

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ
STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

УДК 551.583: 631.524.02 DOI:10.30901/2227-8834-2015-4-391-401

КАЧЕСТВО УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РФ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Л. Ю. Новикова¹, С. Н. Травина², Т. Э. Жигадло²,
Л. Г. Наумова³, Е. В. Зуев¹

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, ул. Б. Морская, д. 42, 44, Санкт-Петербург, Россия, 190000
e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

² Филиал Полярная опытная станция Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Мурманская область, г. Апатиты, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко, Новочеркасск, Россия

Актуальность. Показатели качества урожая, такие как крахмалистость картофеля, содержание белка в зерне пшеницы, сахаристость и кислотность ягод винограда, зависят от соотношения тепла и осадков в период формирования урожая. С 70-х годов XX века в России наблюдается рост температур, сопровождающийся в ряде регионов ростом осадков, что делает актуальным прогноз динамики показателей качества. **Объект.** Рассмотрена динамика содержания крахмала в клубнях картофеля сорта ‘Хибинский ранний’ в условиях Полярной опытной станции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) в 1968–2013 гг.; сахаристости и кислотности 23 сортов винограда коллекции Всероссийского научно-исследовательского института виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко (г. Новочеркасск) в 1980–2012 гг.; коллекции яровой пшеницы на четырех опытных станциях ВИР (расположенных в Ленинградской, Московской, Тамбовской областях, Краснодарском крае) в 1963–1993 гг. **Материалы и методы.** Методом регрессионного анализа выделены тренды показателей качества и выявлены определяющие динамику климатические факторы. **Результаты и выводы.** Показан рост температур и осадков во всех изученных пунктах, кроме г. Новочеркасска Ростовской области, где наблюдалось снижение количества осадков. Содержание крахмала в клубнях картофеля и сахаристость ягод винограда имели положительную тенденцию

динамики с 90-х годов. Выявлена прямая зависимость этих показателей от сумм температур выше 15°C и обратная – от сумм осадков за этот период. Кислотность ягод винограда снижалась в 90-х годах, что связано с ростом температур и снижением осадков в условиях Ростовской области. Содержание белка в зерне яровой пшеницы в 60–90-х годах XX века было обратно пропорционально количеству осадков за период с температурами выше 15°C. В Пушкинских лабораториях ВИР, самой северной из исследованных станций, содержание белка также положительно коррелировало с суммами температур выше 15°C. При дальнейшем росте температур прогнозируется увеличение крахмалистости картофеля, сахаристости ягод винограда и содержания белка в зерне пшеницы.

Ключевые слова: изменения климата, качество урожая, картофель, виноград, пшеница.

QUALITY OF CROP YIELD IN THE EUROPEAN TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

**L. Yu. Novikova¹, S. N. Travina², T. E. Zhigadlo², L. G. Naumova³,
E. V. Zuev¹**

¹ The N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,
42-44, B.Morskaya Street, St. Petersburg, Russian Federation, 190000
e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

² The N. I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station

³ Research Institute of Viticulture and Winemaking
named after Ya. I. Potapenko Novocherkassk, Russia

Background. Yield quality parameters, such as starchiness in potato, grain protein content in wheat, sugar and acid content in grapes, depend on the ratio of heat and precipitation during formation of the yield. Since the 1970s the temperatures in Russia have been rising, which is accompanied by increased rainfall in some regions. Such changes raise the importance of forecasting the dynamics of quality parameters.

Objective. Dynamics was analyzed in such crop characters as starch content in ‘Khibinskiy Ranniy’ potato variety under the conditions of Polar Experiment Station of VIR in 1968–2013; sugar content and acidity in 23 varieties of grapes from the collection of the Research Institute of Viticulture and Winemaking named after Ya. I. Potapenko (Novocherkassk) in 1980–2012; protein content in the spring wheat collection at four VIR’s stations (located in Leningrad, Moscow, Tambov Provinces, and Krasnodar Territory) in 1963–1993. **Materials and methods.** The method of

regression analysis was used to identify the trends and parameters of quality. Climatic factors essential for quality characteristics were revealed. **Results and conclusion.** The growth of temperatures and precipitation was shown for all studied sites, except Novocherkassk, Rostov Province, where decrease in precipitation was observed. The starchiness of potatoes and sugar content of grapes had a positive tendency of dynamics from the 1990s. Direct dependence of these characteristics on the sums of temperatures above 15°C and the inverse dependence on the sums of precipitation for this period were revealed. Acidity of grape berries has been decreasing since the 1990s, which is linked with the growth of temperatures and decrease in rainfall in the environments of Rostov Province. Protein content in grain of spring wheat in the 1960-90s was in inverse proportion to the sum of precipitation during the period with temperatures above 15°C. In Pushkin Laboratories, the most northern of the studied stations, protein content positively correlated with the sums of temperatures above 15°C. With a further growth of temperatures, an increase in potato starchiness, sugar content in grapes and wheat grain protein content is predicted.

Key words: climate change, quality of yield, potato, grapes, wheat.

Введение

Наблюдающиеся с 70-х годов XX века изменения климата в ряде регионов России заключаются в повышении температур, сопровождающемся увеличением количества осадков. Качество урожая культурных растений значительно колеблется от года к году в зависимости от условий тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода (Azzi, 1959; Mishchenko, 2009). В связи с этим представляет интерес оценка современных трендов показателей качества урожая сельскохозяйственных культур и сортов, особенно в условиях северных границ зон возделывания культур.

Из литературных источников известно, что крахмалистость картофеля повышается при продвижении с севера на юг (с 67°с. ш. до 50°с. ш.) в среднем на 0,5% на каждый градус широты, снижается на длинном дне, при обильном увлажнении и при недостатке влаги; ее снижают азотистые и хлорсодержащие удобрения, песчаные и болотные почвы, фитофтора (Bukasov, Kameraz, 1948). На Европейской территории России крахмалистость уменьшается с увеличением количества осадков в период клубнеобразования, возрастает с ростом суточной амплитуды воздуха за период всходы-бутонизация, продолжительности периодов бутонизация, цветение-конец вегетации. Наибольшая крахмалистость достигается при сухой солнечной осени (Polevoj, 1977; Mishchenko, 2009).

Содержание белка в зерне яровой пшеницы возрастает на территории бывшего СССР с северо-запада на юг и юго-восток с 8–10 до 18–20%, а в отдельные годы до 20–26%. (Mishchenko, 2009). Сухая и ясная погода, часто оказывающая отрицательное действие на величину урожая, способствует улучшению его качества (Azzi, 1959; Mishchenko, 2009). Процентное содержание белка в зерне яровой пшеницы, по различным литературным источникам, возрастает с увеличением средней суточной температуры воздуха за период от колошения до восковой спелости, сумм средних суточных температур выше 5°C за три месяца вегетационного периода, амплитуды суточных температур, среднего дефицита влажности воздуха; с уменьшением гидротермического коэффициента (ГТК), запасов влаги в метровом слое почвы на начало вегетации весной (Mishchenko, 2009).

Показателем качества урожая винограда является сбалансированное сочетание сахаристости и кислотности в ягодах винограда. На накопление этих веществ в ягодах влияют многие факторы, важнейшие из них – биологические особенности сорта, агрометеорологические условия выращивания винограда, экологические факторы среды и уровень агротехники. Обильные осадки способствуют увеличению урожая и снижению содержания сахара (Azzi, 1959). Для накопления сахаров оптимальной является температура воздуха 28–32°C (Lyannoy et al., 2004). В условиях Грузии Т. И. Турманидзе (Turmanidze, 1981) определил, что сахаристость ягод винограда увеличивается прямо пропорциональна сумме средних суточных температур воздуха за период от даты начала созревания ягод, средней суточной амплитуде температуры воздуха за период созревания и обратно пропорциональна числу дней с осадками более 1 мм. Д. И. Фурса (Fursa, 1976) для условий Крыма показала положительное влияние на содержание сахаров суммы прямой солнечной радиации за период начала созревания ягод-промышленная зрелость, суммы амплитуд температур воздуха за этот период, и отрицательное – средних запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы. Исследования, проведенные З. А. Мищенко (Mishchenko, 2009), доказали, что кислотность ягод винограда возрастает с уменьшением суммы температуры воздуха за август – сентябрь, при ослаблении прихода прямой солнечной радиации.

Таким образом, крахмалистость картофеля, содержание белка в зерне пшеницы, содержание сахара в ягодах винограда, по литературным данным, увеличиваются с ростом температур в период формирования урожая и уменьшаются с ростом осадков. В нашем исследовании были

изучены тенденции динамики показателей качества и климатические факторы, способствующие их изменчивости в современных условиях.

Материалы и методы

В работе анализируются результаты исследований картофеля сорта ‘Хибинский ранний’ в условиях Полярной опытной станции ВИР в 1968–2013 гг.; 23 сорта винограда коллекции Всероссийского научно-исследовательского института виноградарства и виноделия (ВНИИВиВ) им. Я. И. Потапенко за период 1980–2012 гг.; коллекции яровых пшениц в 1963–1993 гг. в четырех пунктах – на полях Пушкинских лабораторий ВИР, в бывшем Московском отделении ВИР (МОВИР), на Екатерининской (ЕОС) и Кубанской опытных станциях (КОС) ВИР. Для каждого пункта и каждого года рассчитано и исследуется среднее значение содержания белка в образцах коллекции. Использованы данные о среднесуточных температурах и суммах осадков ближайших метеостанций.

Методом регрессионного анализа выделены устойчивые тенденции (тренды) в динамике показателей качества. Методом регрессионного анализа, в том числе в разностях (Eliseeva, 2007), выявлены климатические факторы, влияющие на изменчивость показателей качества. Использована множественная линейная пошаговая регрессия с включением переменных. Исследованы предикторы: среднемесячные среднесуточные температуры, ежемесячные суммы осадков, характеристики периодов устойчивого перехода температур через 5, 10, 15, 20 градусов Цельсия; суммы осадков и температур за период вегетации и межфазные периоды. В исследовании принят 5% уровень значимости.

Результаты

Изменения агроклиматических характеристик

В процессе исследования было выяснено, что тенденции динамики показателей качества изменились в 90-е годы XX века. Поэтому в таблице представлены оценки тенденций изменений климатических факторов, оказавшихся важными для изменчивости хозяйственно-ценных признаков в анализируемых географических пунктах с 1990 г. (Novikova et al., 2013).

Таблица. Скорости изменения характеристик периода с температурами выше 15°C с 1990 г., ед./год*

Table. Rates of change in the characteristics during the period with temperatures above 15°C from 1990, units/year*

Место изучения	Сумма активных температур, °C	Осадки, мм	ГТК ₁₅
Полярная ОС ВИР, Мурманская обл.	8,62	2,33	-0,014
Пушкинские лаб. ВИР, г. Санкт-Петербург	<u>22,28</u>	<u>5,75</u>	0,020
МОВИР, Московская обл.	<u>34,86</u>	1,40	-0,019
ЕОС ВИР, Тамбовская обл.	<u>36,33</u>	<u>6,75</u>	0,009
КОС ВИР, Краснодарский край	<u>25,17</u>	2,21	0,001
ВНИИВиВ, г. Новочеркасск	<u>26,23</u>	-0,65	-0,023

*Подчеркнуты значимые тренды.

Во всех исследованных пунктах начиная с 90-х годов наблюдался рост летних температур, особенно июля – августа, а также сумм температур за периоды устойчивого перехода температур через 5, 10, 15°C, а в условиях г. Новочеркасска и КОС ВИР и через 20°C. Осадки лета увеличивались во всех исследованных пунктах, кроме ВНИИВиВ, достоверно в условиях Екатерининской ОС и Пушкинских лабораторий ВИР. В итоге отношение количества осадков к суммам температур менялось слабо, что отражено в слабых тенденциях динамики ГТК (гидротермический коэффициент, равен отношению суммы осадков за определенный период к сумме температур за этот период, уменьшенной в 10 раз).

Анализ динамики показателей качества урожая

Содержание крахмала в картофеле. Содержание крахмала в клубнях картофеля сорта ‘Хибинский ранний’ на Полярной ОС ВИР в 1968–2013 гг. имело минимум в 90-е годы (Рис. 1а, б), темпы его роста с

1990 по 2013 гг. составили 0,06% в год при среднемноголетнем значении 11,3%. Содержание крахмала увеличивалось с ростом сумм активных температур выше 15°C ($r = 0,42$), а также при более ранней бутонизации ($r = -0,40$) и уменьшалось с увеличением количества осадков в августе ($r = -0,30$), где r – коэффициент корреляции этих признаков.

Была построена регрессионная модель содержания крахмала от агрометеорологических факторов. Качество модели улучшилось при переходе к первым разностям, то есть возможно влияние на содержание крахмала неклиматических трендов. Уравнение регрессии показывает зависимость приростов содержания крахмала (ΔC_k) от приростов суммы активных температур ($\Delta \Sigma T_{акт15}$) и сумм осадков за период с температурами выше 15°C (ΔP_{15}):

$$\Delta C = 0,031 + 0,003 \Delta \Sigma T_{акт15} - 0,003 \Delta P_{15} \quad R = 0,52$$

(R – коэффициент множественной корреляции).

При сохранении тенденции роста температур в условиях Полярной станции, рассчитанных в таблице, можно ожидать дальнейшего улучшения крахмалистости картофеля со скоростью 0,02%/год.

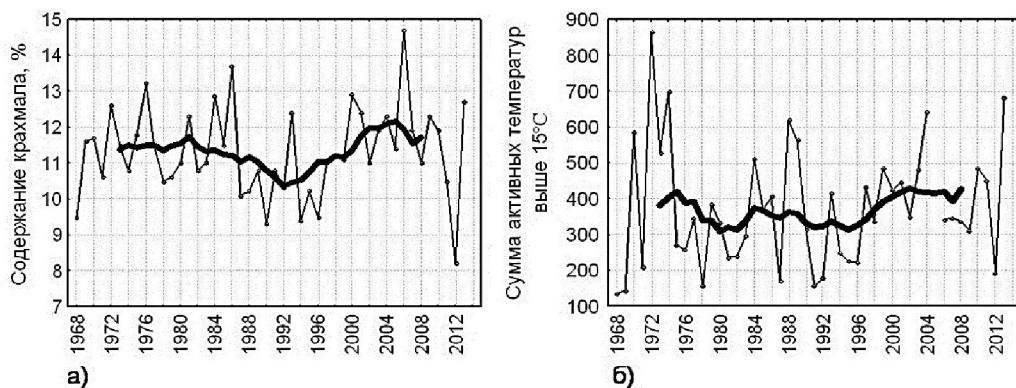


Рис. 1. Динамика: а) содержания крахмала в картофеле сорта Хибинский ранний и б) сумм активных температур выше 15°C на Полярной опытной станции ВИР, 1968–2013 гг.

Жирная линия – 11-летнее скользящее среднее.

Fig. 1. Dynamics of: a) starch content in potato var. Khibinskiy Ranniy and б) the sum of active temperatures above 15°C at the Polar Experimental Station of VIR, 1968–2013.

Bold line: 11-year moving average

Содержание белка в яровой пшенице. Регрессионный анализ показал, что в 1968–1993 гг. содержание белка в зерне «среднего образца» ($C_{\text{п}}$) в трех из четырех исследованных географических пунктов в основном зависело от осадков за период с температурами выше 15°C (P_{15}). В Пушкинских лабораториях ВИР – самом северном из исследованных пунктов – содержание белка зависело от гидротермического коэффициента за период с температурами выше 15°C (ΓTK_{15}):

$$\begin{aligned} \text{Пушкинские лаборатории ВИР: } C_{\text{п}} &= 18,72 - 2,16\Gamma\text{TK}_{15} \\ R &= 0,69 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll} \text{МОВИР: } C_{\text{п}} = 20,07 - 0,019P_{15} & & R = 0,88 \\ \text{ЕОС ВИР: } C_{\text{п}} = 18,98 - 0,014P_{15} & & R = 0,44 \\ \text{КОС ВИР: } C_{\text{п}} = 19,08 - 3,84P_{15} & & R = 0,69 \end{array}$$

Средние многолетние значения содержания белка в исследованных пунктах различались как из-за разницы в климатических условиях, так и из-за разных периодов исследования, но регрессионные зависимости имели сходные спецификации. Это позволило предложить объединенную модель всех пунктов исследования для описания реакции содержания белка на изменения погодных условий. Объединенное для четырех станций уравнение зависимости изменения содержания белка ($\Delta C_{\text{п}}$) от изменения осадков (P_{15}) и суммы температур за период устойчивого перехода выше 15°C (T_{15}):

$$\Delta C_{\text{п}} = 0,172 - 0,015\Delta P_{15} + 0,001\Delta T_{15} \quad R = 0,58$$

Полученные уравнения выявили решающую роль условий периода с температурами выше 15°C для формирования качества урожая пшеницы. Тенденции изменения содержания белка не анализировались, так как в годы исследований коллекции (1968–1993 гг.) тенденции тепло-влагообеспеченности отличались от наблюдаемых в настоящий момент. При дальнейшем росте температур прогнозируется снижение количества осадков (Gordeev, 2008), что должно привести к росту содержания белка в зерне. Однако пространственное распределение осадков пока отличается от прогнозируемого в сторону увеличения (Mishchenko, 2009).

Сахаристость и кислотность винограда. Погодно-климатическая зависимость показателей качества 23 сортов винограда была исследована нами ранее (Novikova, Naumova, 2013).

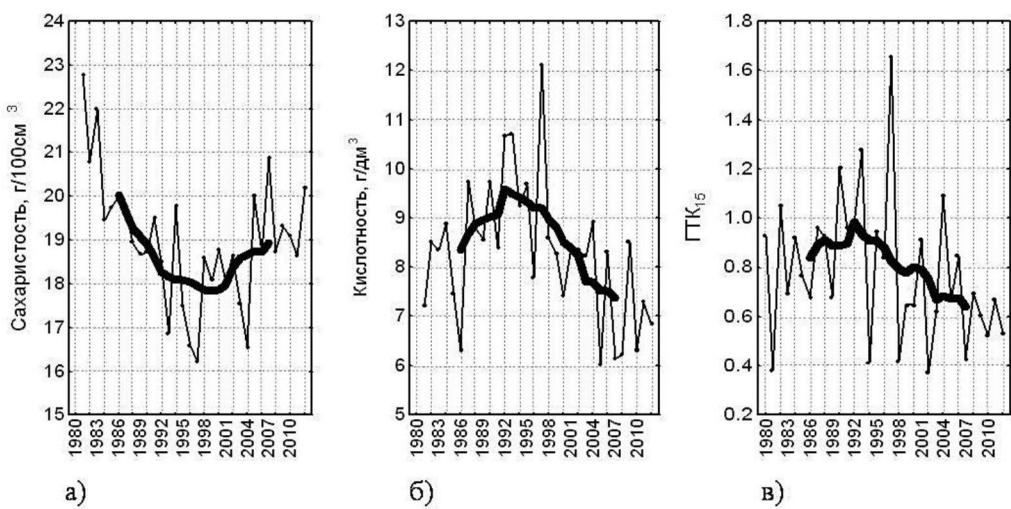


Рис. 2. Динамика: а) сахаристости, б) кислотности «среднего образца» винограда коллекции Всероссийского научно-исследовательского института виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко; в) ГТК₁₅, 1980–2012 гг., Ростовская обл.

Жирная линия – 11-летнее скользящее среднее.

Fig. 2. Dynamics of: а) sugar content and б) acidity in an “mean sample” of grapes from the collection of the All-Russian Scientific Research Institute of Viticulture and Winemaking named after Ya. Potapenko; в) ГТК₁₅, 1980–2012, Rostov Province region.
Bold line: 11-year moving average.

В 1980–2012 гг. сахаристость и кислотность ягод исследованных сортов винограда, имели нелинейную динамику: минимальные значения сахаристости наблюдались в 90-х годах, а кислотность в этот же период была максимальной. Динамика исследуемых признаков для разных сортов имела сходный характер, что позволило анализировать общие закономерности формирования этих признаков у «среднего сорта», то есть усредненные за год по всем сортам значения. Динамика сахаристости и кислотности ягод «среднего образца» приведены на рисунках 2а и 2б. С 1990 г. скорость изменения сахаристости «среднего сорта» составила 0,06 г/100 см³/год, кислотности – 0,16 г/дм³/год. Корреляция кислотности и сахаристости каждого сорта за годы исследований была отрицательна и в среднем по сортам составила – 0,42. Анализ корреляционных связей сахаристости и кислотности сортов с погодно-климатическими факторами показал, что сахаристость растет, а

кислотность падает с ростом температур воздуха и уменьшением осадков за периоды с температурами выше 10, 15, 20°С. Наиболее сильно сахаристость и кислотность изученных сортов зависели от ГТК₁₅ (Рис. 2в)

Для «среднего образца» за все годы наблюдений были получены следующие уравнения зависимости сахаристости (C_B) и кислотности (K_B) от ГТК₁₅:

$$C_B = 21,056 - 2,657\Gamma\text{TK}_{15} \quad R = 0,52$$

$$K_B = 5,575 + 3,501\Gamma\text{TK}_{15} \quad R = 0,71$$

Уравнения для скоростей изменения сахаристости (ΔC_B) и кислотности (ΔK_B) точнее описывают климатические зависимости этих признаков:

$$\Delta C_B = -0,071 - 2,599\Delta\Gamma\text{TK}_{15} \quad R = 0,76$$

$$\Delta K_B = -0,026 + 2,871\Delta\Gamma\text{TK}_{15} \quad R = 0,71$$

Исследование в разностях позволило улучшить уравнение для сахаристости «среднего сорта». Коэффициент корреляции сахаристости и ГТК₁₅ в разностях повышается с 0,52 до 0,76, что, возможно, вызвано влиянием неклиматического фактора на сахаристость. С ростом температур и уменьшением осадков можно ожидать дальнейшего роста сахаристости и уменьшения кислотности ягод винограда.

Выводы

Таким образом, для культур винограда и картофеля, выращиваемых в условиях северных границ ареала их возделывания при недостаточном теплообеспечении, важнейшим фактором изменений климата оказался рост температур. Наблюдающееся потепление положительно сказывается на качестве урожая этих культур.

References/Литература

- Azzi G. Agricultural ecology. Moscow: Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1959. 479 p. [in Russian] (Аззи Дж. Сельскохозяйственная экология. М.: Издательство иностранной литературы, 1959. 479 с.).
- Bukasov S. M., Kameraz A. Ya. Potato breeding. Moscow – Leningrad: OGIZ-Selkhozgiz, 1948, 359 p. [in Russian] (Букасов С. М., Камераз А. Я. Селекция картофеля. М.–Л.: ОГИЗ–Сельхозгиз, 1948. 359 с.).
- Eliseeva I. I., Kurysheva S. V., Kosteeva T. V. et all. Econometrics. Moscow: Finansy i statistika, 2007. 576 p. [in Russian] (Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т. В. и др.; Эконометрика. М.: Финансы и статистика, 2007. 576 с.).

- Fursa D. I. Weather, irrigation and productivity of grapes.* Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 372 p. [in Russian] (Фурса Д. И. Погода, орошение и продуктивность винограда. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 372 с.).
- Gordeev A. V. et all. Bioclimatic capacity of Russia: adaptation measures in the conditions of the changing climate.* Moscow, 2008. 207 p. [in Russian] (Гордеев А. В. и др. Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата. М., 2008. 207 с.).
- Lyannoy A. D., Kravchenko L. V., Kostrikin I. A. et all. Resistant grape varieties and ecological conditions of their placement.* Rostov-on-Don, 2004. 91 p. [in Russian] (Лянной А. Д., Кравченко Л. В., Костриkin И. А. и др. Устойчивые сорта винограда и экологические условия их размещения. Ростов-на-Дону, 2004. 91 с.).
- Mishchenko Z. A. Agroclimatology.* Kiev: KNT, 2009. 512 p. [in Russian] (Мищенко З. А. Агроклиматология. Киев: КНТ, 2009. 512 с.).
- Novikova L. Yu., Dyubin V. N., Loskutov I. G. et all. The analysis of dynamics in economically valuable characters of crop varieties under the conditions of climate change // Proceedings on applied botany, genetics and plant breeding.* 2013. Vol. 173. P. 102–119 [in Russian] (Новикова Л. Ю., Дюбин В. Н., Лоскутов И. Г. и др. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Тр. по прикл. бот., ген. и сел. 2013. Т. 173. С. 102–119).
- Novikova L. Yu., Naumova L. G. Trends of changes in sugar content and acidity of grape varieties from the collection of the All-Russian Scientific Research Institute of Viticulture and Winemaking named after Y. I. Potapenko // Winemaking and Viticulture.* 2013. N 6. P. 54–57 [in Russian] (Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Тенденции изменений сахаристости и кислотности сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им. Я. И. Потапенко // Виноделие и виноградарство. 2013. № 6. С. 54–57.).
- Polevoy A. N. Agricultural meteorology.* SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 424 p. [in Russian] (Полевої А. Н. Сельскохозяйственная метеорология. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 424 с.).
- Turmanidze T. I. Climate and grape yield.* Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. 223 p. [in Russian] (Турманидзе Т. И. Климат и урожай винограда. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 223 с.).