



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 273–286

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 273–286

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-3-273-286>, EDN: HERBGI

Научная статья

УДК 663.4

## Многофакторный анализ методом главных компонент качества пива с добавлением зерна и солода тритикале



А. Н. Кожухов, Н. А. Бабаков, А. Ю. Богомолов, В. В. Бахарев

Самарский государственный технический университет, Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244

Кожухов Александр Николаевич, ведущий инженер лаборатории бродильных процессов Высшей биотехнологической школы, sandro\_2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4034-5305>

Бабаков Николай Алексеевич, магистр Высшей биотехнологической школы, babakov01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-5207-3033>

Богомолов Андрей Юрьевич, доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой аналитической и физической химии, a.bogomolov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4832-638X>

Бахарев Владимир Валентинович, доктор химических наук, доцент, профессор Высшей биотехнологической школы, knilsstu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8515-9309>

**Аннотация.** Расширение ассортимента пива за счет частичной замены ячменного солода новым сырьем зерновых культур – перспективное направление развития отрасли. Многообещающей культурой, способной частично заменить ячменный солод, является тритикале. Цель работы – исследование возможности использования зерна и солода тритикале для частичной замены ячменного солода в производстве пива и оценка влияния этого сырья на физико-химические и органолептические показатели качества методом главных компонент (МГК). В качестве сырья использовали ячменный солод, зерно тритикале сорта *Стика*, хмель и дрожжи низового брожения. Для соотношений смесей ячменный солод/зерно тритикале (солод тритикале) 90/10, 85/15, 80/20, 75/25 определены физико-химические и органолептические показатели. Для образцов пива определены массовая доля этилового спирта, кислотность, цветность, содержание изогумулона, содержание диацетила, массовая доля белка и органолептические показатели. Для оценки основных факторов, влияющих на качество пива, использован МГК. Показано, что с увеличением доли тритикале в зерновых смесях увеличивается содержание белка, снижается экстрактивность, возрастает цветность и вязкость экстракта. Замена части ячменного солода на зерно и солод тритикале не нарушает корреляции между экстрактивностью и массовой долей этилового спирта. Добавка зерна тритикале снижает показатель цветности пива, добавка солода – увеличивает. По органолептическим показателям самая высокая оценка была у образца с 15% солода тритикале. Применение МГК выявило взаимосвязи между вкусовыми характеристиками пива и данными его физико-химического анализа. МГК-модель показывает многомерную природу данных, когда общая органолептическая оценка складывается из совместного вклада нескольких факторов (до четырех). По физико-химическим показателям полученные образцы пива с использованием зерна и солода тритикале полностью соответствуют светлому пиву с экстрактивностью начального сусла 11–13% согласно ГОСТ 31711-2012. Предложенный МГК может быть использован для оптимизации бродильных и других пищевых производств.

**Ключевые слова:** пиво, зерно тритикале, солод тритикале, оптимизация технологии, многофакторный анализ, метод главных компонент

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность сотрудникам филиала ООО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Балтика-Самара» за проведение анализов физико-химических показателей пива.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета.

**Для цитирования:** Кожухов А. Н., Бабаков Н. А., Богомолов А. Ю., Бахарев В. В. Многофакторный анализ методом главных компонент качества пива с добавлением зерна и солода тритикале // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 3. С. 273–286. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-3-273-286>, EDN: HERBGI

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Multivariate principal component analysis of beer quality with addition of triticale grain and malt

А. Н. Кожухов, Н. А. Бабаков, А. Ю. Богомолов, В. В. Бахарев

Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St., Samara 443100, Russia

Alexander N. Kozhukhov, sandro\_2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4034-5305>

Nikolay A. Babakov, babakov01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-5207-3033>

Andrey Yu. Bogomolov, a.bogomolov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4832-638X>

Vladimir V. Bakharev, knilsstu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8515-9309>



**Abstract.** Expanding the beer assortment by partially replacing barley malt with new types of raw materials based on grain crops is a promising direction for the industry development. A promising grain crop that can partially replace barley malt is triticale. The aim of the work is to study the possibility of using triticale grain and malt for partial replacement of barley malt in beer production and to evaluate the effect of this raw material on the physicochemical and organoleptic quality indicators using the principal component analysis (PCA). Barley malt, *Spica triticea* grain, granulated hops and bottom-fermenting yeast have been used as raw materials. Physicochemical and organoleptic indicators have been determined for grain percent mixtures 90/10, 85/15, 80/20, 75/25 barley malt/triticale grain (or triticale malt). Beer has been produced using decoction and infusion methods. The mass fraction of ethyl alcohol, acidity, color, isohumulone content, diacetyl content, mass fraction of protein and organoleptic indicators were determined for the beer samples. The PCA has been used to assess the main factors affecting the quality of beer. It has been shown that with an increase in the proportion of triticale in grain mixtures, the protein content increases, extractivity decreases, and the color and viscosity of the extract increase. Replacing part of the barley malt with triticale grain and malt does not violate the correlation between extractivity and the mass fraction of ethyl alcohol. Adding triticale grain reduces the color index of beer, while adding malt increases it. Total protein increases slightly with an increase in the share of triticale. According to organoleptic indicators, the highest score has been given to the sample with 15% triticale malt. The use of PCA revealed the relationship between the taste characteristics of beer and the data of its physicochemical analysis. The PCA model shows the multivariate nature of the data, when the overall organoleptic assessment consists of the combined contribution of several factors (up to four). According to the physicochemical parameters, the obtained beer samples using triticale grain and malt fully correspond to light beer with an initial wort extract of 11–13% according to GOST 31711-2012. The proposed principal component analysis can be used to optimize fermentation and other food production.

**Keywords:** beer, triticale grain, triticale malt, technology optimization, multivariate analysis, principal component analysis

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to the employees of the branch of Baltika Brewing Company LLC – Baltika-Samara for conducting analyses of the physical and chemical parameters of beer.

**Funding.** The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSSE-2023-0003) within the framework of the state assignment of Samara State Technical University.

**For citation:** Kozhukhov A. N., Babakov N. A., Bogomolov A. Yu., Bakharev V. V. Multivariate principal component analysis of beer quality with addition of triticale grain and malt. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 3, pp. 273–286 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-3-273-286>, EDN: HERBGI

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

В последние годы производители прохладительных слабоалкогольных и безалкогольных напитков стали уделять больше внимания расширению ассортимента за счет использования вторичных сырьевых ресурсов, новых микрородствий и нетрадиционных видов сырья [1]. В пивоваренной отрасли одним из перспективных направлений расширения ассортимента является частичная замена ячменного солода несоложеным сырьем на основе зерновых культур: пшеницы, овса, ржи, проса, гречихи и др. Использование повышенных количеств несоложенного сырья при производстве пива стало возможным благодаря применению микробных ферментных препаратов по специфичности действия схожих с ферментными системами солода [1]. Вторым многообещающим направлением являются разработки по получению солода из различных зерновых культур, который затем используется при создании новых сортов пива с частичной заменой ячменного солода. Перспективной зерновой культурой, способной частично заменить ячменный солод, является тритикале [1, 2].

Тритикале (лат. *Triticosecale*, от лат. «*tritici*» – пшеница и лат. «*secale*» – рожь) – новый

вид, созданный человеком путем объединения хромосомных комплексов двух разных ботанических родов – пшеницы и ржи. Ранее не существовавший в природе, искусственно созданный злак – тритикале – является культурой, не описываемой лишь свойствами, промежуточными между рожью и пшеницей, а имеющей свои яркие особенности [3]. Современные сорта тритикале успешно конкурируют по урожайности зерна и зеленой массы с лучшими сортами ржи, ячменя, овса и пшеницы. При этом тритикале обладает рядом уникальных агротехнических свойств: способны расти на бедных, подтопляемых и кислых почвах; хорошо переносят неблагоприятные условия перезимовки и резкие похолодания в весенне-летний период; устойчивы ко многим грибным болезням; лучше других зерновых культур подходят для малозатратных, ресурсосберегающих технологий (из-за способности усваивать больше питательных веществ из почвы и существенно меньшей потребности в химической защите) [4].

Целый ряд исследований посвящен изучению углеводного состава, состава белков и их аминокислотного состава, липидного состава тритикале и сравнительного анализа с другими зерновыми культурами [5–9]. Имеется ряд



разработок по использованию этой культуры в качестве сырья для бродильной отрасли [10–13] и получения солода для производства пива, пивных напитков и кваса [14–23].

Тритикале превосходит ячмень по общему количеству экстракта, ферментативной активности и белковому растворению. Эти показатели предполагают использование ее в качестве сырья для производства пивоваренного солода [24]. Поэтому расширение ассортимента пивоваренного сырья за счет использования тритикале является актуальной научной задачей, практически и экономически значимой, отвечающей перспективным направлениям развития пивоваренной отрасли.

Одним из важнейших факторов, определяющих качество пива, является используемое для производства сырье: солод, несоложеные материалы, ферментные препараты, хмель, пивные дрожжи и вода. Введение новых компонентов или замена части сырья на новые компоненты требует тщательного исследования его химического состава и физико-химических показателей. Технология процесса производства и качество получаемого продукта должны соответствовать нормативным документам, а потребительская оценка его вкусовых качеств определяется проведением органолептического анализа. Оптимизация качества пива требует изучения влияния на него множества различных факторов. Исследование их поодиночке чрезвычайно трудоемко и едва ли приведет к желаемому результату, поскольку многие показатели взаимосвязаны и действуют в совокупности [25]. В связи с этим планирование эксперимента и анализ получаемых результатов требуют применения специальных методов анализа многомерных данных, называемых хемометрикой [26], таких как метод главных компонент (МГК) [27]. Использование хемометрики позволяет установить основные факторы качества и их взаимозависимость, с тем чтобы правильно учитывать их влияние при разработке технологии производства.

Целью работы является исследование возможности использования зерна и солода тритикале для частичной замены ячменного солода в производстве пива и оценка влияния доли этого сырья на физико-химические и органолептические показатели качества при помощи метода главных компонент.

## Материалы и методы

Зерно озимой тритикале сорта *Спика* выведено в лаборатории селекции серых хлебов ФГБНУ «Самарский НИИСХ имени Н. М. Тулейкова» – филиал СамНЦ РАН.

Солодорощение зерна тритикале проводили по методике МЕВАК [28] в климатической камере при температуре  $14,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Образцы пива производились по отварочному и настойному способам согласно классическим технологиям приготовления пива с соблюдением всех температурных режимов и временных интервалов [29–31]. При производстве образцов пива использовали ячменный солод *Премиум* производства АО «Суффле», гранулированный хмель *Magnum* компании «BarthHaas» и пивные дрожжи низового брожения *SafLager S-23* компании «Fermentis». Образцы пива были получены путём добавления в затор разного процентного соотношения зерна/солода тритикале и ячменного солода. Содержания зерна/солода тритикале варьировалось от 10 до 25%.

Для полученных смесей ячменного солода и зерна/солода тритикале определяли следующие показатели: влажность [32], экстрактивность, кислотность [33] массовую долю белка [34], энергию и способность прорастания солода [35], массы 1000 зерен [36], органолептические показатели [37].

После приготовления затора определяли экстрактивность начального сусла (ГОСТ 12787-2021) [38]. У полученных образцов готового пива определяли следующие показатели: массовая доля этилового спирта (ГОСТ 12787-2021) [38], кислотность (ГОСТ 12788-87) [39], цветность (ГОСТ 12789-2022) [40], содержание изогумулона [41], содержание диацетила [41], массовая доля белка по Кельдалю (ГОСТ 34789-2021) [42].

Метод главных компонент – инструмент разведочного анализа данных, основной целью которого является исследование их внутренней структуры. МГК основан на декомпозиции исходной матрицы данных  $X$  ( $n \times m$ , содержащей  $n$  образцов в строках и  $m$  переменных в столбцах) на две комплементарные матрицы: счетов  $T$  ( $n \times a$ ) и нагрузок  $P$  ( $m \times a$ ) в соответствии с уравнением:

$$X = TP^T + E = \sum_{t=1}^a t_i p_i^T + E,$$



где  $a \ll n, m$  – число главных компонент (ГК);  $t_i (n \times 1)$  и  $p_i (m \times 1)$  – ортогональные/ортонормальные векторы, соответственно, составляющие матрицы Т и Р.

Продукт Т и  $P^T$  воспроизводит наиболее важную дисперсию (информацию) в X, оставляя шум (или ошибку) в матрице остатков E ( $n \times m$ ). Фактически МГК проецирует данные X на пространство ГК меньшей размерности  $a$ , где они могут быть эффективно представлены и проанализированы. Уменьшение размерности данных достигается благодаря присутствию корреляций между исходными переменными в X. По этой причине метод особенно хорошо подходит для анализа данных с большим числом взаимосвязанных переменных.

Матрицы Т и Р несут ценную информацию о внутренней структуре данных. Их интерпретация основана на фундаментальном факте, что корреляция между двумя переменными и аналогично – сходство двух образцов соответствует расстоянию между ними в пространстве ГК. Попарные графики счетов  $t_i - t_j$  часто называют «карточкой образцов» выявляющими группировки и выбросы; в особенности  $t_1 - t_2$  как передающий максимальную дисперсию. Сходным образом графики нагрузок («карта переменных») показывают корреляции между переменными. Расстояние от центра координат до образца на графике счетов или до переменной на графике нагрузок вдоль определенного ГК отражает их важность в отношении данного ГК. Сравнение соответствующих графиков счетов и нагрузок выявляет взаимосвязи между образцами и переменными. В настоящей работе МГК счета были использованы для исследования взаимосвязи образцов с целевыми параметрами качества пива. Установленные взаимосвязи позволяют интерпретировать влияние доли соложенного сырья на качество продукта и использовать эти выводы для его оптимизации.

Для МГК-анализа полученные данные были преобразованы в матрицу X таким образом, чтобы строки матрицы соответствовали пробам, а столбцы – исследуемым переменным (транспонированы). Это конвенциональное правило, принятое в большинстве хемометрических ПО. МГК проводили с использованием пакета Matlab 2020a (The MathWorks, USA) с хемометрическим тулбоксом PLS\_Toolbox v8.2 (Eigenvector Research Inc., USA).

## Результаты и их обсуждение

*Анализ физико-химических и органолептических показателей зерновых смесей ячменного солода, зерна и солода тритикале*

Были приготовлены и проанализированы 9 образцов, содержащих разные соотношения ячменного солода, зерна тритикале и солода тритикале. Полученные данные представлены в табл. 1.

Из полученных значений четырёх образцов с зерном тритикале, можно заметить возрастание влажности на 0,2% с увеличением содержания зерна тритикале в смеси. Это объясняется повышенным содержанием влаги в зерне тритикале, достигающим 11,8%. Вследствие повышения процентного содержания более влажного зернового сырья в смеси, увеличивается суммарная влажность всего образца.

Экстрактивность зерновых смесей зависит как от их влажности, так и от содержания зерна тритикале в ней. Влажность отрицательно сказывается на экстрактивности, что отчётливо видно из значений четырёх образцов с зерном тритикале. Значение экстрактивности падает с повышением содержания зерна тритикале в смеси. Это обусловлено снижением экстрактивности несоложенного сырья по сравнению с ячменным солодом. При добавлении 20% зерна тритикале показатель экстрактивности оказывается наименьшим среди всех образцов, имеющих в смеси несоложенный зернопродукт, и составляет 81,03%.

Содержание белка в солодовой смеси с повышением доли солода тритикале закономерно увеличивается вплоть до 11,6%, что может свидетельствовать о повышенном содержании белка в солоде тритикале. И это может быть причиной снижения индекса Кольбаха на 5% относительно контрольного образца, содержащего 11% белка.

Экстрактивность закономерно уменьшается, как и у четырёх образцов с зерном тритикале, с увеличением количества заменителя ячменного солода в смеси. В образце, содержащем 20% солода тритикале в смеси, значение экстрактивности наименьшее (79,88%). Следовательно, солод тритикале обладает более низкими значениями экстрактивности в сравнении с ячменным солодом.

Цветность сусла до и после кипячения прямо пропорционально увеличивается с повышением в смеси доли солода тритикале, что



Таблица 1 / Table 1

**Показатели качества образцов зерновой смеси для получения пива**  
**Quality indicators of grain mixture samples for beer production**

№	Показатель / Parameter	ГОСТ 29294-2021 / GOST 29294-2021	100 % ячменный солод / barley malt	Соотношение компонентов / The ratio of components								
				Ячменный солод / зерно тритикале, % / Barley malt / triticale grain, %	Ячменный солод / солод тритикале, % / Barley malt / triticale malt, %	90/10	85/15	80/20	75/25	90/10	85/15	80/20
1	Влажность (не более), % / Humidity (max), %	5,0	7,3	7,3	7,3	7,4	7,5	7,0	6,9	6,8	6,8	6,7
2	Белок (не более), % / Protein (max.)	11,5	11,0	11,5	11,4	11,2	11,0	11,3	11,3	11,6	11,6	11,7
3	Экстрактивность (не менее), % / Extractivity (min.), %	78	83,3	82,3	82,0	81,0	80,7	81,5	80,2	79,8	79,8	79,1
4	Запах, вкус / Smell, taste	Солодовый / malt	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper	Свойственный / proper
5	Продолжительность осахаривания (не более), мин / Duration of saccharification (max.), min	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
6	Цвет сусла (не более), EBC / Wort color (max.), EBC	5	4,3	4,3	4,2	4,1	4,0	5,2	5,5	5,9	5,9	6,2
7	Число Кольбаха, % / Kohlbach's number, %	39-41	38	35	36	38	38	37	38	33	33	32



свидетельствует о повышенной цветности солода тритикале и о более высоком содержании меланоидных соединений в данном зернопродукте в сравнении с ячменным солодом.

*Анализ физико-химических и органолептических показателей пива, полученного из ячменного солода с добавлением зерна и солода тритикале*

Образцы пива с использованием солода и зерна тритикале анализировали по следующим показателям: экстрактивность начального сусла, содержание алкоголя, кислотность, цветность, содержание изогумолона, содержание диацетила, общее содержание белка, высота пены, пеностойкость. Физико-химические показатели и органолептические оценки полученных образцов пива приведены в табл. 2.

Массовая доля этилового спирта колеблется от 4,6 до 5,0% об. и хорошо коррелируется с экстрактивностью начального сусла (исключение было только для образца с 20% зерна тритикале). Таким образом, замена ячменного солода на зерно или солод тритикале не нарушает корреляцию между массовой долей этилового спирта в полученном пиве и экстрактивностью начального сусла.

Цветность пива с использованием зерна тритикале снижается с увеличением доли зерна тритикале в зерновой смеси, вплоть до 0,5 ц.е. А у пива, с использованием солода тритикале, наоборот, возрастает и достигает значений в 2,5 ц.е. Тенденция в изменении цветности готового пива хорошо коррелируется с характером изменения цветности сусла до и после кипячения (см. данные по цветности в табл. 1). Таким образом, добавление зерна и солода тритикале по-разному влияет на цветность готового пива.

Пеностойкость пива зависит от наличия поверхностно-активных веществ в продукте, к которым относят полипептиды и горькие вещества хмеля. Следовательно, по количеству общего белка и содержания изогумолона в напитке можно судить о пеностойкости получаемого продукта. Так, образцы пива, приготовленные с добавлением 25% солода или зерна тритикале и имеющие наивысшие значения содержания изогумолона в 21,9 и 30,9 мг/л, обладали наибольшей пеностойкостью, составляющей 5 мин.

*МГК-анализ данных органолептического исследования*

Для установления взаимосвязей между отдельными органолептическими оценками

качества тритикалиевого пива была построена МГК-модель на данных панельного тестирования, представленных в табл. 2 (строки 9–16). Наиболее информативная ГК1, отражающая 73,6% общей дисперсии данных, главным образом говорит о том, что пиво с высокими добавками зернового сырья (расположены слева) сильно отличается от других проб в органолептическом восприятии. Это видно из графика счетов ГК1–ГК4, который представлен на рис. 1.

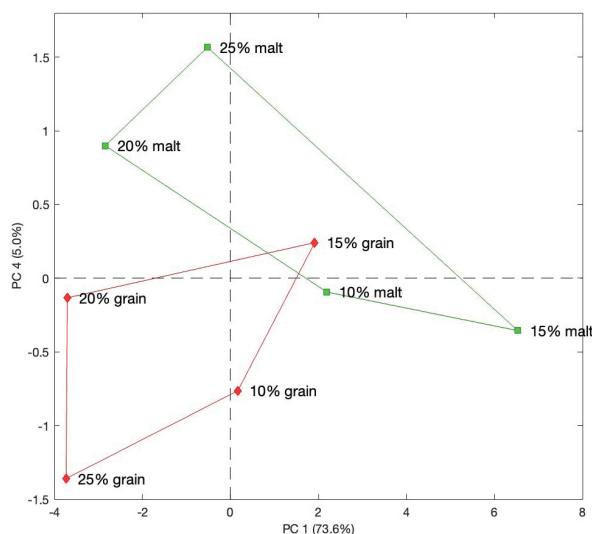


Рис. 1. График счетов ГК1–ГК4 для МГК-модели данных органолептического исследования проб тритикалиевого пива. В скобках на осах указана доля дисперсии данных, описываемая соответствующей ГК (цвет онлайн)

Fig. 1. Graph of the PC1–PC4 scores for the PCA model of the organoleptic study data of triticale beer samples. The proportion of data dispersion described by the corresponding PC is indicated in brackets on the axes (color online)

Наилучшее разделение классов тритикалиевого сырья «соложеное/несоложеное» достигается именно при сочетании главных компонент 1 и 4 (ГК4 описывает около 5,0% дисперсии данных). Основное направление четвертой главной компоненты МГК-модели задается именно разницей проб с максимальным содержанием сырья разного вида – соложенного и несоложеного. Пиво со средним содержанием зернового сырья (15%) в целом не сильно отличается от проб на соложеном сырье и находится в середине противоположного класса (см. рис. 1).

Компоненты ГК2 (13.2%) и ГК3 (9.8%) не показывают столь явной связи с органолептическими оценками проб. Для более детального изучения взаимосвязей органолептических



Таблица 2 / Table 2

**Физико-химические показатели и органолептические оценки качества пива на основе зерновых смесей ячменного солода, зерна и солода тритикале**  
**Physicochemical parameters and organoleptic quality assessments of beer based on grain mixtures of barley malt, triticale grain and malt**

№	Показатель / Parameter	ГОСТ 31711-2012 / GOST 31711-2012	Соотношение компонентов / The ratio of components						
			Ячменный солод / зерно тритикале, % / barley malt / triticale grain, %			Ячменный солод / солод тритикале, % / Barley malt / triticale malt, %			
			90/10	85/15	80/20	75/25	90/10	85/15	80/20
<b>Физико-химические показатели / Physico-chemical parameters</b>									
1	Экстрактивность начального сусла, % / Extractivity of the initial wort, %		8-22	12,1	11,50	11,95	12,4	11,7	12,00
2	Объёмная доля спирта (не менее), % / Volume fraction of alcohol (min.), %	4,0	5	4,64	4,07	4,9	4,7	4,67	4,66
3	Кислотность (не более), к. ед. / Acidity (max.), a. un.	3,2	2,0	2,1	1,6	2,2	1,9	2,3	2,0
4	Цвет, ц.е. / Colour c. i.u.	0,2-2,5	0,8	0,70	0,65	0,5	1,1	1,7	2,4
5	Содержание изогумулона, мг/л / Isohumulone content, mg/l	-	12,5	15,7	15,4	30,9	16,5	11,5	16,7
6	Содержание диацетила, мг/л / Diacetyl content, mg/l	-	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	0,04	0,08
7	Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	-	60,0	59,0	63,7	64,7	57,0	56,0	64,4
<b>Органолептические оценки / Organoleptic assessments</b>									
9	Пеностойкость, мин / Foam resistance, min		3	4	4	5	5	4	3
10	Горечь, баллы / Bitterness, points	-	6	6	3	3	7	8	3
11	Цвет, баллы / Color, points	-	5	4	5	6	4	8	4
12	Насыщенность CO <sub>2</sub> , баллы / CO <sub>2</sub> saturation, points	-	4	6	5	5	5	6	4
13	Мутность, баллы / Turbidity, points	-	6	6	3	5	7	7	4
14	Аромат, баллы / Flavor, points	-	5	6	4	3	6	8	5
15	Прозрачность, баллы / Transparency, points	-	5	7	4	3	6	9	4
16	Общая оценка, баллы / Overall score, points	-	4,8	5,8	4,1	4,3	5,8	7,5	4,3



параметров и их влияния на отдельные пробы рассмотрим биплоты – двойные (наложенные) графики разброса счетов и нагрузок (рис. 2). На первую ГК основное влияние оказывают Прозрачность и Горечь. В меньшей степени – Мутность и Аромат. Все эти переменные, в противоположность устойчивости пены, вкладывают в общую положительной оценкой вкусовых качеств пива. Параметры Цвета и Насыщенности почти не влияют на общее восприятие по ГК1. Можно предположить, что хорошее пенообразование связано с определенными вкусовыми дефектами, например, недостаточным ароматом. А вот свойство Прозрачности (Мутности) напитка не вредит его потребительским качествам. Насыщенность  $\text{CO}_2$  и визуально воспринимаемый Цвет противоречат друг другу и образуют таким образом направление второй ГК. Типичными примерами в этом аспекте являются пробы, содержащие солод из тритикале в количестве 10% (относительно невысокое ощущение  $\text{CO}_2$ ) и 25% (ярко выраженная цветность – 8, см. табл. 1). Ортогональность этих параметров остальным и близость к центру координат по оси ГК1 говорит о том, что они оказывают небольшое положительное влияние на общую оценку вкусовых качеств продукта. ГК3 (см. рис. 2, б) говорит о том, что высокая Мутность, более характерная для солодового сырья из тритикале (пробы 25% и 10%), показывает негативную корреляцию с Насыщенностью  $\text{CO}_2$  и воспринимаемой Цветностью, что логично, особенно в последнем случае. Наконец, ГК4 показывает, что именно Аромат является отличительной особенностью солодового сырья тритикале, ответственной за разделение классов на рис. 2.

В целом следует отметить высокую контрастность МГК-модели, построенной на органолептических данных, где первая главная компонента описывает основные параметры, определяющие высокую вкусовую оценку пива – аромат в сочетании с ярко выраженной прозрачностью (или, напротив, мутностью). При этом устойчивая пена вносит лишь небольшой отрицательный вклад в общий балл. Следующие 3 главные компоненты (ГК2-4), составляющие лишь 27% всей информации дают важные, но дополнительные сведения о взаимосвязи вкусовых параметров по данным тестирования.

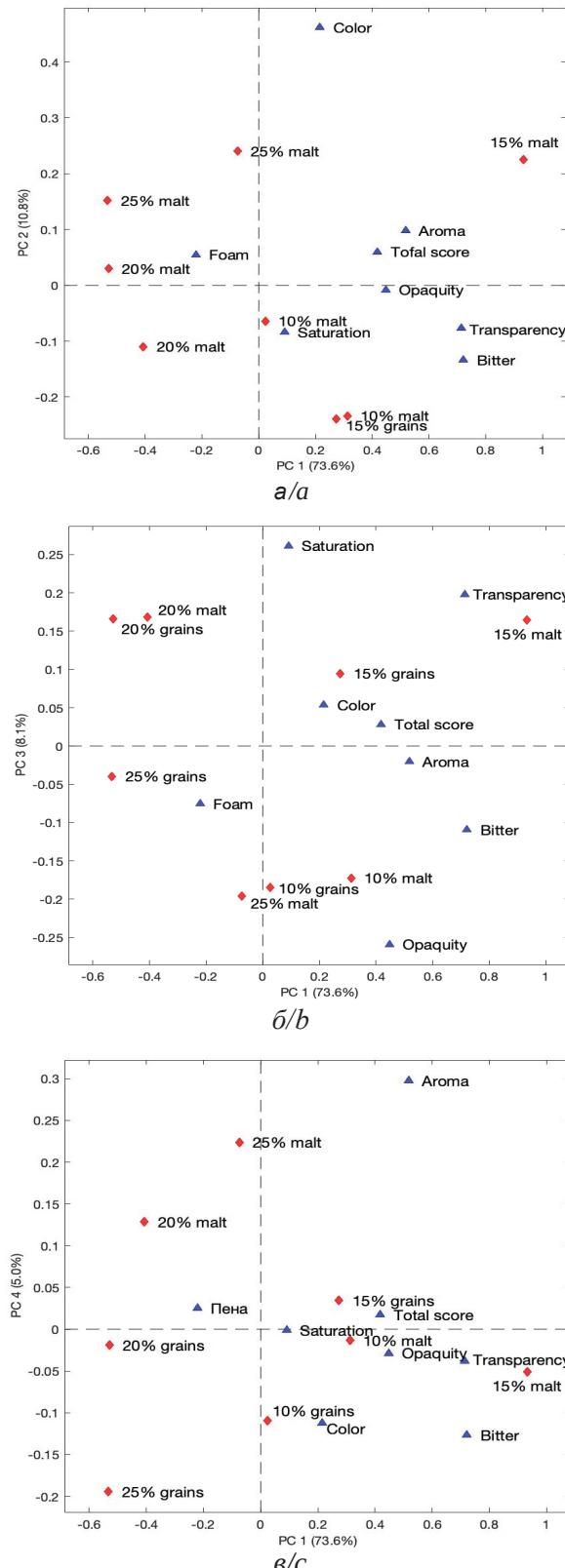


Рис. 2. Совмещенные графики счетов и нагрузок МГК-модели органолептических данных: а – ГК1 – ГК2; б – ГК1 – ГК3; в – ГК1 – ГК4

Fig. 2. Combined graphs of scores and loadings of the PCA model of organoleptic data: a – PC1 – PC2; b – PC1 – PC3; c – PC1 – PC4



### МГК-анализ данных физико-химических методов

График разброса счетов МГК-модели на данных физико-химических методов исследования (строки 1–7 см. табл. 2 с добавленной к ним обобщенной органолептической оценкой – строка 16) представлены на рис. 3.

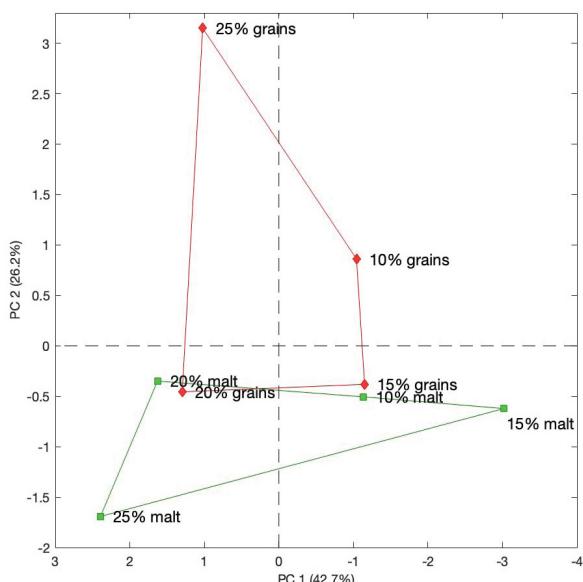


Рис. 3. График разброса счетов МГК-модели для данных физико-химического исследования, включая обобщенную органолептическую оценку

Fig. 3. Scatter plot of the PCA model scores for the physico-chemical study data, including the generalized organoleptic assessment

Полные органолептические данные не могут быть объединены с физико-химическими параметрами в одной МГК-модели из-за их слишком различной природы. Кроме того, высокий разброс субъективных оценок тестеров панели снижает общую точность модели, а следовательно, ее интерпретационные и прогностические возможности. Включение в модель обобщенной оценки результатов органолептических тестов в виде единой переменной является, таким образом, разумным компромиссом, позволяющим проследить основные взаимосвязи различных подходов к оценке качества пива.

Как и в случае органолептических данных, для основного анализа взаимосвязей достаточно четырех ГК, общая информативность которых составляет 92.2% (дисперсия, покрываемая проекцией данных на четырехмерное пространство первых главных компонент). МГК-модель, в отличие от построенной на

органолептических данных, более размыта (менее контрастна), учитывая, что ГК1 описывает лишь 42.7% дисперсии данных. Это свидетельствует о тесной взаимосвязи физико-химических параметров.

Важно отметить, что разделение классов «сложенное/несложенное» тритикалевое сырье достигается уже на попарной проекции первых двух ГК (см. рис. 3). Почти полное разделение классов в пространстве главных компонент принципиально разных данных (см. рис. 1 и 3) говорит о том, что классы объективно различны по своим свойствам, выявляемым как физико-химическими методами, так и органолептически. ГК1 имеет сходную трактовку с данными органолептического анализа (см. рис. 1). Ее направление в целом определяется содержанием тритикалевого сырья – от высокого к низкому (справа налево), независимо от использования солода. ГК2 при этом выявляет существенные различия между свойствами проб с высоким содержанием тритикалевого сырья, показывая, что при небольших добавках тритикале – до 15% – разница между солодом и зерном не так существенна, как при 25%-ной добавке.

Взаимосвязь проб с измеряемыми параметрами представлена попарными графиками счетов-нагрузок на рис. 4. Первая ГК во многом определяет вкусовые параметры. Причем содержание белка (общее), диацетила и изогумулона отрицательно влияет на вкус пива (по оси ГК1 эти переменные находятся с противоположной стороны от Общей оценки тестеров). Наиболее «вкусными» с точки зрения графика ГК1–ГК2 (см. рис. 4, а) являются сорта с невысоким содержанием сырья тритикале (10–15%), независимо от его природы. Кислотность имеет положительную корреляцию со вкусом по ГК1, но отрицательную по ГК2 (см. расположение соответствующих переменных на рис. 4, а). Переменные Цвет, Алкоголь (содержание этанола) и Экстрактивность занимают положение близкое к нулю, то есть не оказывают существенного влияния, по крайней мере, в факторе, описываемом ГК1. Однако они вместе с кислотностью и содержанием изогумулона оказывают явно отрицательный эффект по ГК2 (26.2%). В этом аспекте положительным параметром является только Цветность, в то время как содержание белка и диацетила по ГК2 не проявляются. Заметим, Белок и Диацетил, а также Алкоголь и Кислотность образуют пары

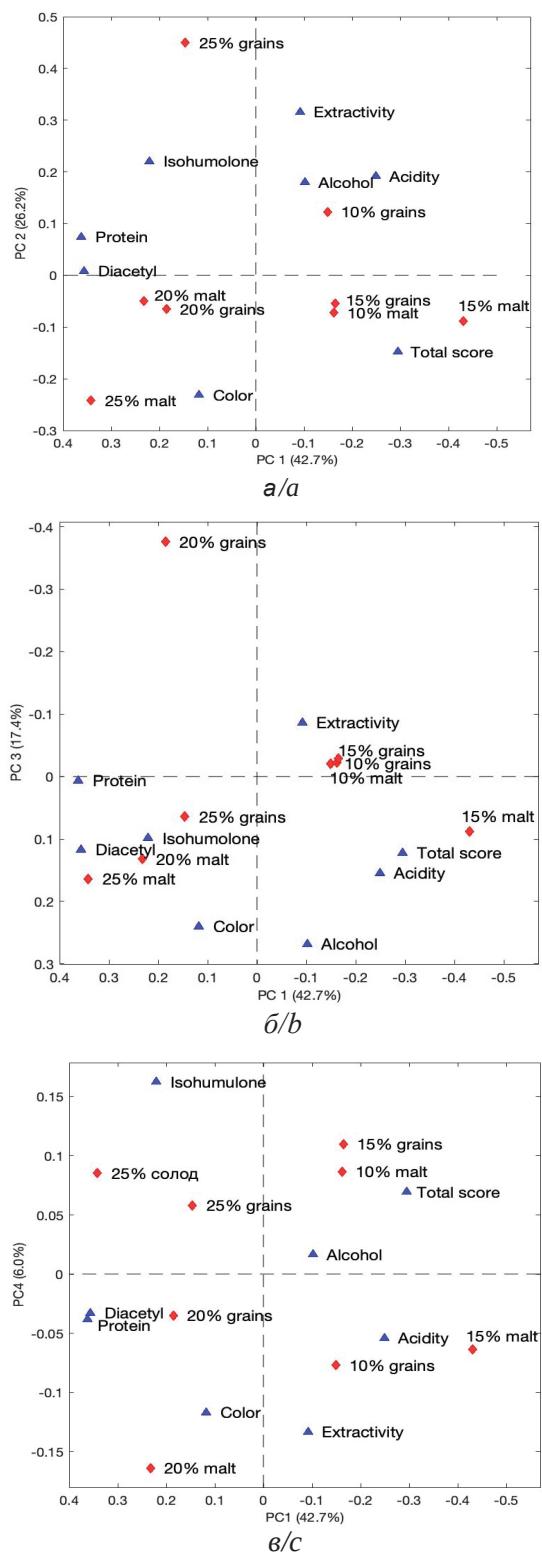


Рис. 4. Совмещенные графики счетов-нагрузок МГК-модели для данных физико-химического исследования, включая обобщенную органолептическую оценку:

а – ГК1-ГК2; б – ГК1-ГК3; в – ГК1-ГК4

Fig. 4. Combined graphs of the scores-loads of the PCA model for the physicochemical study data, including the generalized organoleptic assessment: а – PC1-PC2; б – PC1-PC3; в – PC1-PC4

(точки близко расположены друг к другу на см. рис. 4, а), что означает совокупное сходство этих свойств. Третья ГК (см. рис. 4, б) описывает 17,4% общей дисперсии данных. Она в основном определяется экстрактивностью сусла, которая оказывается характерной для проб с зерновой добавкой и вносит отрицательный вклад во вкусовое восприятие продукта. Переменная Экстрактивность отрицательно коррелирует с насыщенным цветом (Цветность) и крепостью (Алкоголь). ГК4 описывает лишь 6% общей информации, то есть рассматривая этот фактор с точки зрения вкуса пива, можно говорить лишь о нюансах. В этом случае положительный вклад в общую оценку экспертов вносит Изогумулон. Эта переменная далеко отстоит от всех остальных по оси ГК4. Зависимости проб от состава исходного сырья при этом не наблюдается.

Все четыре рассмотренные ГК являются «вкусовыми» компонентами, поскольку значение переменной Общая оценка органолептического анализа значительно отклоняется от нуля по любой из этих осей на графике (см. рис. 4), но вклад их в общее восприятие различен и должен сопоставляться со значением дисперсии соответствующей переменной. Поэтому именно комбинация ГК1-ГК2 (суммарная дисперсия около 69%). Из рис. 4, а можно сделать вывод о некотором предпочтении добавок тритикале, в особенности солодового, причем в умеренном количестве – 10–15%. Проба с добавкой 15% солода тритикале оказалась наиболее предпочтительной, поскольку находится вблизи переменной Общая оценка на рис. 4, а. Если рассматривать пространство всех четырех ГК, то лишь общее содержание белка (переменная Белок) ни по одной из компонент не обнаруживает положительной корреляции с приятным вкусовым восприятием.

В целом же выявленная картина показывает многофакторность вкусового восприятия. Одни и те же химические и физические компоненты пива могут иметь и положительное, и отрицательное влияние на вкус продукта в зависимости от содержания других. Кроме того, вкусовые предпочтения у людей (в данном случае – экспертов) могут отличаться. МГК-анализ помогает выявить скрытые закономерности в данных и учесть их в разработке новых сортов продукта, причем органолептический и физико-химический анализ несут комплементарную информацию и должны проводиться совместно.



## Выводы

Проведенные исследования показали, что физико-химические и органолептические показатели зерновых смесей с частичной заменой ячменного солода на зерно и солод тритикале могут быть использованы для производства пива. Показано, что с увеличением доли тритикале в зерновых смесях увеличивается содержание белка, снижается экстрактивность, возрастает цветность и вязкость экстракта. Замена части ячменного солода на зерно и солод тритикале не нарушает корреляции между экстрактивностью начального сусла и массовой долей этилового спирта в готовом пиве. Добавление зерна тритикале снижает показатель цветности пива, добавление солода тритикале – увеличивает. Общий белок незначительно возрастает с увеличением доли тритикале. По органолептическим показателям самая высокая оценка была у образца с 15% солода тритикале.

По физико-химическим показателям полученные образцы пива с использованием зерна и солода тритикале полностью соответствуют светлому пиву с экстрактивностью начального сусла 11–12% и 12–13% согласно ГОСТ 31711-2012.

Метод главных компонент является полезным инструментом исследования технологических процессов приготовления пива и других продуктов биотехнологии. Благодаря учету множественных корреляций между измеряемыми параметрами как физико-химического, так и органолептического исследования, МГК-анализ позволяет адекватно оценить сложность исследуемой системы и получить углубленные знания о взаимосвязях между отдельными переменными и образуемыми ими факторами, влияющими в конечном счете на вкус пива. МГК способен формулировать обобщенные выводы, которые могут быть использованы как практические рекомендации для усовершенствования технологии производства и качества продукта.

Использованная в настоящей работе комбинация анализа данных органолептического тестирования, с одной стороны, и физико-химического исследования – с другой, важна для установления химической природы вкусового восприятия. Показано, что правильное сочетание разнородных переменных в одной

МГК-модели (в данном случае – суммарной органолептической оценки вместе с физико-химическими переменными) позволяет получить больше полезной информации о процессе, чем каждое исследование в отдельности.

Предложенный анализ данных методом главных компонент может быть использован для оптимизации бродильных и других пищевых производств.

## Список литературы

1. Косминский Г. И. Научно-практические основы совершенствования технологии солода, пива и напитков брожения с использованием нетрадиционного сырья и новых культур микроорганизмов: дис. ... д-ра техн. наук. Могилев, 2001. 403 с.
2. Баязитова М. М. Исследование солодовенных свойств зерна тритикале и разработка технологии нового сорта пива: дис. ... д-ра филос. Алматы, 2019. 169 с.
3. Пащенко Л. П. Тритикале: состав, свойства, рациональное использование в пищевой промышленности. Воронеж : ИПФ «Воронеж», 2005. 207 с.
4. Mergoum M., Singh P. K., Pena R. J., Lozano-Del Rio A. J., Cooper K. V., Salmon D. F., Gomez Macpherson H. Triticale: A ‘new’ crop with old challenges // Cereals / ed. by M. J. Carena. N. Y. : Springer, 2009. P. 267–287. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9_9)
5. Blazek J., Copeland L. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content // Carbohydrate Polymers. 2008. № 71. P. 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
6. O'Brien L. Genotype and environment effects on feed grain quality // Australian Journal of Agricultural Research. 1999. № 50. P. 703–719.
7. Chun-Yan Li, Wei-Hua Li, Lee B., Laroche A., Lian-Pu Caol, Zhen-Xiang Lu. Morphological characterization of triticale starch granules during endosperm development and seed germination // Canadian Journal of Plant Science. 2008. Vol. 91, № 1. P. 57–67. <https://doi.org/10.1139/cjps10039>
8. Тритикале России. Селекция, агротехника возделывания, переработка и использование сырья из тритикале : сб. материалов заседаний селекции тритикале РАСХН (Ростов-на-Дону, 8–10 июля 1999 г.). Ростов н/Д : Юж.-Рост. гос. техн. ун-т, 2000. 132 с.
9. Rakha A., Aman P., Andersson R. Dietary fiber in triticale grain: Variation in content, composition, and molecular weight distribution of extractable components // Journal of Cereal Science. 2011. Vol. 54, № 3. P. 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.06.010>
10. Гунькина Н. И., Фараджева Е. Д. Оптимизация переработки тритикале // Производство спирта и ликероаливочных изделий. 2002. № 2. С. 16–17.



11. Glatthar J., Heinisch J., Senn T. The Use of Unmalted Triticale in Brewing and its Effect on Wort and Beer Quality // *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2003. Vol. 61, № 4. P. 182–190. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-61-0182>
12. Glatthar J., Heinisch J., Senn T. A Study on the Suitability of Unmalted Triticale as a Brewing Adjunct // *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 2002. Vol. 60, № 4. P. 181–187. <https://doi.org/10.1002/jfsa.1941>
13. Пат. № 2595369 RU, МПК C12C 1/8. № 2015132168/10; Способ получения солодового экстракта / Агафонов Г. В., Коротких Е. А., Новикова И. В., Чусова А. Е. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий». Заявл. 03.08.2015; опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24.
14. Косминский Г. И., Моргунова Е. М. Влияние температурных режимов сушки тритикалевого солода на активность гидролитических ферментов // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2002. № 6. С. 17–18.
15. Косминский Г. И., Моргунова Е. М., Хотомцева М. А. Исследование процесса замачивания зерна тритикале при получении из него пивоваренного солода // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1998. № 4. С. 56–57.
16. Болотов Н. А., Болотов Д. Н. Способ производства темного ферментированного солода из тритикале // Материалы XXXIX отчетной научной конференции за 2000 год. Воронеж : Воронеж. гос. технол. академ., 2001. Ч. 1. С. 98.
17. Ande B., Pieper H. J., Senn T. Production of glucose syrup by direct saccharification from triticale with high autoamylolytic activity // *Starch*. 1998. № 50. P. 518–523.
18. Zarnkow M., Schultze B., Burberg F., Krahl M., Gastl M. Triticale malt (xTriticosecale Wittmack) a raw material for brewing – Using response surface methodology to optimise malting conditions // *Brewing Science*. 2009. № 62 (5-6). P. 54–66.
19. Фараджева Е. Д., Болотов Н. А., Чусова А. Е. Использование тритикалевого солода для получения светлого сорта пива // *Вестн. Рос. акад. с.-х. наук*. 1994. № 6. С. 67–68.
20. Чусова А. Е. Получение и исследование  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз тритикалевого солода для использования его в пивоварении: автореф. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1997. 18 с.
21. Gruji O., Pejin J. The application of triticale malt as the substitute for barley malt in wort production // *Acta Periodica Technologica*. 2007. Vol. 38. P. 117–126. <https://doi.org/10.2298/APT0738117G>
22. Кобелев К. В., Гернет М. В. Свойства тритикале и перспективы её использования в бродильных производствах // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2013. № 5. С. 51–53.
23. Болотов Д. Н. Совершенствование технологии солов из тритикале и их применение в пищевой промышленности: автореф. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2004. 24 с.
24. Меледина Т. В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. СПб. : Профессия, 2003. 205 с.
25. Leardi R. Experimental design in chemistry: A tutorial // *Anal. Chim. Acta*. 2009. Vol. 652. P. 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.06.015>
26. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. Избранные главы / под ред. О. Е. Родионовой ; пер. с англ. С. В. Кучерявского. Черноголовка : Изд-во ИПХФ РАН, 2005. 157 с.
27. Wold S., Esbensen K., Geladi P. Principal component analysis // *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 1987. Vol. 2. P. 37.
28. Рам Ф. Требования к качеству пивоваренного ячменя и их значение в процессах солодорощения и пивоварения // Материалы VLB–семинара «Сырьевая база для солодовенного и пивоваренного производства» (Переславль-Залесский, 2–4 июня 2010 г.). Переславль-Залесский, 2010. С. 10–13.
29. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения / пер. с нем. А. А. Куреленкова. СПб. : Профессия, 2007. 640 с.
30. Фараджева Е. Д., Фёдоров В. А. Общая технология бродильных производств. М. : Колос, 2002. 408 с.
31. Федоренко Б. Н. Пивоваренная инженерия: техническое оборудование отрасли. СПб. : Профессия, 2009. 1048 с.
32. ГОСТ 13586.5-2015 Зерно. Метод определения влажности. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.
33. ГОСТ 29294-21 Солод пивоваренный ячменный. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 32 с.
34. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М. : Стандартинформ, 2009. 9 с.
35. ГОСТ 10968-88 Зерно. Методы определения энергии прорастания и способы прорастания. М. : Стандартинформ, 2009. 4 с.
36. ГОСТ 10842-89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зёрен или 1000 семян. М. : Стандартинформ, 2009. 4 с.
37. ГОСТ 10967-2019 Зерно. Методы определения запаха и цвета. М. : Стандартинформ, 2019. 9 с.
38. ГОСТ 12787-2021 Продукция пивоваренная. Методы определения объёмной доли этилового спирта, массовой доли действительного экстракта и расчёт экстрактивности начального сусла. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 32 с.
39. ГОСТ 12788-87 Пиво. Методы определения кислотности М. : Стандартинформ, 2011. 5 с.
40. ГОСТ 12789-2022 Пивоваренная продукция. Методы определения цвета. М. : Российский институт стандартизации, 2022. 20 с.
41. Ермолова Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия. СПб. : Профессия, 2004. 536 с.
42. ГОСТ 34789-2021 Продукция пивоваренная. Идентификация. Определение массовой концентрации общего азота методом Кильдаля. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 12 с.



## References

1. Kosminsky G. I. *Scientific and Practical Foundations with the Emergence of Malt, Beer and Beverage Technologies Using Non-traditional Raw Materials and New Cultural Research*. Diss. Dr. Sci. (Technical). Mogilev, 2001. 403 p. (in Russian).
2. Bayazitova M. M. *Study of Malting Properties of Triticale Grain and Development of Technology for a New Type of Beer*. Diss. Dr. Sci. (Philosophy). Almaty, 2019. 169 p. (in Russian).
3. Pashchenko L. P. *Triticale: sostav, svoistva, ratsional'noe ispol'zovanie v pishchevoi promyshlennosti*. [Triticale: Composition, properties, rational use in the food industry]. Voronezh, IPF "Voronezh", 2005. 207 p. (in Russian).
4. Mergoum M., Singh P. K., Pena R. J., Lozano-Del Rio A. J., Cooper K. V., Salmon D. F., Gomez Macpherson H. Triticale: A 'new' crop with old challenges. In: Carena M. J., ed. *Cereals*. New York, Springer, 2009, pp. 267–287. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9_9)
5. Blazek J., Copeland L. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 2008, no. 71, pp. 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
6. O'Brien L. Genotype and environment effects on feed grain quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1999, no. 50, pp. 703–719.
7. Chun-Yan Li, Wei-Hua Li, Lee B., Laroche A., Lian-Pu Caol, Zhen-Xiang Lu. Morphological characterization of triticale starch granules during endosperm development and seed germination. *Canadian Journal of Plant Science*, 2008, vol. 91, no. 1, pp. 57–67. <https://doi.org/10.1139/cjps10039>
8. *Triticale Rossii. Seleksiya, agrotekhnika vozdelyvaniya, perekabotka i ispol'zovanie syr'ya iz triticale*: sb. materialov zasedaniy selektsii triticale RASKhN (Rostov-na-Donu, 8–10 iyulya 1999 g.) [Triticale of Russia. Selection, Cultivation Technology, Processing and Use of Raw Materials from Triticale: Collection of materials from triticale selection meetings of Russian Academy of Agricultural Sciences (Rostov-on-Don, July 8–10, 1999)]. Rostov-on-Don, South-Russian State Polytechnic University Publ., 2000. 132 p. (in Russian).
9. Rakha A., Aman P., Andersson R. Dietary fiber in triticale grain: Variation in content, composition, and molecular weight distribution of extractable components. *Journal of Cereal Science*, 2011, vol. 54, no. 3, pp. 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.06.010>
10. Gun'kina N. I., Faradzheva E. D. Optimization of triticale processing. *Production of Alcohol and Liquor Products*, 2002, no. 2, pp. 16–17 (in Russian).
11. Glatthar J., Heinisch J., Senn T. The use of unmalted triticale in brewing and its effect on wort and beer quality. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 2003, vol. 61, no. 4, pp. 182–190. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-61-0182>
12. Glatthar J., Heinisch J., Senn T. A Study on the suitability of unmalted triticale as a brewing adjunct. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 2002, vol. 60, no. 4, pp. 181–187. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1941>
13. Patent № 2595369 RU *Method for obtaining malt extract*. Agafonov G. V., Korotkikh E. A., Novikova I. V., Chusova A. E. Application no. 2015132168/10 dated 03.08.2015; published 27.08.2016, Bulletin no. 24. (in Russian).
14. Kosminsky G. I., Morgunova E. M. Effect of temperature regimes of triticale malt drying on the activity of hydrolytic enzymes. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, 2002, no. 6, pp. 17–18 (in Russian).
15. Kosminsky G. I., Morgunova E. M., Khotomtseva M. A. Study of the process of soaking triticale grain during the production of brewing malt. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, 1998, no. 4, pp. 56–57 (in Russian).
16. Bolotov N. A., Bolotov D. N. Method of production of dark fermented malt from triticale. *Materialy XXXIX otchetnoi nauchnoi konferentsii za 2000 god* [Materials of the XXXIX reporting scientific conference for 2000]. Voronezh, Voronezh State Technological Academy Publ., 2001, part 1, pp. 98 (in Russian).
17. Ande B., Pieper H.J., Senn T. Production of glucose syrup by direct saccharification from triticale with high autoamylolytic activity. *Starch*, 1998, no. 50, pp. 518–523.
18. Zarnkow M., Schultze B., Burberg F., Krahl M., Gastl M. Triticale malt (xTriticosecale Wittmack) a raw material for brewing – Using response surface methodology to optimise malting conditions. *Brewing Science*, 2009, no. 62 (5–6), pp. 54–66.
19. Farajeva E. D., Bolotov N. A., Chusova A. E. Use of triticale malt for obtaining light beer. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 1994, no. 6, pp. 67–68 (in Russian).
20. Chusova A. E. *Obtaining and studying α- and β-amylases of triticale malt for its use in brewing*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Technical). Voronezh, 1997. 18 p. (in Russian).
21. Gruji O., Pejin J. The application of triticale malt as the substitute for barley malt in wort production. *Acta Periodica Technologica*, 2007, vol. 38, pp. 117–126. <https://doi.org/10.2298/APT0738117G>
22. Kobelev K. V., Gernet M. V. Properties of triticale and prospects for its use in fermentation industries. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, 2013, no. 5, pp. 51–53 (in Russian).
23. Bolotov D. N. *Improvement of triticale malt technology and its application in the food industry*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Technical). Voronezh, 2004. 24 p. (in Russian).
24. Meledina T. V. *Syr'ye i vspomogatel'nyye materialy v pivovarenii* [Raw materials and auxiliary materials in brewing]. St. Petersburg, Profession, 2003. 205 p. (in Russian).
25. Leardi R. Experimental design in chemistry: A tutorial. *Anal. Chim. Acta*, 2009, vol. 652, pp. 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.06.015>



26. Rodionova O. E., ed. Esbensen K. *Multivariate Data Analysis. Selected Chapters*. Trans. from English by S. V. Kucheravsky. Chernogolovka, Publishing House of the Institute of Problems of Problems of the Russian Academy of Sciences, 2005. 157 p. (in Russian).
27. Wold S., Esbensen K., Geladi P. Principal component analysis. *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 1987, vol. 2, pp. 37.
28. Rath F. Requirements for the quality of malting barley and their importance in the processes of malting and brewing. In: *Materialy VLB-seminara "Syr'evaia baza dlia solodovennogo i pivovarenного proizvodstva"* (Pereslavl-Zalessky, 2–4 iyunya 2010 g.) [Proceedings of the VLB-seminar “Raw materials for malting and brewing production” (Pereslavl-Zalessky, June 2–4, 2010)]. Pereslavl-Zalessky, 2010, pp. 10–13 (in Russian).
29. Narcissus L. A. *Brief Course in Brewing*. Trans. from German by A. A. Kurelenkova. St. Petersburg, Profession, 2007. 640 p. (in Russian).
30. Farajeva E. D., Fedorov V. A. *Obshchaya tekhnologiya brodil'nykh proizvodstv* [General technology of fermentation production]. Moscow, Kolos, 2002. 408 p. (in Russian).
31. Fedorenko B. N. *Pivovarennaya inzheneriya: tekhnologicheskoye oborudovaniye otrazhi* [Brewing engineering: Technological equipment of the industry]. St. Petersburg, Profession, 2009. 1048 p. (in Russian).
32. GOST 13586.5-2015 *Grain. A method for determining humidity*. Moscow, Standartinform, 2019. 16 p. (in Russian).
33. GOST 29294-21 *Malted malted barley*. Moscow, Russian Institute of Standardization, 2021. 32 p. (in Russian).
34. GOST 10846-91 *Grain and its processed products. The method of protein determination*. Moscow, Standartinform, 2009. 9 p. (in Russian).
35. GOST 10968-88 *Grain. Methods for determining germination energy and methods of germination*. Moscow, Standartinform, 2009. 4 p. (in Russian).
36. GOST 10842-89 *Grain of cereals and legumes and seeds of oilseeds. A method for determining the mass of 1000 grains or 1000 seeds*. Moscow, Standartinform, 2009. 4 p. (in Russian).
37. GOST 10967-2019 *Grain. Methods for determining odor and color*. Moscow, Standartinform, 2019. 9 p. (in Russian).
38. GOST 12787-2021 *Brewing products. Methods for determining the volume fraction of ethyl alcohol, the mass fraction of the actual extract and the calculation of the extractivity of the initial wort*. Moscow, Russian Institute of Standardization Publ., 2021. 32 p. (in Russian).
39. GOST 12788-87 *Beer. Methods for determining acidity*. Moscow, Standartinform, 2011. 5 p. (in Russian).
40. GOST 12789-2022 *Brewing products. Methods of color determination*. Moscow, Russian Institute of Standardization Publ., 2022. 20 p. (in Russian).
41. Ermolaeva G. A. *Spravochnik rabotnika laboratori pivo-varennogo predpriyatiya* [Handbook of an employee of the laboratory of a brewing enterprise]. St. Petersburg, Profession, 2004. 536 p. (in Russian).
42. GOST 34789-2021 *Brewing products. Identification. Determination of the mass concentration of total nitrogen by the Kjeldahl method*. Moscow, Russian Institute of Standardization Publ., 2021. 12 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 10.02.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2024; принята к публикации 21.04.2025  
The article was submitted 10.02.2025; approved after reviewing 18.04.2024; accepted for publication 21.04.2025