограда в Западной и Центральной Европе к северу на $3\text{--}4^{\circ}$, а начиная с XV в. эта граница сдвинулась к югу (Бараш, 1989; Хромов, Петросянц, 2012). В настоящее время зона виноградарства в Северном полушарии располагается между 30-й и 50-й параллелями, где средняя температура апреля–октября варьирует от 12 до 22°C , что соответствует температурному диапазону $13\text{--}21^{\circ}\text{C}$ для производства вина высокого качества (Schultz, Jones, 2010; Jones, 2012).

Согласно прогнозам, будущее потепление окажет на виноградарство, с одной стороны, благотворное воздействие в результате включения новых территорий, а с другой – создаст серьезные проблемы в районах традиционного виноградарства (Roy et al., 2017; Hewer, Brunette, 2020; Vyshkvarkova, Rybalko, 2021). К 2050 г. по сценарию глобального изменения климата RCP 4.5 прогнозируется уменьшение площадей, пригодных для виноградарства, в основных винодельческих регионах на $19\text{--}62\%$, а по сценарию RCP 8.5 – на $25\text{--}73\%$ (Hannah et al., 2013). Современное изменение климата инициирует смещение зоны промышленного возделывания винограда к северу и в горные регионы (Jones, 2012; Vršič, Vodovnik, 2012; Hannah et al., 2013; Mozell, Thach, 2014; Quénot et al., 2014). Россия относится к странам, для которых потепление может иметь особенно значительные последствия (Houtan et al., 2021).

Для прогнозирования влияния изменений климата на эффективность виноградарства регионов используются оценки климатических ресурсов территории с помощью различных индексов, таких как суммы активных и эффективных температур, биологически активные суммы эффективных температур, индекс Винклера, средняя температура апреля–октября, индекс опасности весенних заморозков, индекс засушливости, индекс холода, гелиотермические индексы Хуглина и Брана, гидротермический коэффициент Селянинова и др. (Lorenzo et al.,

2013; Blanco-Ward et al., 2019; Рыбалко, 2020; Pipan et al., 2021; Vyshkvarkova, Rybalko, 2021). Лимитирующие факторы виноградарства различны в разных эколого-географических условиях. Важнейшее требование культуры винограда предъявляет к температуре и освещенности в период активной вегетации. В засушливых регионах ограничивающим фактором становятся осадки, виноград выращивается на поливе. Вблизи северных границ виноградарства лимитируют зимние условия (Лиховской и др., 2016; Roy et al., 2017).

На основе анализа мировых зон виноградарства в первой трети XX в. Ф.Ф. Давитая (1948) дал комплексную оценку диапазона климатических потребностей винограда, выделив актуальные для СССР характеристики: температура начала и конца вегетации – 10°C ; сумма температур за вегетацию выше 10°C (ΣT_{10}) – больше 2500°C ; тормозящая высокая температура (T_{\max}) – $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$; необходимый минимум средней температуры самого теплого месяца ($T_{\text{июля}}$) – $16\text{--}18^{\circ}\text{C}$, для качественного виноделия – $17\text{--}19^{\circ}\text{C}$; продолжительность безморозного периода (L_{ff}) – не менее 150 дней; средний из абсолютных минимумов температуры (T_{\min}) неукрытого виноградарства – до -15°C , при обычных способах защиты от холода – до -35°C ; ГТК от 0.5 до $1.5\text{--}2.5$ (с. 172–174). Эта система показателей актуальна до сих пор (Мищенко, 2009; Roy et al., 2017; Hewer, Brunette, 2020).

Для визуализации географических районов с климатом, в настоящее время или в перспективе пригодным для выращивания тех или иных культур, применяют ГИС-методы (Hannah et al., 2013; Nesbitt et al., 2018). ГИС-методы позволяют также определять и уточнять параметры климатической ниши вида – диапазона агроклиматических параметров, при которых возможно его развитие. Для этого анализируются данные конкретных географических точек, где встречается этот вид (Soberon, Nakamura, 2009; Peterson et al., 2015; Wójtowicz M., Wójtowicz A., 2020).

В России зона промышленного возделывания винограда (ЗПВ) сосредоточена между Черным, Азовским и Каспийским морями и в Крыму; географические координаты: $41.6\text{--}46.6^{\circ}\text{N}$, $32.5\text{--}48.5^{\circ}\text{E}$ (АгроАтлас, 2008) (рис. 1). Диапазон климатических характеристик ЗПВ на европейской территории России (ЕТР) начала XXI в.

находится в определенных Ф.Ф. Давитая (1948) пределах, значительно отступая от них только по одному показателю – минимальной температуре зимы, которая в современной зоне не опускается ниже -26°C (Чистяков, Новикова, 2020). Основным ограничением продвижения культуры на север является T_{\min} , на северо-западное побережье Каспийского моря – низкий ГТК. Если принять возможность возделывания при $T_{\min} > -35^{\circ}\text{C}$, то лимитирующими факторами на севере становятся ΣT_{10} и L_{ff} .

Предметом нашего интереса является продвижение культуры на север, поэтому ограничения, накладываемые температурами выше $35-40^{\circ}\text{C}$, не рассматривались (Leewen et al., 2013). Температура июля выше 16°C наблюдается на ЕТР южнее $60-63^{\circ}\text{N}$, этот фактор тоже не является лимитирующим и далее не рассматривается. Таким образом, к лимитирующим факторам ЗПВ на ЕТР при продвижении на север относятся ΣT_{10} , L_{ff} , T_{\min} и ГТК. Недостаток влагообеспеченности (требование ГТК > 0.5) ограничивает неполивное виноградарство на северо-восточном побережье Каспийского моря.

Целью данной работы было определение возможности продвижения на север границ ЗПВ в современных и прогнозируемых климатических условиях ЕТР.

Материалы и метод

Рассмотрена европейская территория России, условно ограниченная 63°N и 60°E . Использована программа QGIS 3.22.0¹. Анализ климата на ЕТР проведен точно, по данным 150 метеостанций Росгидромета с числом лет наблюдений более двадцати в период 1980–2019 гг. Взяты суточные данные из открытого интернет-источника (ВНИИ гидрометеорологической информации)². Для каждой точки за каждый год в программе VITIS TIME SERIES (Новикова, Лебедева, 2019) рассчитаны значения ΣT_{10} , T_{\min} , L_{ff} и ГТК и их тренды за период 1980–2019 гг.

Средние значения 1980–2019 гг. отнесены к 2000 г., рассчитаны индивидуальные для каждой точки прогнозы ΣT_{10} , L_{ff} , T_{\min} и ГТК на 2050 г., определены точки с возможностью возделывания винограда по совокупности требований, предложенных Ф.Ф. Давитая (1948) для укрывного виноградарства и с учетом особенностей современного российского виноградарства с $T_{\min} < -26^{\circ}\text{C}$. В исследовании принят уровень значимости 5 %.

Результаты

Изменения климатических факторов виноградарства на ЕТР в 1980–2019 гг.

В 1980–2019 гг. в среднем на ЕТР наблюдались рост ΣT_{10} , T_{\min} , L_{ff} и снижение ГТК. Усредненный тренд по 150 станциям составил: $\Delta \Sigma T_{10} = 11.52^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $\Delta T_{\min} = 0.02^{\circ}\text{C}/\text{год}$, $\Delta L_{\text{ff}} = 0.31 \text{ сут}/\text{год}$, $\Delta \text{ГТК} = -0.01 \text{ ед}/\text{год}$ (см. таблицу).

Сумма активных температур выше 10°C (ΣT_{10}) увеличивалась во всех исследованных точках, при этом в 144 из 150 точек достоверно. В среднем с широтой интенсивность летнего потепления уменьшается, корреляция между скоростью роста ΣT_{10} и широтой $r = -0.51$. Тренды

L_{ff} , T_{\min} и ГТК имели как положительные, так и отрицательные значения (см. таблицу, рис. 1).

При средней по исследованным станциям тенденции к увеличению T_{\min} в 48 точках тренд нулевой или отрицательный. Достоверных трендов T_{\min} всего восемь, из них два отрицательны. С широтой тренд T_{\min} увеличивается ($r = 0.52$), т. е. потепление в зимнее время интенсивнее идет на севере ЕТР. Из 61 точки, расположенной севернее 55°N , отрицательный тренд отмечается только в трех точках (см. рис. 1, б).

Продолжительность безморозного периода (L_{ff}) в среднем увеличивается, однако в 25 точках из 150 исследованных наблюдаются отрицательные тренды. Достоверных трендов всего 40, из них в 39 точках это положительные значения.

При средней тенденции к уменьшению ГТК, обусловленной активным ростом температур и в среднем отсутствием тенденции в изменении осадков, в 8 точках ГТК увеличивался. Тренды ГТК в достоверны в 20 точках, все отрицательны.

Потенциальная зона промышленного виноградарства

В современных климатических условиях, которые определены как средние значения лимитирующих факторов 1980–2019 гг., возделывание винограда без полива и при обычных мерах укрытия на зиму возможно в 36 точках из 150 изученных (рис. 2, а), включая одну точку в районе Калининграда (г. Балтийск, в 1980–2019 гг. $\Sigma T_{10} = 2567^{\circ}\text{C}$, $L_{\text{ff}} = 229 \text{ сут}$, $T_{\min} = -15^{\circ}\text{C}$, ГТК = 1.2). Если прибавить точки, в которых можно компенсировать недостаточное увлажнение (ГТК < 0.5) поливом, то их число достигнет 41 (см. рис. 2, б). Если же добавить области с зимними температурными минимумами до -35°C , то число точек возрастет до 58 (см. рис. 2, в). Теплообеспеченность вегетационного периода на ЕТР создает предпосылки продвижения культуры винограда к северу от современной предельной широты ЗПВ 46.6°N до 51.8°N уже в настоящее время, а при дополнительных мерах по укрытию на зиму до -35°C – возможно, до 53.3°N .

К 2050 г. прогнозируется ухудшение условий перезимовки на юге ЕТР, т. е. в ряде точек минимальная температура зимы опустится ниже -26°C . Но за счет продвижения тепла на север количество точек, пригодных для промышленного возделывания винограда, увеличится до 43, при дополнительных агротехнических мерах – до 56 с включением поливных виноградников (см. рис. 2, д) и до 95 с включением точек с температурами зимой до -35°C (см. рис. 2, е). Рост теплообеспеченности вегетационного периода создает предпосылки продвижения виноградарства к 2050 г. до 60.7°N . В зону виноградарства может войти Санкт-Петербург, для которого к 2050 г. прогнозируются следующие показатели: $\Sigma T_{10} = 2772^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = -18^{\circ}\text{C}$, $L_{\text{ff}} = 191 \text{ сут}$, ГТК = 1.4. Без побережья Балтийского моря самая северная прогнозируемая точка имеет широту 58.1°N .

Обсуждение

Темпы изменения климата и аномальность урожаев важнейших сельскохозяйственных культур в мире нарастают (Jägermeier et al., 2021). Однако изменение агроклиматических показателей имеет региональную специфику (Сиро-

¹ QGIS. Свободная географическая информационная система с открытым кодом. <https://qgis.org/ru/site> (дата обращения: 20.08.2021).

² ВНИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных. <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 07.06.2020).

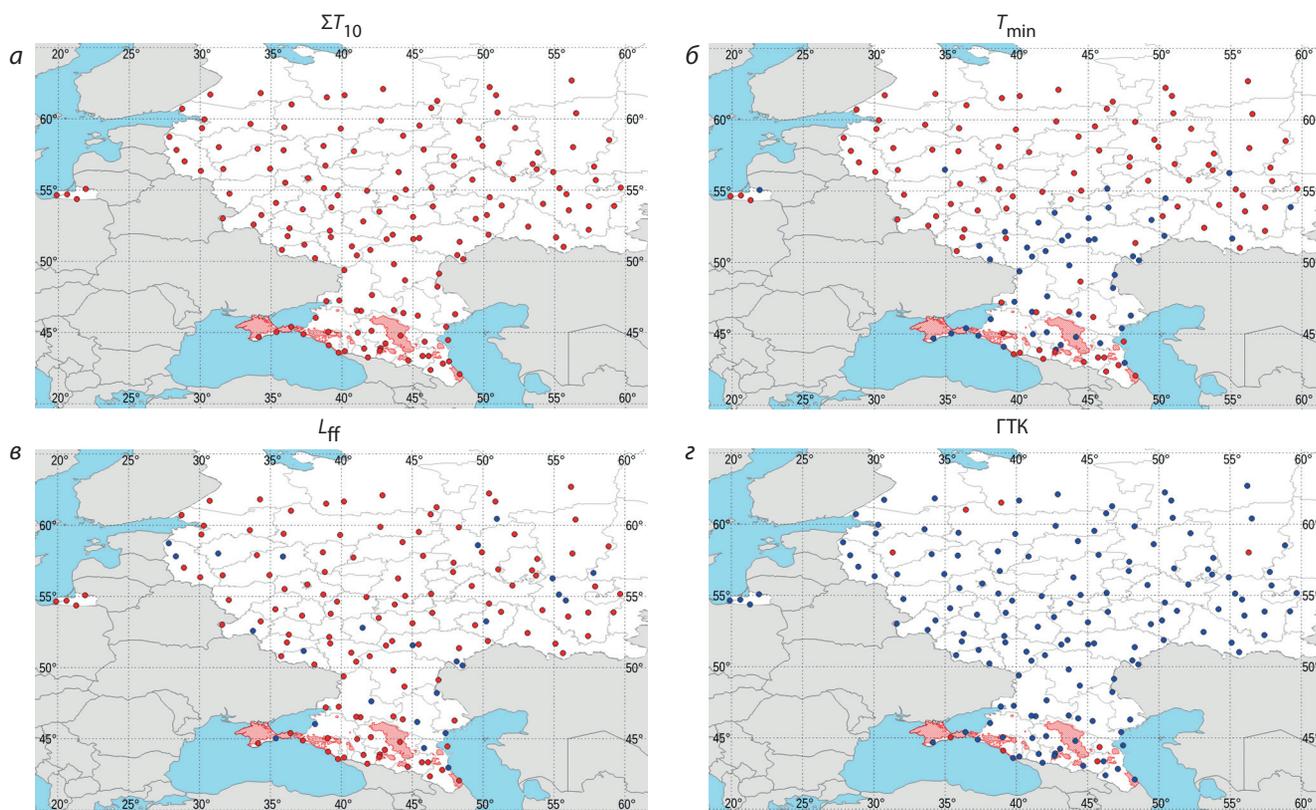


Рис. 1. Тренды лимитирующих факторов винограда на 150 метеостанциях европейской территории России: а – сумма температур выше 10 °С; б – абсолютный минимум температуры; в – продолжительность безморозного периода; з – ГТК.

Красные точки – тренды положительные, синие – тренды нулевые или отрицательные. Заштрихована зона промышленного виноградарства на начало XXI в. Карта взята с ресурса АгроАтлас (АгроАтлас, 2008), модифицирована.

Тренды лимитирующих факторов зоны промышленного виноградарства на 150 метеостанциях европейской территории России в 1980–2019 гг.

Показатель	Среднее			Тренд, ед/год		
	Среднее	Min	Max	Среднее	Min	Max
Сумма активных температур выше 10 °С	2533.8	365.1	4333.1	11.52	0.62	25.01
Средний абсолютный минимум температуры, °С	-27.4	-40.2	-4.6	0.02	-0.16	0.19
Продолжительность безморозного периода, сут	156.7	79.7	295.3	0.31	-0.57	1.19
ГТК	1.2	0.3	3.7	-0.01	-0.02	0.01

тенко и др., 2013; Newer, Brunette, 2020), что подтвердило и наше исследование. С 1970-х гг. во всех регионах ЕТР увеличиваются суммы активных температур, причем активнее на юге, но температура января быстрее растет в северных широтах. Суммы осадков имеют как положительные, так и отрицательные тенденции (Сиротенко и др., 2013). Темп изменений увеличился в начале XXI в. Так, в 1975–2004 гг. ГТК уменьшался на большей части ЕТР, за исключением нескольких регионов, а в 1980–2019 гг. мы видим реализацию прогнозов о росте засушливости на всей ЕТР (Сиротенко, Павлова, 2009). Потепление сопровождается увеличением нестабильности климата.

В 2007 г. прогнозировалось уменьшение количества зим с критическими понижениями температуры воздуха (Кокорин, Кураев, 2007), а по данным 1980–2019 гг. минимальная температура и количество опасных морозов зимой не уменьшаются, несмотря на повышение среднезимней температуры. Тенденция к повышению частоты экстремальных явлений, снижению абсолютного минимума годовой температуры отмечается во многих регионах мира на фоне общего потепления (Vucur et al., 2019).

Исследование изменений климата вблизи северной границы зоны промышленного виноградарства ЕТР – на Донской ампелографической коллекции им. Я.И. Пота-

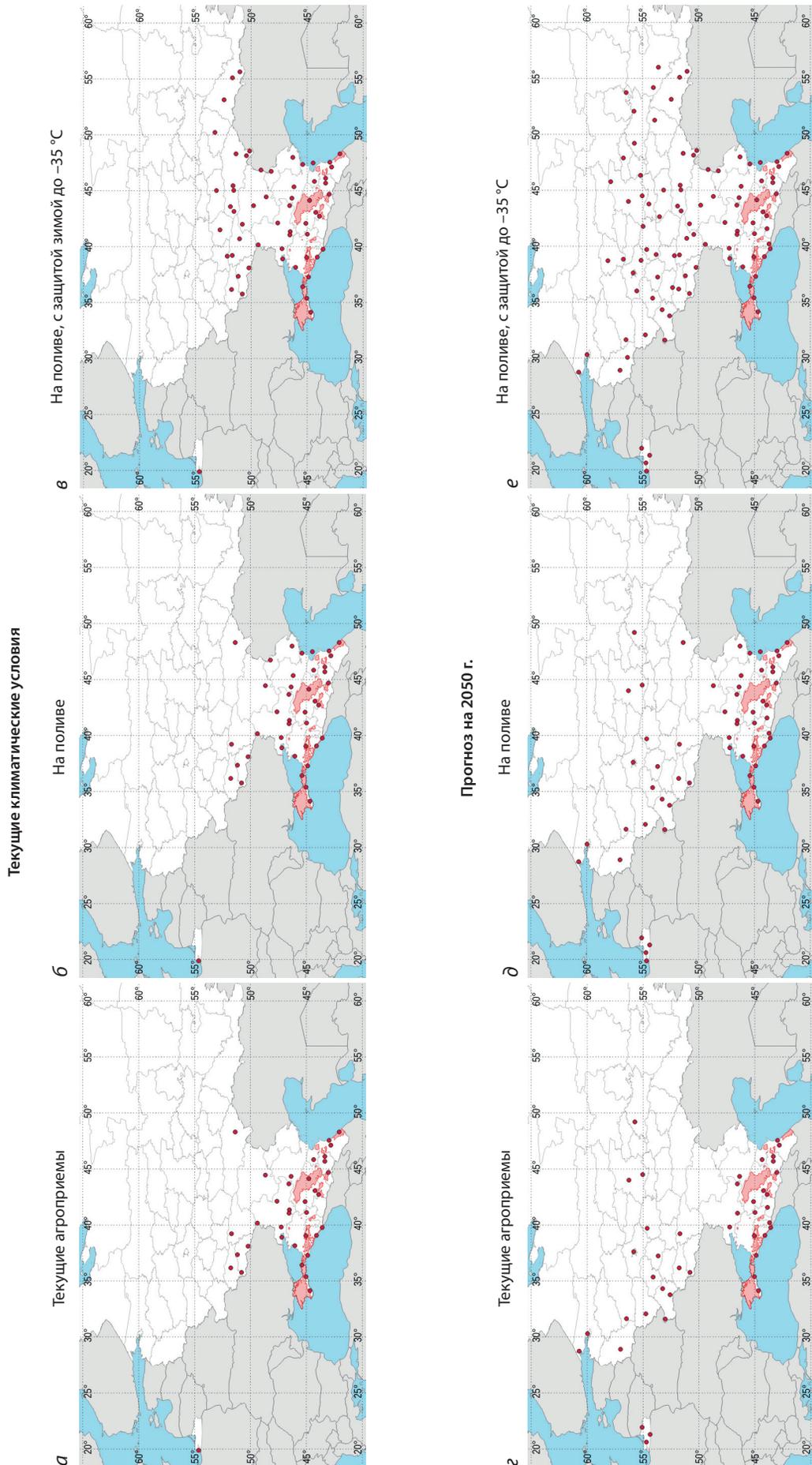


Рис. 2. Точки европейской территории России, в которых климатические условия пригодны для возделывания винограда с практикующей агротехникой (а, г), на полове (б, д), с укрытием зимой до -35°C (в, е) в современных условиях и к 2050 г. Заштрихована зона промышленного возделывания на начало XXI в.

пенко – также показало, что в 1981–2017 гг. увеличивалась сумма температур выше 10 °С (на 170 °С/10 лет), уменьшалась сумма осадков за период активной вегетации (на 21 мм/10 лет), росла средняя температура периода зимнего покоя (на 0.5 °С/10 лет) и продолжительность безморозного периода (на 0.7 сут/год). При этом количество суток за зиму с температурами ниже –20 °С и минимальная температура зимы не менялись (Новикова, Наумова, 2018; Novikova, Naumova, 2019).

Оценки климатических требований винограда, проведенные Ф.Ф. Давитая в 1930-х гг. на основе мирового опыта виноградарства, оказались актуальными для ЕТР и на начало XXI в. Несмотря на то что существуют сорта с температурными потребностями 2100 °С и ниже (Мищенко, 2009; Наумова, Новикова, 2015), ЗПВ на ЕТР ограничена значением 2500 °С, что объясняется необходимостью обеспеченности 80–90 % лет нужными сорту суммами температур для рентабельного сельского хозяйства (Лосев, Журина, 2004). Наблюдается совпадение диапазонов и остальных климатических факторов, за исключением минимальной температуры зимы, которая в современной ЗПВ на ЕТР составляет –26 °С, что выше указанной Ф.Ф. Давитая величины –35 °С. Близки к оценкам Ф.Ф. Давитая значения лимитирующих факторов зоны виноградарства в канадской провинции Квебек: $L_{ff} > 150$ сут, сумма эффективных температур (degree days, DD) выше 10 °С за апрель–октябрь $DD_{10} > 900$ °С, $T_{min} > -34$ °С, ежегодное число очень холодных (ниже –22 °С) дней – меньше 30 (Roy et al., 2017). Канадские исследователи (Hewer, Brunette, 2020) ранжируют территории по минимальной температуре зимы по степени пригодности для виноградарства: –34...–30 °С – мало подходящие условия, –30...–27 °С – средние, –27...–22 °С – хорошие, выше –22 °С – очень хорошие. Таким образом, рассмотренные варианты с температурными пределами $T_{min} > -35$ °С и $T_{min} > -26$ °С отвечают разной степени риска и экономической эффективности виноградарства. Приводимая Ф.Ф. Давитая граница $T_{min} > -35$ °С, возможно, соответствует любительскому виноградарству.

Современные изменения климата влияют на все признаки винограда (Vršič, Vodovnik, 2012; Novikova, Naumova, 2019, 2020) и требуют адаптации виноградарства и виноделия во всех виноградарских районах мира (White et al., 2006; Schultz, Jones, 2010; Jones, 2012; Hannah et al., 2013; Quénot et al., 2014; Bardaji, Iraizoz, 2015). Многие страны рассматривают продвижение на север и в горные районы как вероятный путь адаптации виноградарства к потеплению (White et al., 2006; Hannah et al., 2013; Schultze et al., 2016; Tóth, Végrári, 2016; Roy et al., 2017; Vyshkvarkova, Rybalko, 2021). Наши расчеты показали, что на ЕТР возможно существенное продвижение виноградарства к северу по сравнению с текущей широтой 46.6° N: уже при существующих сегодня климатических условиях можно возделывать виноград в районе Калининграда, а к 2050 г. – и в Ленинградской области. Напомним, что в максимум потепления XII–XIII вв. виноградарство было развито на Балтийском побережье, а также в Англии (Хромов, Петросянц, 2012).

В то же время тренды 1980–2019 гг. показывают снижение минимальной зимней температуры в южных регионах

ЕТР, что может сделать здесь виноградарство менее прибыльным из-за необходимости дополнительных мер по укрытию на зиму.

Для основных виноградарских регионов мира уменьшение осадков и рост высоких температур (Biasi et al., 2019; Santos et al., 2020) становятся факторами риска и увеличивают потребность в орошении (Hall et al., 2016; Chrysargyris et al., 2020). Снижение ГТК на всей ЕТР ограничивает неполивное виноградарство к северу от Каспийского моря, где засушливость климата будет усиливаться. Для остальной части ЕТР условия влагообеспеченности остаются благоприятными. Исследование крымских коллег подтверждает, что виноградарство в районе Севастополя в XXI в. будет возможно без орошения, но виноградные лозы могут испытывать дефицит влаги (Vyshkvarkova et al., 2021).

Краткосрочные адаптационные меры должны быть сосредоточены на конкретных угрозах, главным образом на изменениях в практике управления растениеводством (например, орошение, солнцезащитные средства для защиты листьев). Далее изменение состава и вкуса винограда и вина вызовет корректировку регионального сортимента, стиля виноделия (Mira de Orduña, 2010; Fraga, Santos, 2017). Рост теплообеспеченности инициирует продвижение виноградарства в северные и горные регионы.

Мы не рассматривали отрицательное влияние роста высоких температур, так как южная граница ЗПВ в России лежит на широте 41.6° N, что выше южной границы мирового виноградарства (30° N). Однако в перспективе сохраняется опасность избыточно высоких температур на юге ЗПВ. Кроме того, не рассмотрен важнейший вопрос соответствия качества почв ЕТР потребностям виноградарства. Эти аспекты требуют дополнительного исследования.

Заключение

Рост теплообеспеченности вегетационного периода на европейской территории России создает предпосылки для продвижения культуры винограда к северу от современной предельной широты 46.6° N до 51.8° N, а к 2050 г. – до 60.7° N. Кроме того, уже в сложившихся условиях виноградарство возможно в районе Калининграда (54° N, 20° E). При дополнительных мерах по укрытию на зиму до –35 °С потенциальная зона виноградарства достигает 53.3° N в текущих и 60.7° N в прогнозируемых условиях. Повышение засушливости климата на северо-западном побережье Каспийского моря будет уменьшать площади под неорошаемыми виноградниками. Вероятное снижение минимальной температуры зимы на юге ЕТР потребует дополнительных мер защиты зимой.

Список литературы / References

- АгроАтлас. Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения. 2008. [Электронный ресурс]. <http://www.agroatlas.ru/en/index.html> (дата обращения: 20.08.2021).
- [AgroAtlas. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds. 2008. [Electronic resource]. <http://www.agroatlas.ru/en/index.html> (Accessed August 20, 2021).

- Бараш С.И. История неурожаев и погоды в Европе. Л.: Гидрометеоздат, 1989.
[Barash S.I. History of Bad Harvests and Weather in Europe. Leningrad: Hydrometeoizdat Publ., 1989. (in Russian)]
- Давитая Ф.Ф. Климатические зоны винограда в СССР. М.: Пищепромиздат, 1948.
[Davitaya F.F. Climatic Zones of Grapes in the USSR. Moscow: Pishchepromizdat Publ., 1948. (in Russian)]
- Кокорин А.О., Кураев С.Н. Обзор доклада Николааса Стерна «Экономика изменения климата». М.: WWF России, 2007.
[The Economics of Climate Change. The Stern Review. Nicholas Stern. Cabinet Office – HM Treasury, UK, 2006].
- Лиховской В.В., Зленко В.А., Волынкин В.А., Олейников Н.П., Полулях А.А., Васильк И.А., Трошин Л.П. Морозоустойчивость крымских абортгенных сортов винограда и их гибридов. *Науч. журн. КубГАУ*. 2016;117(03):681-694.
[Likhovskoi V.V., Zlenko V.A., Volinkin V.A., Oleinikov N.P., Polylyah A.A., Vasylyk I.A., Troshin L.P. Frost resistance of Crimean indigenous grape varieties and their hybrids. *Nauchny Zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*. 2016;117(03):681-694. (in Russian)]
- Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: КолосС, 2004.
[Losev A.P., Zhurina L.L. Agrometeorology. Moscow: KolosS Publ., 2004. (in Russian)]
- Мищенко З.А. Агроклиматология. Киев: КНТ, 2009.
[Mishchenko Z.A. Agro-climatology. Kiev: KNT Publ., 2009. (in Russian)]
- Наумова Л.Г., Новикова Л.Ю. Температурный анализ межфазных периодов сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко. *Виноделие и виноградарство*. 2015;5:46-50.
[Naumova L.G., Novikova L.Yu. Temperature analysis of interphase periods of grape varieties of the collection of the All-Russian Scientific Research Institute of Viticulture and Winemaking named after Ya.I. Potapenko. *Vinodelie i Vinogradarstvo = Wine-making and Viticulture*. 2015;5:46-50. (in Russian)]
- Новикова Л.Ю., Лебедева Е.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа для прогнозирования реакции сортов винограда на изменения климата VITIS TIME SERIES». RU 2019664805 от 13 ноября 2019 г. Оpubл. 2019. Бюл. 11.
[Novikova L.Yu., Lebedeva E.G. Certificate of state registration of the computer program 'Program for predicting the reaction of grape varieties to climate change VITIS TIME SERIES' No. 2019664805 dated November 13, 2019. (in Russian)]
- Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Регрессионный анализ зимостойкости сортов винограда Донской ампелографической коллекции им. Я.И. Потапенко. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2018;4:59-61.
[Novikova L.Yu., Naumova L.G. Regression analysis of winter hardiness of grape cultivars from Ya.I. Potapenko Don ampelographic collection. *Magarach. Vinogradarstvo i Vinodelie = Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2018;4:59-61. (in Russian)]
- Рыбалко Е.А. Климатические индексы в виноградарстве. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2020;22(1):26-28. DOI 10.35547/iM.2020.22.1.005.
[Rybalco E.A. Climatic indices in viticulture. *Magarach. Vinogradarstvo i Vinodelie = Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2020;22(1):26-28. DOI 10.35547/iM.2020.22.1.005. (in Russian)]
- Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Динамика климатообусловленных изменений теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности земельной зоны России. *Труды ФГБУ ВНИИСХМ*. 2013;38:41-53.
[Sirotenko O.D., Abashina E.V., Pavlova V.N. Dynamics of climate-conditioned changes in heat supply, moisture content and productivity of the agricultural zone of Russia. *Trudy FGBU VNIISHM = Proceedings of the FSBI VNIISHM*. 2013;38:41-53. (in Russian)]
- Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Влияние изменений климата на сельское хозяйство. В: Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России. Обнинск, 2009;168-175.
[Sirotenko O.D., Pavlova V.N. The impact of climate change on agriculture. In: Development of Agricultural Meteorology in Russia. Obninsk, 2009;168-175. (in Russian)]
- Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2012.
[Khromov S.P., Petrosyants M.A. Meteorology and Climatology. Moscow: Moscow State University Publ., 2012. (in Russian)]
- Чистяков П.Н., Новикова Л.Ю. Оценка возможности продвижения на север зоны возделывания винограда на ЕТР. В: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки», Санкт-Петербург, 1–2 окт. 2020 г. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020; 275-281.
[Chistyakov P.N., Novikova L.Yu. Evaluation of the possibility of moving northward of the zone of grape cultivation in the ETR. In: Book of abstracts of the All-Russian sci. conf. with international participation "Contribution of Agrophysics to Solving Fundamental Problems of Agricultural Science", St. Petersburg, October 1–2, 2020. St. Petersburg: FGBNU AFI, 2020;275-281. (in Russian)]
- Bardaji I., Iraizoz B. Uneven responses to climate and market influencing the geography of high-quality wine production in Europe. *Reg. Environ. Change*. 2015;15:79-92. DOI 10.1007/s10113-014-0623-y.
- Biasi R., Brunori E., Ferrara C., Salvati L. Assessing impacts of climate change on phenology and quality traits of *Vitis vinifera* L.: the contribution of local knowledge. *Plants*. 2019;8:121. DOI 10.3390/plants8050121.
- Blanco-Ward D., Ribeiro A.C., Barreales D., Castro J., Verdial J., Feliciano M., Viceto C., Rocha A., Carlos C., Silveira C., Miranda A. Climate change potential effects on grapevine bioclimatic indices: a case study for the Portuguese demarcated Douro Region (Portugal). *BIO Web of Conf.* 2019;12:01013. DOI 10.1051/bioconf/20191201013.
- Bucur G.M., Cojocaru G., Antocea A.O. The climate change influences and trends on the grapevine growing in Southern Romania: a long-term study, 42nd World Congress of Vine and Wine. *BIO Web Conf.* 2019;15:01008. DOI 10.1051/bioconf/20191501008.
- Chrysargyris A., Xylia P., Litskas V., Stavrinides M., Heyman L., De-meestere K., Höfte M., Tzortzakis N. Assessing the impact of drought stress and soil cultivation in Chardonnay and Xynisteri grape cultivars. *Agronomy*. 2020;10:670. DOI 10.3390/agronomy10050670.
- Fraga H., Santos J.A. Daily prediction of seasonal grapevine production in the Douro wine region based on favourable meteorological conditions. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2017;23:296-304. DOI 10.1111/ajgw.12278.
- Hall A., Mathews A.J., Holzapfel B. Potential effect of atmospheric warming on grapevine phenology and post-harvest heat accumulation across a range of climates. *Int. J. Biometeorol.* 2016;60(9):1405-1422. DOI 10.1007/s00484-016-1133-z.
- Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V., Shaw M.R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R.J. Climate change, wine, and conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2013;110(17):6907-6912. DOI 10.1073/pnas.1210127110.
- Hewer M., Brunette M. Climate change impact assessment on grape and wine for Ontario, Canada's appellations of origin. *Reg. Environ. Change*. 2020;20(3):86. DOI 10.1007/s10113-020-01673-y.
- Houtan K.S., Tanaka K.R., Gagné T.O., Becker S.L. The geographic disparity of historical greenhouse emissions and projected climate change. *Sci. Adv.* 2021;7:eabe4342. DOI 10.1126/sciadv.abe4342.
- Jägermeyr J., Müller C., Ruane A.C., Elliott J., Balkovic J., Castillo O., Faye B., Foster I., Folberth C., Franke J.A., Fuchs K., Guarin J.R., Heinke J., Hoogenboom G., Iizumi T., Jain A.K., Kelly D., Khabarov N., Lange S., Lin T.-S., Liu W., Mialyk O., Minoli S., Moyer E.J., Okada M., Phillips M., Porter C., Rabin S.S., Scheer C., Schneider J.M., Schyns J.F., Skalsky R., Smerald A., Stella T., Stephens H., Webber H., Zabel F., Rosenzweig C. Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nat. Food*. 2021;2:873-885. DOI 10.1038/s43016-021-00400-y.

- 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.
- Leewen C., Schultz H., de Cortazar-Atauri I.G., Duchêne E., Ollat N., Pieri P., Bois B., Goutouly J.-P., Quénel H., Touzard J.-M., Malheiro A.C., Bavaresco L., Delrot S. Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2013;110(33):3051-3052. DOI 10.1073/pnas.1307927110.
- Lorenzo M.N., Taboada J.J., Lorenzo J.F., Ramos A.M. Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas, north-western Spain. *Reg. Environ. Change.* 2013;13:887-896. DOI 10.1007/s10113-012-0387-1.
- Mira de Orduña R. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Res. Int.* 2010;43:1844-1855. DOI 10.1016/j.foodres.2010.05.001.
- Mozell M.R., Thach L. The impact of climate change on the global wine industry: challenges & solutions. *Wine Econ. Policy.* 2014;3(2):81-89. DOI 10.1016/j.wep.2014.08.001.
- Nesbitt A., Dorling S., Lovett A. A suitability model for viticulture in England and Wales: opportunities for investment, sector growth and increased climate resilience. *J. Land Use Sci.* 2018;13(4):414-438. DOI 10.1080/1747423X.2018.1537312.
- 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.
- Novikova L.Y., 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;10(10):1613. DOI 10.3390/agronomy10101613.
- Peterson A.T., Papeş M., Soberón J. Mechanistic and correlative models of ecological niches. *Eur. J. Ecol.* 2015;1(2):28-38. DOI 10.1515/eje-2015-0014.
- Pipan P., Hall A., Rogiers S.Y., Holzapfel B.P. Accuracy of interpolated versus in-vineyard sensor climate data for heat accumulation modeling of phenology. *Front. Plant Sci.* 2021;12:635299. DOI 10.3389/fpls.2021.635299.
- Quénel H., Grosset M., Barbeau G., van Leeuwen C., Hofmann M., Foss C., Irimia L., Rochard J., Boulanger J.-P., Tissot C., Miranda C. Adaptation of viticulture to climate change: high resolution observation of adaptation scenario for viticulture: the ADVICLIM European project. *Bull. de l'OIV.* 2014;87(1001-1002-1003):395-406.
- Roy P., Grenier P., Barriault E., Logan T., Blondlot A., Bourgeois G., Chaumont D. Probabilistic climate change scenarios for viticultural potential in Québec. *Clim. Change.* 2017;143(1):43-58. DOI 10.1007/s10584-017-1960-x.
- 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. *Appl. Sci.* 2020;10(9):3092. DOI 10.3390/app10093092.
- Schultz H.R., Jones G.V. Climate induced historic and future changes in viticulture. *J. Wine Res.* 2010;21:137-145. DOI 10.1080/09571264.2010.530098.
- Schultze S.R., Sabbatini P., Luo L. Effects of a warming trend on cool climate viticulture in Michigan, USA. *SpringerPlus.* 2016;5(1):1119. DOI 10.1186/s40064-016-2777-1.
- Soberon J., Nakamura M. Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2009;106:19644-19650. DOI 10.1073/pnas.0901637106.
- Tóth J.P., Végvári Z. Future of wine grape growing regions in Europe. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2016;22:64-72. DOI 10.1111/ajgw.12168.
- Vrščič S., Vodovnik T. Reactions of grape varieties to climate changes in North East Slovenia. *Plant Soil Environ.* 2012;58(1):34-41. DOI 10.17221/352/2011-PSE.
- Vyshkvarikova E., Rybalko E. Forecast of changes in air temperatures and heat indices in the Sevastopol region in the 21st century and their impacts on viticulture. *Agronomy.* 2021;11:954. DOI 10.3390/agronomy11050954.
- Vyshkvarikova E., Rybalko E., Marchukova O., Baranova N. Assessment of the current and projected conditions of water availability in the Sevastopol region for grape growing. *Agronomy.* 2021;11(8):1665. DOI 10.3390/agronomy11081665.
- White M.A., Diffenbaugh N.S., Jones G.V., Pal J.S., Giorgi F. Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2006;103:11217-11222. DOI 10.1073/pnas.0603230103.
- Wójtowicz M., Wójtowicz A. The effect of climate change on linolenic fatty acid in oilseed rape. *Agronomy.* 2020;10(12):2003. DOI 10.3390/agronomy10122003.

ORCID ID

L.Yu. Novikova orcid.org/0000-0003-4051-3671
P.V. Ozerski orcid.org/0000-0001-7627-5412

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР по теме № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.11.2021. После доработки 14.01.2022. Принята к публикации 16.01.2022.