

УДК 634.1-519.248-004.92

DOI 10.30679/2219-5335-2021-5-71-207-218

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ КАРТ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ВКУСА ПРОДУКЦИИ

Нокрин Денис Юрьевич<sup>1</sup>

канд. биол. наук

ведущий научный сотрудник

лаборатории инструментальных

методов исследования ЮУНИИСК

e-mail: nokhrin8@mail.ru

Уфимцева Лариса Викторовна<sup>1</sup>

канд. биол. наук

ведущий научный сотрудник

зав. лабораторией инструментальных

методов исследования ЮУНИИСК

e-mail: uyniisk@mail.ru

Лёзин Михаил Сергеевич<sup>2</sup>

канд. биол. наук

зав. Челябинским государственным

плодово-ягодным

сортоспытательным участком

e-mail: lezin-misha@mail.ru

<sup>1</sup>*Федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение  
«Уральский федеральный аграрный  
научно-исследовательский центр  
Уральского отделения  
Российской академии наук»,  
Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*НПО «Сад и огород»,  
Челябинская обл.,  
Красноармейский р-н, п. Шибаново*

Вкус продукции растениеводства является основной характеристикой, определяющей её притягательность для потребителей. Поэтому на разных этапах селекционного процесса важным является грамотная процедура дегустации, результаты которой требуют статистического анализа и графического сопровождения. В статье предлагается использовать кластерные тепловые карты (ТК) для визуализации согласия экспертов при дегустации продукции. Материалом для исследования послужили опросные листы, полученные в 2020 г. в ходе оценок 10 сортов жимолости

UDC 634.1-519.248-004.92

DOI 10.30679/2219-5335-2021-5-71-207-218

## USE OF HEAT MAPS TO VISUALIZE AN EXPERT EVALUATION OF PRODUCT TASTE

Nokhrin Denis Yurievich<sup>1</sup>

Cand. Biol. Sci.

Leading Researcher

Instrumental Research Methods

Laboratory of YUNIISK

e-mail: nokhrin8@mail.ru

Ufimtseva Larisa Viktorovna<sup>1</sup>

Cand. Biol. Sci.

Leading Researcher

Head of Instrumental Research Methods

Laboratory of YUNIISK

e-mail: uyniisk@mail.ru

Lezin Mikhail Sergeyevich<sup>2</sup>

Cand. Biol. Sci.

Head of the Chelyabinsk State

Fruit and Berry Variety

Testing Plot

e-mail: lezin-misha@mail.ru

<sup>1</sup>*Federal State Budgetary  
Scientific Institution  
«Ural Federal Agrarian  
Research Center»  
of the Ural Branch of the Russian  
Academy of Sciences,  
Yekaterinburg, Russia*

<sup>2</sup>*Scientific and production association  
«Sad i Ogorod», Chelyabinsk region,  
Krasnoarmeisky district, Shibanovo*

The crop's products taste is the main characteristic that determines its appeal to consumers. Therefore, at different stages of the breeding process, it is important to have a competent tasting procedure, results of which require statistical analysis and graphics. The article proposes to use cluster heat maps (HM) to visualize the expert's agreement when tasting products. The material for the study was questionnaires obtained in 2020 during the assessments of 10 varieties of blue honeysuckle *Lonicera caerulea* L. 12 experts were involved in the tasting,

голубой *Lonicera caerulea* L. К дегустации были привлечены 12 экспертов, которые оценили сенсорные характеристики ягод, включая вкус, по пятибалльной шкале. Статистический анализ полученных данных включал расчёт коэффициента конкордации Кендалла  $W$ , расчёт средних баллов, а также построение кластерной ТК. Для группировки столбцов и строк матрицы данных в ТК применяли иерархический кластерный анализ с использованием в качестве меры сходства коэффициента корреляции Спирмена, а в качестве агglomerативного алгоритма – метода Уорда. Расчёты выполнены в пакетах DescTool и pheatmap программно-статистической среды R. В результате было установлено, что согласие экспертов в ранжировании сортов было статистически значимым ( $P < 0,001$ ), однако слабым:  $W=0,374$ . Поэтому средние баллы для сортов содержат не всю информацию, и для её расширения была построена ТК. В статье описывается процедура статистической стандартизации для цветовой раскраски ячеек карты. На основе анализа ТК обсуждаются индивидуальные особенности сорта жимолости и эксперта, группировка сортов и группировка экспертов и/или потребителей. Делается вывод, что кластерная ТК является полезным инструментом, сочетающим статистическую и графическую техники, которая полезна даже в случае отсутствия согласия экспертов.

**Ключевые слова:** ТЕПЛОВАЯ КАРТА, КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА, ДЕГУСТАЦИЯ

**Введение.** На всех этапах селекционного процесса важнейшим методом контроля является органолептический или сенсорный метод. К настоящему времени предложено не менее 26 концептуальных моделей, где в качестве главного фактора восприятия любой пищи рассматриваются её сенсорные и перцептивные характеристики: вкус, запах, аромат, текстура, цвет, размер, качество [1]. Применительно к плодовым и ягодным культурам основной сенсорной характеристикой продукта является вкус. Потре-

who evaluated the sensory characteristics of berries, including taste, on a five-point scale. Statistical analysis of the obtained data included the calculation of the Kendall's coefficient of concordance  $W$ , the average scores, as well as the construction of a cluster HM. To group the columns and rows of the data matrix in the CH, we applied hierarchical cluster analysis using Spearman's correlation coefficient as a measure of similarity, and Ward's method as an agglomerative algorithm. Calculations were carried out in the DescTool and pheatmap packages of the statistical environment R. As a result, it was found that the agreement of experts in the ranking of varieties was statistically significant ( $P < 0.001$ ), but weak:  $W=0.374$ . Therefore, the average scores for varieties do not contain all the information and a heatmap was built to expand it. This article describes a statistical standardization procedure for color-coding cells of HM. Based on the heatmap's analysis, the individual characteristics of the honeysuckle variety and the individual taste of experts, the grouping of varieties and the grouping of experts and/or consumers are discussed. It is concluded that the cluster heatmap is a useful tool combining statistical and graphical techniques that is useful even in the absence of expert agreement.

**Key words:** HEAT MAP, CLUSTER ANALYSIS, EXPERT ASSESSMENT, TASTING

бительские и маркетинговые исследования неизменно показывают, что именно вкус, в отличие от воспринимаемой пищевой ценности или ценности для здоровья, обычно является ключевым фактором, влияющим на выбор продуктов [2]. Поэтому важно уметь методологически грамотно провести оценку вкуса в ходе дегустации, а также обработать полученные данные статистически [3-4]. Закономерно, что анализ сенсорной информации оформился в самостоятельное научное направление с выделением задач оценки принятия продукции потребителем и описательного сенсорного анализа [5]. Для их решения используется специфический математико-статистический аппарат, зачастую основанный на экспертной оценке информации. При этом важным является согласие мнений экспертов, которое может быть измерено количественно и оценено статистически [4, 6].

Вместе с тем в анализе согласия экспертов не используются какие-либо графические схемы, облегчающие восприятие результатов. Также не ясно, что делать в случае отсутствия согласия экспертов, когда столь распространённый показатель как средний балл теряет своё свойство интегральной оценки. Мы предлагаем использовать в экспертных оценках специфические графики – тепловые карты (ТК). Цель данной работы заключалась в демонстрации данного подхода на примере дегустации ряда сортов жимолости.

**Объекты и методы исследований.** Материалом для исследования послужили опросные листы, полученные в 2020 г. в ходе оценок 10 сортовых образцов жимолости голубой *Lonicera caerulea* L. в лаборатории Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме: «Разработка и совершенствование методов селекционной работы, создание исходного материала и адаптивных сортов зерновых, зерно-бобовых, кормовых, плодово-ягодных, декоративных культур и картофеля».

К дегустации были привлечены 12 экспертов, которые оценили сенсорные характеристики ягод, включая вкус, по пятибалльной шкале [4]. В ходе статистической обработки использовали оценку согласованности по Кендаллу с вычислением коэффициента конкордации  $W$  [7], расчёт средних баллов, а также построение кластерной ТК. Для группировки столбцов и строк матрицы данных в ТК применяли иерархический кластерный анализ с использованием в качестве меры сходства коэффициента корреляции Спирмена, а в качестве агglomerативного алгоритма – метода Уорда [8]. Расчёты выполнены в пакетах DescTool [9] и rheatmap [10] программно-статистической среды R [11].

***Обсуждение результатов. Анализ согласия экспертов.*** В ходе статистического анализа полученных данных было установлено, что между экспертами наблюдалось статистически значимое согласие в ранжировании сортов по вкусовым качествам:  $\chi^2_{(9)}=40,38$ ;  $P<<0,001$ . В этой ситуации в качестве интегральной оценки вкуса сорта можно использовать средние баллы, которые представлены на рис. 1. Видно, что максимальную оценку получил сорт Бакчарский великан, а минимальные – образцы, находящиеся на промежуточных этапах селекционного процесса.

Вместе с тем величина коэффициента конкордации Кендалла была невелика:  $W=0,374$  при его возможных значениях от 0 (полное отсутствие согласия экспертов) до 1 (полная идентичность в ранжировании экспертами сортов). Это означает, что несмотря на показательность среднего балла, значительная часть информации по экспертным оценкам осталась невыраженной и неинтерпретированной. Поэтому мы прибегли к построению ТК, дополняющей полученные данные.

***Тепловая карта (heatmap)*** – графическое представление данных, где индивидуальные значения в таблице отображаются при помощи цвета. Термин был предложен 30 лет назад (1991 г.), хотя сама идея раскраски

ячеек на 2D-поле применялась задолго до компьютерной эпохи [12]. В современном виде их начали использовать после публикации в 1999 г. статьи М. Эйзена с соавт. [13] с описанием программы, генерирующей кластерные ТК для визуализации генетических данных. Уже на следующий год Г. Гетц с соавт. [14] подтвердили высокую эффективность совмещения одновременной кластеризации столбцов и строк матрицы данных (two-way clustering) с цветовой раскраской ячеек для интерпретации генетического исследования на микрочипах. Вслед за ними данный тип графика стал набирать популярность именно в медико-биологических исследованиях по генетике, особенно по микрочиповому анализу экспрессии генов, и менее чем за 10 лет он стал «постгенетической визуальной иконой» [15].

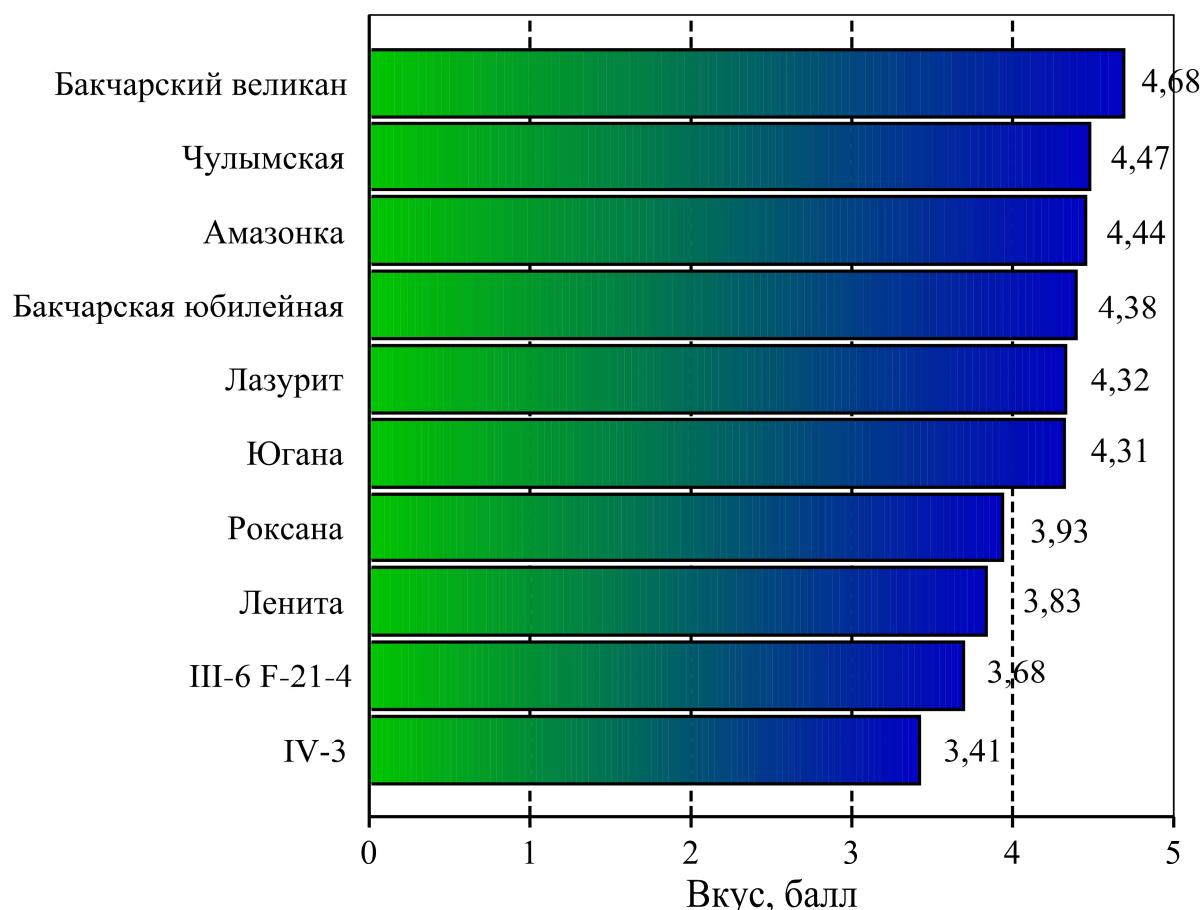


Рис. 1. Средние баллы по результатам дегустации 10 сортов жимолости

В публикациях по сельскохозяйственной тематике кластерные ТК встречаются, но также преимущественно в генетических работах [16-17]. В то

же время возможности самой ТК не ограничивается областью генетики; она успешно использовалась нами в исследовании на иммунологических микрочипах людей [18], а также в экологическом мониторинге воды и донных отложений уральских рек [19]. В случае оценок экспертов ТК способна также быть полезной и существенно повысить информативность исследования.

Рассмотрим получение цвета в ячейке ТК на примере лидера данного исследования – сорта Бакчарский великан (рис. 2).

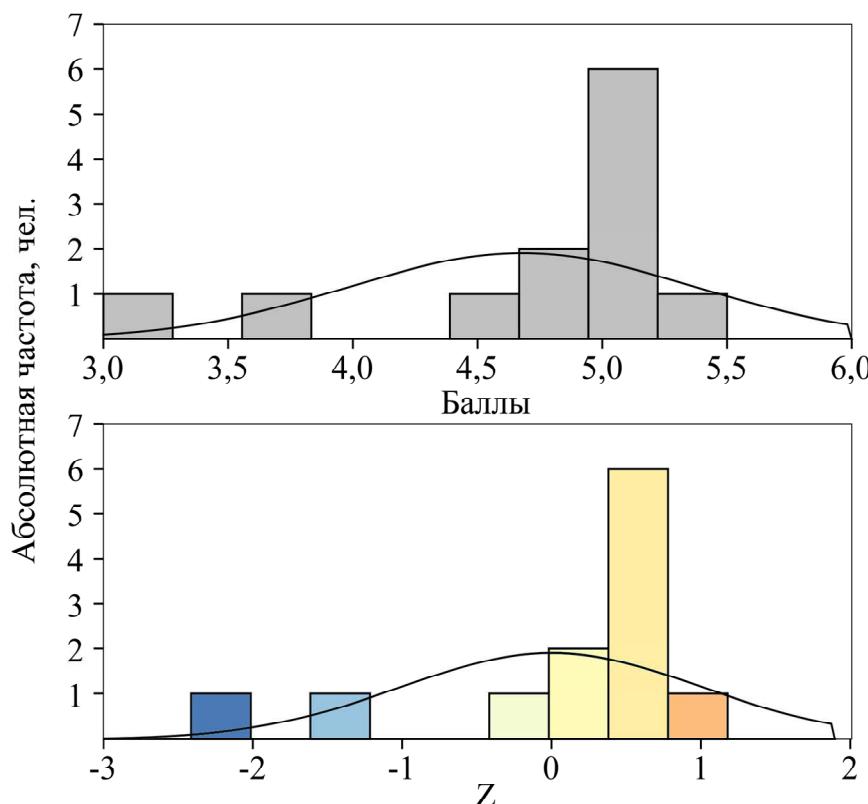


Рис. 2. Результат статистической стандартизации данных по вкусовой оценке сорта Бакчарский великан для отображения на тепловой карте (пояснения в тексте)

Сначала из каждой индивидуальной экспертной оценки данного сорта вычитается среднее по нему значение (4,68) и начало координат переносится в точку 0. Далее полученная разность делится на выборочное стандартное отклонение для этого сорта (0,696), то есть размах варьирования оценок измеряется в единицах стандартного отклонения. В результате такой процедуры статистической стандартизации осуществляется переход от

распределения оценок в баллах к распределению индивидуальных стандартизованных оценок  $Z$  с нулевым средним и единичным стандартным отклонением. В тепловой карте они окрашиваются цветами в зависимости от отклонения в меньшую или большую от нуля сторону (нами использованы соответственно синий и красный цвета), тогда как интенсивность окраски пропорциональна величине отклонения. Таким образом появляется возможность визуализировать характер оценки эксперта на фоне остальных по каждому сорту.

Далее пакетом проводится кластеризация сортов и экспертов, и индивидуальные окрашенные ячейки перемещаются в результирующем поле для совмещения результатов двойной кластеризации. В ходе такого кластерного анализа имеется возможность использовать разные меры сходства / расстояния для строк и колонок матрицы данных, а также разные агломеративные или дивизимные алгоритмы. Поскольку для оценки степени согласия экспертов мы использовали не сами значения (или их стандартизованные варианты), а ранги, то в качестве меры парного сходства нами также был выбран ранговый показатель – коэффициент корреляции Спирмена. Сама кластеризация была проведена методом Уорда, использующим статистические свойства данных при выделении групп сходных объектов [8]. Итоговая кластерная ТК представлена на рис. 3 и позволяет увидеть ряд прежде недоступных для восприятия закономерностей.

*Индивидуальные особенности сорта и эксперта.* Несмотря на самый высокий средний балл у сорта Бакчарский великан и статистически значимую общую согласованность в ранжировании сортов экспертами, имелись лица, не согласные с такой оценкой (рис. 3). Так, эксперт № 6 дал этому сорту наименьший балл (самая синяя ячейка в строке сорта), отметив, как наиболее вкусный, сорт Чулымская (самая красная ячейка в столбце эксперта). Эксперт № 10 также невысоко оценил лидирующий сорт, отдав предпочтение образцу III. Справедливо и обратное: видно, что образцы,

получившие наименьшие средние баллы, имеют своих потенциальных потребителей даже на данном этапе селекции: например, эксперт № 3 отметил экземпляр III как наиболее вкусный (наряду с сортом Лазурит), а эксперт № 1 – экземпляр-аутсайдер IV (наряду с сортом Роксана).

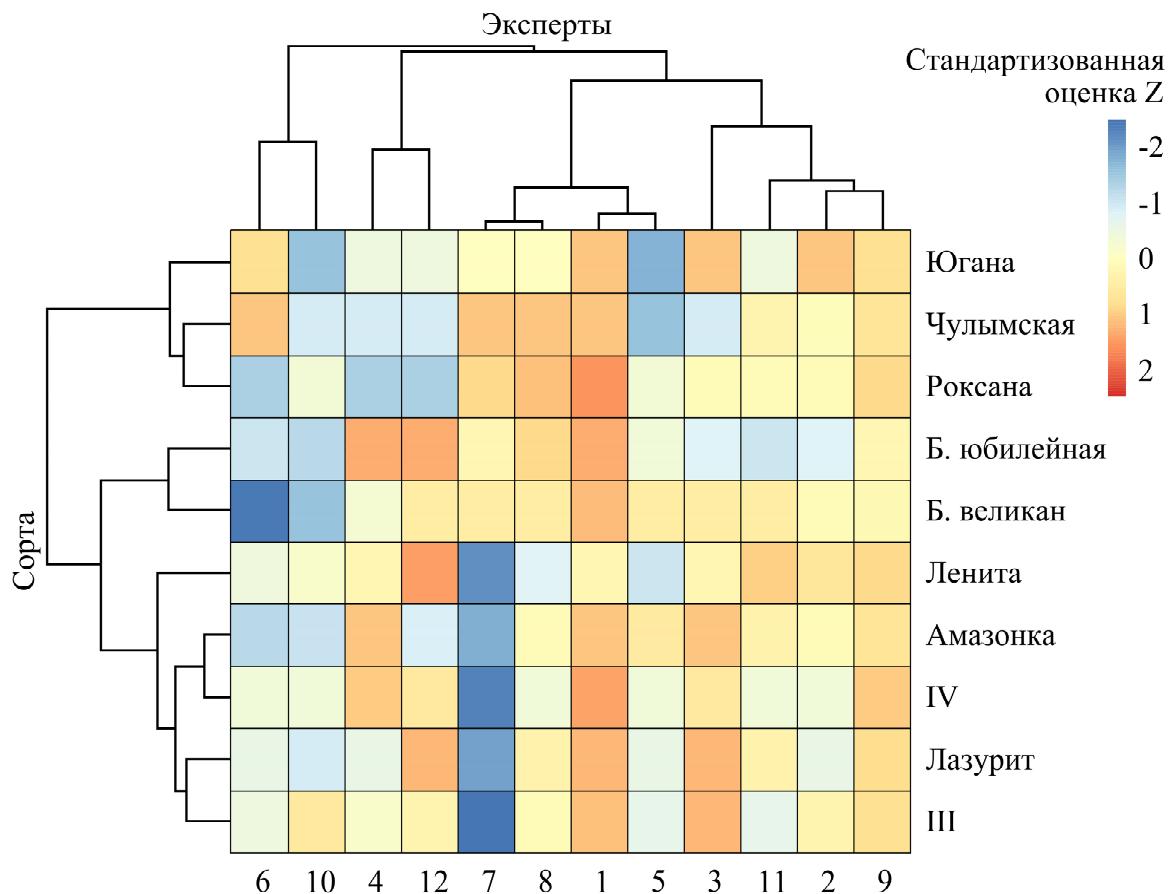


Рис. 3. Термометрическая карта, построенная по результатам дегустации 10 сортов жимолости 12-ю экспертами. Кластеры: мера сходства – коэффициент корреляции Спирмена, алгоритм – метод Уорда

Представленная ТК позволяет также выявить экспертов, которым вкус жимолости в целом не понравился (много синих ячеек в столбце) – №№ 6, 10, 5, либо наоборот понравился (только красные ячейки) – №№ 1, 9. Можно отметить и эксперта № 7, очень контрастно оценившего две группы сортов.

*Группировки сортов.* Как видно из дендрограммы сходства сортов, выделяется 2-3 группы сортов со сходными вкусовыми оценками: 1) сорта Югана, Чулымская и Роксана, 2) сорта Бакчарский великан и Бакчарская юбилейная, 3) сорта селекции Южно-Уральского научно-

исследовательского института садоводства и картофелеводства. Поскольку происхождение сортов известно, такая группировка не имеет большого научного значения, однако может быть полезна селекционерам и маркетологам для описания и продвижения сортов. Например, можно говорить о том, что селекционный образец под номером IV по вкусовым характеристикам близок к сорту Амазонка.

*Группировки экспертов и/или потребителей.* Результаты такого анализа могут представлять значительную ценность, особенно в случае отсутствия согласия экспертов или при слабой степени согласия (наш случай). Как отмечалось выше, в таких ситуациях средний балл не является показательной характеристикой. Однако сам факт группировки экспертов и/или потребителей продукции в сходные по сенсорным предпочтениям кластеры очень важен, поскольку отражает существующие в популяции группировки с разными вкусовыми предпочтениями. По мере увеличения числа участвующих в дегустации лиц соотношение таких групп в выборке будет всё точнее характеризовать популяцию и может быть выражено в процентном отношении с соответствующими доверительными интервалами и другими статистическими характеристиками. Такие группы потребителей могут рассматриваться селекционерами как фокусные группы для диверсификации селекционных усилий и целенаправленного выведения нишевых продуктов. В нашей малой выборке эксперты не сформировали чётких кластеров, хотя можно говорить о тенденции к выделению групп потребителей, которым: 1) не нравятся более сладкие сорта (№№ 6, 10, 4, 12), 2) которым нравятся сорта Бакчарский великан и Бакчарская юбилейная (7, 8, 1, 5), 3) и которые не имеют выраженных предпочтений, но тяготеют к сортам уральской селекции (№№ 3, 11, 2, 9).

*Анализ устойчивости оценок во времени.* Все описанные выше интерпретации ТК проведены по результатам однократной дегустации. Между тем в распоряжении исследователей обычно имеются многолетние ре-

зультаты таких исследований, которые также нуждаются в обобщении и визуализации. Известно, что метеорологические особенности конкретного года способны сильно влиять на качество сельскохозяйственной продукции, в том числе и на вкус. Так, ранее нами было показано, что в условиях повышенных температур ягоды жимолости имеют более высокое значение сахаро-кислотного индекса и содержание витамина С, что влияет на средний балл оценки вкуса [20]. Поэтому представляет интерес устойчивость оценок сортов в разные годы, а также выявление сходных лет по их влиянию на сенсорные характеристики продукта. Ответы на эти вопросы могут быть получены с использованием того же математического аппарата, который применялся в данной статье, а ТК помогут наглядно представить результаты многолетних исследований.

**Выводы.** Кластерная тепловая карта – полезный инструмент, сочетающий статистическую и графическую техники, позволяющий обобщать информацию по оценкам экспертов даже в отсутствие согласия последних.

Тепловая карта пригодна для выявления особенностей оценок экспертов, групп сходных по вкусовым качествам сортов, а также групп потребителей со сходными вкусовыми предпочтениями – потенциальных фокусных групп для диверсификации направлений селекционного процесса.

### Литература

1. Chen P.-J., Antonelli M. Conceptual models of food choice: influential factors related to foods, individual differences, and society // Foods. 2020. V 9. № 12/1898. P. 1–21. DOI:10.3390/foods9121898.
2. Drewnowski A., Gomez-Carneros C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review // Am. J. Clin. Nutr. 2000. V. 72. № 6. P. 1424-1435. DOI: 10.1093/ajcn/72.6.1424.
3. Личко Н.М. Стандартизация и подтверждение соответствия сельскохозяйственной продукции. М.: ДеЛи плюс, 2013. 512 с.
4. Олефирова А.П. Органолептическая оценка пищевых продуктов: Учебно-практическое пособие. Улан-Удэ: ВСГТУ, 2005. 192 с.
5. Penfield M.A., Campbell A.M. Chapter 4 - Evaluating food by sensory methods / Experimental Food Science (Third Edition). Academic Press, 1990. P. 51-77. DOI: 10.1016/B978-0-12-157920-3.50008-9.
6. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. М.: Экономика, 2011. 104 с.

7. Sokal R.R., Rohlf F.J. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. N-Y: Freeman & Co, 1995. 850 p.
8. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Пер. с англ. Дж.-О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка [и др.] / Под ред. И.С. Енюкова. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
9. Signorell A., Aho K., Alfons A. et all. Package ‘DescTools’: Tools for Descriptive Statistics Version 0.99.40. [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/DescTools/DescTools.pdf> (дата обращения: 12.05.2021).
10. Kolde R. Package ‘pheatmap’: Pretty Heatmaps Version 1.0.12. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/pheatmap/pheatmap.pdf> (дата обращения: 12.05.2021).
11. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. [Электронный ресурс]. Austria, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. URL: <https://www.R-project.org> (дата обращения: 12.05.2021).
12. Wilkinson L., Friendly M. The history of the cluster heat map // The American Statistician. 2009. Vol. 63, No. 2. P. 179-184. DOI: 10.1198/tas.2009.0033.
13. Eisen M., Spellman P., Brown P., Botstein, D. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1999. V. 95. P. 14863-14868. DOI:10.1073/pnas.95.25.14863.
14. Getz G., Erel Levine E., Domany E. Coupled two-way clustering analysis of gene microarray data // PNAS. 2000. V. 97. № 22. P. 12079-12084. DOI: 10.1073/pnas.210134797.
15. Weinstein J. A postgenomic visual icon // Science. 2008. V. 319. P. 1772-1773. DOI: 10.1126/science.1151888.
16. He T.N., Singh S. Transcriptomics study of drought stress-responsive genes in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) expressing PDH47 transgene // Academia Journal of Biotechnology. 2019. V. 11. № 7. P. 181-206.
17. Rehman F., Saeed A., Yaseen M. et al. Genetic evaluation and characterization using cluster heat map to assess NaCl tolerance in tomato germplasm at the seedling stage // Chilean journal of agricultural research. 2019. V. 79. № 1. P. 56-65. URL: DOI: 10.4067/S0718-58392019000100056.
18. Филиппова Ю.Ю., Нохрин Д.Ю., Бурмистрова А.Л. Метод иммуносигнатуры в дифференциальной диагностике расстройств аутистического спектра. Пилотное исследование // Медицинская иммунология. 2019. Т. 21. № 2. С. 303-312. DOI: 10.15789/1563-0625-2019-2-303-312.
19. Flefel H., Nokhrin D., Donnik I. Determine heavy metals in water, aquatic plants, and sediment in water systems // E3S Web of Conferences. 2020. V. 222. 02028. DOI: 10.1051/e3sconf/202022202028.
20. Уфимцева Л.В., Глаз Н.В. Влияние метеорологических условий на биохимический состав и вкус плодов жимолости // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 55. С. 151-159.

## References

1. Chen P.-J., Antonelli M. Conceptual models of food choice: influential factors related to foods, individual differences, and society // Foods. 2020. V 9. № 12/1898. P. 1-21. DOI:10.3390/foods9121898.
2. Drewnowski A., Gomez-Carneros C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review // Am. J. Clin. Nutr. 2000. V. 72. № 6. P. 1424-1435. DOI: 10.1093/ajcn/72.6.1424.

3. Lichko N.M. Standartizaciya i podtverzhdenie sootvetstviya sel'skohozyajstvennoj produkci. M.: DeLi plus, 2013. 512 s.
4. Olefirova A.P. Organolepticheskaya ocenka pishchevyh produktov: Uchebno-prakticheskoe posobie. Ulan-Ude: VSGTU, 2005. 192 s.
5. Penfield M.A., Campbell A.M. Chapter 4 - Evaluating food by sensory methods / Experimental Food Science (Third Edition). Academic Press, 1990. P. 51-77. DOI: 10.1016/B978-0-12-157920-3.50008-9.
6. Azgal'dov G.G. Teoriya i praktika ocenki kachestva tovarov. M.: Ekonomika, 2011. 104 s.
7. Sokal R.R., Rohlf F.J. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. N-Y: Freeman & Co, 1995. 850 p.
8. Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz. Per. s angl. Dzh.-O. Kim, Ch.U. Myuller, U.R. Klekka [i dr.] / Pod red. I.S. Enyukova. M.: Finansy i statistika, 1989. 215 s.
9. Signorell A., Aho K., Alfons A. et all. Package ‘DescTools’: Tools for Descriptive Statistics Version 0.99.40. [Elektronnyj resurs]. 2021. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/DescTools/DescTools.pdf> (data obrashcheniya: 12.05.2021).
10. Kolde R. Package ‘pheatmap’: Pretty Heatmaps Version 1.0.12. 2018. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/pheatmap/pheatmap.pdf> (data obrashcheniya: 12.05.2021).
11. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. [Elektronnyj resurs]. Austria, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. URL: <https://www.R-project.org> (data obrashcheniya: 12.05.2021).
12. Wilkinson L., Friendly M. The history of the cluster heat map // The American Statistician. 2009. Vol. 63, No. 2. P. 179-184. DOI: 10.1198/tas.2009.0033.
13. Eisen M., Spellman P., Brown P., Botstein, D. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1999. V. 95. P. 14863-14868. DOI:10.1073/pnas.95.25.14863.
14. Getz G., Erel Levine E., Domany E. Coupled two-way clustering analysis of gene microarray data // PNAS. 2000. V. 97. № 22. P. 12079-12084. DOI: 10.1073/pnas.210134797.
15. Weinstein J. A postgenomic visual icon // Science. 2008. V. 319. P. 1772-1773. DOI: 10.1126/science.1151888.
16. He T.N., Singh S. Transcriptomics study of drought stress-responsive genes in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) expressing PDH47 transgene // Academia Journal of Biotechnology. 2019. V. 11. № 7. P. 181-206.
17. Rehman F., Saeed A., Yaseen M. et al. Genetic evaluation and characterization us-ing cluster heat map to assess NaCl tolerance in tomato germplasm at the seedling stage // Chilean journal of agricultural research. 2019. V. 79. № 1. P. 56-65. URL: DOI: 10.4067/S0718-58392019000100056.
18. Filippova Yu.Yu., Nohrin D.Yu., Burmistrova A.L. Metod immunosignatury v differencial'noj diagnostike rasstrojstv autisticheskogo spektra. Pilotnoe issledovanie // Medicinskaya immunologiya. 2019. T. 21. № 2. S. 303-312. DOI: 10.15789/1563-0625-2019-2-303-312.
19. Flefel H., Nokhrin D., Donnik I. Determine heavy metals in water, aquatic plants, and sediment in water systems // E3S Web of Conferences. 2020. V. 222. 02028. DOI: 10.1051/e3sconf/202022202028.
20. Ufimceva L.V., Glaz N.V. Vliyanie meteorologicheskikh uslovij na biohimicheskij sostav i vkus plodov zhimolosti // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2018. T. 55. S. 151-159.