

Оценка сортов картофеля для переработки на основе кластерного анализа

С.В. Мальцев, А.Э. Шабанов, П.В. Соломенцев,
Д.В. Абросимов, Е.В. Князева

ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени
А.Г. Лорха», г.о. Люберцы, Российская
Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Станислав Владимирович Мальцев
E-mail: stanmalcev@yandex.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мальцев, С.В., Шабанов, А.Э., Соломенцев, П.В., Абросимов, Д.В., & Князева, Е.В. (2025). Оценка сортов картофеля для переработки на основе кластерного анализа. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 33(2), 37–56. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.2.629>

ПОСТУПИЛА: 17.12.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2025

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: В России промышленным способом производится 7–8 млн. т картофеля в год и дальнейший рост производства данной культуры в ближайшее время будет происходить в основном за счет развития сектора переработки. Наиболее востребованные картофелепродукты — фри, чипсы, сухое картофельное пюре, быстрозамороженный и вакуумированный картофель. Их качество обусловлено главным образом сортовыми особенностями картофеля, проявляющимися в содержании в клубнях крахмала и редуцирующих сахаров. Однако группировка картофелепродуктов в зависимости от биохимического состава клубней, равно как и оценка пригодности сортов на те или иные виды переработки до сих пор проводилась лишь интуитивно и исходя из общих соображений, т.е. без строгого математического обоснования.

Цель: Провести научно-обоснованную группировку картофелепродуктов на кластеры с учётом сортоспецифичного биохимического состава клубней, разработать требования к сырью, обеспечивающие получение высококачественных продуктов переработки, определить и рекомендовать в производство универсально пригодные сорта картофеля.

Материалы и методы: Исследования проводили на 58 сортах картофеля различного срока созревания. Картофелепродукты (фри, чипсы, сухое картофельное пюре, быстрозамороженный и вакуумированный картофель) оценивали согласно методическим указаниям по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению. Содержание крахмала определяли весовым методом по удельной массе клубней картофеля в воздухе и воде, содержание редуцирующих сахаров — спектрофотометрическим методом Самнера. Математическую обработку данных осуществляли методами дисперсионного, корреляционного, регрессионного и кластерного анализа.

Результаты: Впервые проведена научно-обоснованная группировка картофелепродуктов на кластеры с обоснованием требований к сырью по содержанию крахмала и редуцирующих сахаров. Кластерным анализом методом К-средних для целей промпереработки доказано преимущество сортов картофеля более поздних сроков созревания, из 58 изученных выделены и рекомендованы в производство 10 наилучших универсальных сортов картофеля: Бабынинский, Фарн, Артур, Восторг, Евпатий, Кавалер, Надежда, Орлан, Розовый чародей, Чайка.

Выводы: Полученные данные послужат основой для целенаправленной селекции сортов картофеля для промпереработки с заданными биохимическими параметрами, а для крупных товаропроизводителей позволят систематизировать и упростить использование на те или иные цели уже имеющиеся и рекомендованные сорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сорта картофеля; биохимические показатели клубней; чипсы; фри; быстрозамороженный картофель; вакуумированный картофель; сухое картофельное пюре; кластерный анализ

Assessment of Potato Cultivars for Processing Based on Cluster Analysis

Department of Agricultural Technologies
of Russian Potato Research Centre,
Lyubertsy urban district, Russian
Federation

Stanislav V. Maltsev, Adam E. Shabanov, Pavel V. Solomentsev,
Dmitry V. Abrosimov, Elena V. Knyazeva

CORRESPONDENCE:

Stanislav V. Maltsev

E-mail: stanmalcev@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Maltsev, S.V., Shabanov, A.E.,
Solomentsev, P.V., Abrosimov, D.V., &
Knyazeva, E.V. (2025). Assessment of
potato cultivars for processing based on
cluster analysis. *Storage and Processing
of Farm Products*, 33(2), 37–56.
[https://doi.org/10.36107/
spfp.2025.2.629](https://doi.org/10.36107/spfp.2025.2.629)

RECEIVED: 17.12.2024

ACCEPTED: 15.06.2025

PUBLISHED: 30.06.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: In Russia, 7-8 million tons of potatoes are produced industrially per year, and further production growth of this crop in the near future will occur mainly due to the development of the processing sector. The most popular potato products are French fries, chips, dry mashed potatoes, quick-frozen and vacuum-packed potatoes. Their quality is determined mainly by the varietal characteristics of the potato, which are manifested in the tubers starch and reducing sugars content. However, the grouping of potato products depending on the biochemical composition of tubers, as well as the assessment of the suitability of cultivars for certain types of processing, has so far been carried out only intuitively and based on general considerations, that is without strict mathematical proof.

Purpose: to conduct a scientifically based grouping of potato products into clusters taking into account the variety-specific biochemical composition of tubers, to develop requirements for raw materials that ensure the production of high-quality processed products, to identify and recommend universally suitable potato cultivars for production.

Materials and Methods: 58 potato cultivars of different ripening periods were investigated. Potato products (French fries, chips, dry mashed potatoes, quick-frozen and vacuum-packed potatoes) were assessed according to the guidelines for assessing potato cultivars for processing and storage suitability. The starch content was determined by the gravimetric method based on the specific gravity of potato tubers in air and water, and the content of reducing sugars was determined by the Sumner spectrophotometric method. Mathematical data processing was performed using the methods of dispersion, correlation, regression and cluster analysis.

Results: For the first time, a scientifically based grouping of potato products into clusters was carried out with a justification of the requirements for raw materials in terms of starch and reducing sugar content. Cluster analysis using the K-means method for industrial processing purposes has proven the advantage of potato cultivars with later ripening periods; out of 58 studied varieties, 10 best universal potato cultivars have been identified and recommended for production: Babyninsky, Farn, Artur, Vostorg, Evpatiy, Kavaler, Nadezhda, Orlan, Rozyvny Charodey, Chaika.

Conclusion: The obtained data will serve as a basis for targeted selection of potato cultivars for industrial processing with specified biochemical parameters, and for large commodity producers will allow systematization and simplify the use of existing and recommended cultivars for certain purposes.

KEYWORDS

potato cultivars; biochemical parameters of tubers; chips; French fries; quick-frozen potatoes; vacuum-packed potatoes; dry mashed potatoes; cluster analysis

ВВЕДЕНИЕ

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур в мире, а в России его значимость усиливается за счёт развитого сектора промышленной переработки (Li et al., 2024). Основные страны-производители картофеля — Китай, Россия, Индия, Украина и США (Wang et al., 2023). В России картофель называют «вторым хлебом» (Osipov et al., 2023). Важность данной культуры в продовольственной безопасности России обусловлена ее высокой урожайностью и пищевой ценностью (Мальцев, 2021; Ştefan et al., 2023). В настоящее время общий объем производства картофеля в хозяйствах всех форм собственности РФ составляет около 20,5 млн тонн, из которых на переработку идёт порядка 2,0 млн тонн (Rudoy et al., 2020; Мальцев и соавт., 2021; Mukhametov et al., 2023).

Качественный конечный продукт получается лишь при использовании подходящего для этих целей сырья с определёнными биохимическими показателями (Sampaio et al., 2021; Velotto et al., 2025). Однако, как показывает практика, применение различных агротехнологий (сроки и густота посадки, удобрения, подкормки, средства защиты растений, регуляторы роста и прочее) способно лишь отчасти улучшить показатели пригодности сырья к переработке на тот или иной вид картофелепродуктов (Maltsev et al., 2021; Vasilyeva et al., 2021). Ключевая роль в решении этого вопроса остаётся за выбором сорта картофеля (Saini et al., 2023; Мальцев и соавт., 2024; Lee et al., 2025).

По состоянию на 2025 год в Государственном реестре селекционных достижений России более 500 сортов картофеля, из которых лишь несколько десятков возделывается в достаточно большом объеме, но и из них далеко не все подходят в качестве сырья для промпереработки (Зейрук и соавт., 2019). По этой причине современная селекция направлена не только и не столько на выведение сортов картофеля столового назначения, сколько на выведение специальных сортов, пригодных для производства строго определённых картофелепродуктов, а значит, отличающихся специфическим биохимическим составом клубней, наиболее важными компонентами которого являются содержание крахмала и редуцирующих сахаров (Reyniers et al., 2020; Sharma et al., 2025). Несмотря на накопленные

эмпирические наблюдения, научно-обоснованные принципы классификации картофелепродуктов с опорой на биохимические параметры клубней остаются неразработанными, что ограничивает как селекционную, так и перерабатывающую практику. В частности, нет системной кластеризации продуктов по типу пригодности; нет регрессионных моделей, позволяющих предсказывать качество продукта; нет градации требований к сырью для разных видов переработки (Dramićanin et al., 2018; Barrera-Gavira et al., 2021; Shen et al., 2025).

В домохозяйствах и на предприятиях общественного питания наиболее востребованы такие виды картофелепродуктов, как сухое картофельное пюре, быстрозамороженный картофель, сырой очищенный картофель в вакуумной упаковке, чипсы, фри и т.п., спрос на которые постоянно растёт (McFadden & Huffman, 2017; El-Sayed et al., 2023; Téllez-Morales & Arce-Ortiz, 2024). В сложившейся практике подбора сортов для переработки на различные картофелепродукты обычно исходят из соображений, что более поздняя группа спелости при прочих равных факторах обеспечивает лучшее вызревание клубней и накопление ими сухого вещества и крахмала (Mojo-Quisani et al., 2024). Однако в силу сортовых особенностей это не всегда так.

Таким образом, до настоящего времени не существовало строгой математически обоснованной классификации картофелепродуктов в зависимости от биохимических параметров сырья, равно как и не были определены универсально пригодные сорта с предсказуемыми свойствами. Эта лакуна затрудняет селекцию, производство и стандартизацию качества. Решение этих вопросов обеспечит селекцию сортов картофеля научно-обоснованным ориентиром (Starchak et al., 2022) и сделает её ещё более целенаправленной для выведения сортов с заданными биохимическими параметрами и подходящим сроком созревания для переработки на соответствующие конкретные виды картофелепродуктов. Для крупных товаропроизводителей это также позволит систематизировать и упростить использование на те или иные цели уже имеющиеся сорта.

Цель исследования — разработать научно обоснованную классификацию переработанных картофельных продуктов (фри, чипсы, пюре, быстрозамороженный и вакуумированный картофель)

на основе сортоспецифичных биохимических характеристик клубней, а также определить универсально пригодные сорта картофеля, обеспечивающие стабильное высокое качество готовой продукции. Результаты предназначены для оптимизации промышленной переработки и селекционного отбора.

Для достижения этой цели в исследовании были поставлены следующие исследовательские вопросы:

RQ1: Какие биохимические характеристики (в первую очередь содержание крахмала и редуцирующих сахаров) демонстрируют клубни различных сортов картофеля и как они варьируют в зависимости от сроков созревания и погодных условий вегетации?

RQ2: Как биохимический состав клубней влияет на качество различных видов переработанных картофельных продуктов?

RQ3: Можно ли на основе этих данных выделить группы сортов, пригодные для определённых типов переработки, и построить прогностические модели, позволяющие рекомендовать сорта с универсальной технологической пригодностью?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Исследование проводилось в течение трёх вегетационных сезонов (2022–2024 гг.) на базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (Московская область) по схеме двухфакторного полевого опыта с постоянной расстановкой сортов (фактор 1 — сорт; фактор 2 — погодные условия года). Всего оценивались 58 сортов картофеля, разбитых на группы по сроку созревания. Каждый сорт выращивали на трёх биологических повторностях, клубни отбирались из разных делянок. После уборки проводилась оценка биохимических показателей клубней (содержание крахмала и редуцирующих сахаров), а затем — переработка каждого сорта в пяти технологических направлениях: чипсы, фри, пюре, вакуумированный и быстрозамороженный картофель. Для каждого вида продукции проводилась органолептическая оценка по 9-балльной шкале. В итоге полученные данные были обработаны ме-

тодами дисперсионного, корреляционного, регрессионного и кластерного анализа.

Объекты исследования

Сорта картофеля различного срока созревания:

- (1) ранние (12 шт.): Арго, Башкирский, Блоссом, Глория, Синичка, Спринтер, Красноярский ранний, Полярный, Томичка, Холмогорский, Удача, Ред Скарлетт;
- (2) среднеранние (22 шт.): Алка, Ариэль, Бабынинский, Багира, Виза, Вычегодский, Двинский, Догота, Зырянец, Калужский, Крутой, Кузбасский, Ника, Самородок, Сосруко, Тана, Тайфун, Фарн, Чародей, Шах, Невский, Гала;
- (3) среднеспелые (24 шт.): Арамис, Армада, Артур, Восторг, Дальневосточный, Евпатий, Интеллигент, Кавалер, Каштак, Кетский, Кузовок, Кумир, Мираж, Моряк, Надежда, Орлан, Печорский, Принцесса Натаван, Розовый чародей, Спиридон, Тарасов, Терский, Флагман, Чайка.

Из вышеперечисленных два сорта иностранной селекции — Ред Скарлетт и Гала были включены в программу исследований в качестве международных эталонов сравнения.

Каждый сорт выращивался на трёх делянках (биологических повторностях) по 200 растений в каждой, с которых по окончании вегетации отбирали по 5 клубней для каждой технологической реплики переработки — чипсы, фри, сухое картофельное пюре, быстрозамороженный и вакуумированный картофель. Размещение сортов на опытном участке осуществлялось по принципу рандомизации в повторностях.

Процедура исследования

Условия выращивания и сбора клубней

Картофель выращивали в 2022–2024 годах на экспериментальной базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» на дерново-подзолистой супесчаной почве (Московская область, г.о. Люберцы) без орошения. Фон минерального питания — $N_{90}P_{90}K_{120}$. Срок посадки — I декада мая, уборки — I декада сентября. Уборку проводили картофелекопалом КТН-2В с подбором клубней вручную. В послепосевочный период (октябрь месяц) определяли биохимические показатели клубней.

мические показатели клубней — содержание крахмала и редуцирующих сахаров, после чего сорта в лабораторных условиях перерабатывали на изучаемые картофелепродукты. С учётом специфики культуры картофеля (клубнеобразование происходит во 2-й половине вегетации), помимо фактора сорта на биохимические показатели и пригодность к переработке изучался также фактор количества осадков, выпавших со 2-й декады июля по 2-ю декаду августа включительно: 2022 г. — 57,5 мм; 2023 г. — 135,2 мм; 2024 г. — 83,4 мм; среднемноголетняя норма — 97,3 мм. Погодные данные фиксировались фактически по данным метеостанции экспериментальной базы «Коренёво». В остальном условия выращивания картофеля были одинаковыми. Поэтому трёхлетние данные рассматривались как единый двухфакторный опыт.

Биохимический анализ клубней

Содержание крахмала определяли весовым методом по удельной массе клубней картофеля в воздухе и воде, содержание редуцирующих сахаров — методом Самнера с использованием водяной бани ПЭ-4312, аквадистиллятора ПЭ-2220 (ГК «Экротех», Россия) и спектрофотометра SPEKOL 1300 («Analytik Jena», Германия).

Методы переработки картофеля

Оценку сортов картофеля на пригодность к переработке проводили согласно методическим указаниям по 9-балльной шкале¹. Технологический процесс изготовления чипсов (хрустящий картофель) включал мойку, ножевую чистку клубней, резку на ломтики толщиной 1,2 мм, обсушку с помощью фильтровальной бумаги, обжарку в рафинированном подсолнечном масле при температуре 170–180 °С. В каждой пробе было 5 клубней и не менее 30 ломтиков.

Для приготовления фри 5 клубней длиной более 50 мм после очистки резали на брусочки сечением 10x10 мм. Использовали только целые стандартные брусочки, а все обрезки и мелочь отбраковывали. После промывки в холодной воде брусочки обсушивали и обжаривали в масле при температуре 160–170 °С до полной готовности, после чего излишки масла удаляли встраиванием.

Приготовление быстрозамороженного картофеля осуществляли схожим образом. Брусочки замораживали в шкафу быстрой заморозки «Polair CR10-G» (Россия) до -35–40 °С, после чего хранили в течение 3 месяцев в морозильной камере при -18 °С, а затем обжаривали.

Изготовление сухого картофельного пюре в виде гранул включало следующие операции: мойка клубней, механическая очистка и ручная доочистка, резка на ломтики толщиной 10 мм, промывка ломтиков водой для удаления с их поверхности крахмала; варка в течение 30 мин.; охлаждение сваренных ломтиков на воздухе в течение 20 мин.; формирование гранул диаметром до 3 мм и длиной до 20 мм с помощью пресса с отверстиями в днище; замораживание гранул при температуре -18 °С в течение 2 ч, сушка в воздушном потоке при температуре 70 °С в течение 1,5–2 ч до влажности не более 12%. Затем гранулы восстанавливали в течение 5–10 мин., заливая их кипятком в соотношении по массе 1 часть гранул на 4 части воды.

Для вакуумирования использовали ножевую очистку клубней, затем картофель промывали, обсушивали с помощью бумажных полотенец и запаивали в ПА/РЕ вакуумные пакеты на аппарате серии «Henkovic Compact» модель «Gastrovac PRO» (Германия). Через 10 суток хранения в вакуумной упаковке оценивали цвет сырого и вкус варёного картофеля.

Каждую технологическую реплику проводили отдельно для каждой повторности сорта. Масса пробы чипсов, фри, быстрозамороженного картофеля и пюре — 250–300 г., вакуумированного картофеля — 1,5–2,0 кг. Пробы перерабатывались и оценивались независимо.

Органолептическая оценка качества продукции

Качество картофелепродуктов (цвет, консистенция) определяли органолептически — 9 баллов наивысшая оценка, 6 баллов — нижняя граница удовлетворительного качества. Количество экспертов — 5; система подачи образцов — слепая; форма

¹ Пшеченков, К.А., Давыденкова, О.Н., Седова, В.И., Мальцев, С.В., & Чулков, Б.А. (2008). *Методические указания по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению*. ВНИИКС.

регистрации баллов — целочисленные значения, указанные в бюллетенях для голосования; метод усреднения оценок — среднее арифметическое.

Статистическая обработка и анализ данных

Математическую обработку данных осуществляли методами корреляционного, регрессионного и кластерного анализа с использованием программного пакета для статистического анализа STATISTICA 10 («Statsoft, Dell Software», США). Вычисляли среднее значение выборки (M) и доверительный интервал ($\pm \otimes X$). При этом $\otimes X = t_{p,f} \times \text{SEM}$, где $t_{p,f}$ — коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности P и числа степеней свободы f , SEM — стандартная ошибка среднего. Сравнение средних проводили в два этапа. На первом сравнивали выборочные дисперсии на однородность по F -критерию Фишера, на втором при $F_{\text{факт.}} < F_{\text{крит.}}$ сравнивали среднее арифметическое двух выборок по t -критерию Стьюдента. Если экспериментальное значение превышало критическое, то делали вывод о наличии существенной разницы между средними арифметическими двух выборок. Проверку гипотезы на однородность дисперсий проводили по критериям Хартли, Кохрена, Бартлетта и Левина. При $p \geq 0,05$ гипотеза об однородности дисперсий принималась. Для выявления связи между биохимическим составом клубней и качеством картофелепродуктов проводили корреляционный анализ с расчетом коэффициентов корреляции r . Силу связи коэффициентов корреляции оценивали по шкале Чеддока. Дендрограмму качества картофелепродуктов строили на основе иерархического кластерного анализа объединением по методу «одиночной связи» (Single Linkage) используя меру близости в единицах евклидова пространства (Euclidean distances). Группировку сортов на кластеры проводили методом К-средних, число кластеров — 10, число итераций — 10, начальные центры кластеров заданы через одинаковые интервалы в ранжированном ряду расстояний (Sort distances and take observations at constant intervals).²

Органолептические оценки усреднялись по трем технологическим повторам для каждого сорта

и типа продукта. Иерархическая кластеризация проводилась отдельно для каждого года и по объединенной выборке — для оценки устойчивости группировок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для достижения поставленной цели сначала были определены биохимические показатели клубней и качество картофелепродуктов в зависимости от группы спелости сорта и метеоусловий. Далее, на основе дисперсионного анализа, было оценено влияния изучаемых факторов на формирование качества картофелепродуктов с целью определения наиболее значимого из них — сорта. На основе корреляционного анализа установлена взаимосвязь между качеством продуктов переработки и биохимическим составом клубней. Затем была проведена группировка картофелепродуктов на кластеры (дендрограмма), с выявлением причин, определяющих её внутреннюю структуру, а именно, — сортоспецифического содержания крахмала и редуцирующих сахаров. Для этого был проведён регрессионный анализ и построены 3D-модели, графически представляющие оптимальное соотношение крахмала и редуцирующих сахаров для каждого из изученных картофелепродуктов, что позволило сформулировать научно-обоснованные требования к сырью. В результате обработки данных на основе кластерного анализа методом К-средних были определены сорта картофеля, универсально пригодные к переработке на все пять изученных картофелепродуктов, и сделан вывод о преимуществе сортов более позднего срока созревания.

Биохимические показатели и погодные условия

Содержание редуцирующих сахаров в клубнях не зависело от группы спелости сорта и в послеуборочный период в среднем составляло 0,5%. Содержание крахмала, напротив, существенно зависело от группы спелости и составляло в среднем по группе ранних сортов 14,5%; среднеранних — 16,4%; среднеспелых — 16,5% (см. Таблица 1).

² Усманов, Р.Р. (2020). Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «STATISTICA»: учебно-методическое пособие. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Таблица 1

Биохимические показатели (%) и качество картофелепродуктов по 9-балльной шкале в зависимости от сорта ($M \pm \Delta X$, доверительная вероятность $P = 0,95$, $n = 9$, $f = 8$, $t_{pf} = 2,306$, в среднем за 2022–2024 гг.)

Table 1

Biochemical Parameters (%) and Quality of Potato Products by 9-point Scale Depending on the Cultivar ($M \pm \Delta X$, confidence interval $P = 0.95$, $n = 9$, $f = 8$, $t_{pf} = 2.306$, on average for 2022–2024)

№	Сорт	Крахмал, %	Редуцирующие сахара, %	Фри	Чипсы	Быстро-замороженный картофель	Вакуумированный картофель	Сухое картофельное пюре
<i>Ранние сорта</i>								
1	Арго	13,0 ± 0,2	0,7 ± 0,1	4,3 ± 0,4	5,0 ± 0,2	5,0 ± 0,3	5,0 ± 0,3	5,0 ± 0,7
2	Башкирский	15,9 ± 1,0	0,4 ± 0,1	6,7 ± 0,8	5,7 ± 0,8	6,3 ± 0,5	7,3 ± 0,5	5,7 ± 0,4
3	Блоссом	14,2 ± 1,0	0,4 ± 0,2	6,3 ± 1,5	6,3 ± 1,5	6,3 ± 1,5	6,0 ± 1,2	6,0 ± 0,1
4	Глория	16,3 ± 2,0	0,6 ± 0,2	5,7 ± 0,8	5,0 ± 1,2	5,0 ± 1,2	7,7 ± 0,5	6,3 ± 0,4
5	Синичка	14,3 ± 0,5	0,3 ± 0,1	8,3 ± 0,4	7,7 ± 0,8	8,0 ± 0,7	6,7 ± 0,8	7,7 ± 0,8
6	Спринтер	13,8 ± 0,6	0,8 ± 0,1	5,3 ± 0,4	5,0 ± 0,2	5,0 ± 0,3	5,7 ± 0,8	5,3 ± 0,4
7	Красноярский ранний	14,4 ± 1,5	0,7 ± 0,1	6,3 ± 0,4	6,0 ± 0,2	5,7 ± 0,5	6,3 ± 0,5	5,7 ± 0,8
8	Полярный	16,6 ± 0,3	0,4 ± 0,1	7,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	7,3 ± 1,1	7,0 ± 0,4
9	Томишка	13,2 ± 0,4	0,6 ± 0,1	5,3 ± 0,4	5,3 ± 0,4	5,0 ± 0,3	5,7 ± 0,3	5,0 ± 0,4
10	Холмогорский	15,9 ± 0,8	0,6 ± 0,1	6,3 ± 0,4	6,0 ± 0,2	6,3 ± 0,5	7,7 ± 1,1	7,0 ± 0,4
11	Удача	14,3 ± 1,2	0,6 ± 0,1	5,7 ± 0,8	5,7 ± 0,8	5,3 ± 0,5	6,7 ± 0,3	5,0 ± 0,4
12	Ред Скарлетт	11,9 ± 0,6	0,3 ± 0,1	6,7 ± 0,8	7,0 ± 1,1	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,7	8,0 ± 1,0
<i>Среднеранние сорта</i>								
13	Алка	12,5 ± 1,2	0,5 ± 0,1	7,0 ± 0,7	6,3 ± 0,8	6,3 ± 0,8	5,7 ± 0,8	6,3 ± 1,5
14	Ариэль	17,2 ± 2,0	0,5 ± 0,1	7,7 ± 0,4	6,0 ± 0,2	7,0 ± 0,3	8,0 ± 0,5	7,3 ± 0,1
15	Бабынинский	17,6 ± 1,0	0,4 ± 0,1	8,3 ± 0,4	7,7 ± 0,8	7,7 ± 0,8	8,3 ± 0,5	7,3 ± 0,4
16	Багира	15,2 ± 1,0	0,8 ± 0,2	7,0 ± 1,2	7,0 ± 1,2	7,0 ± 1,2	7,7 ± 0,8	6,3 ± 1,0
17	Виза	18,2 ± 1,5	0,8 ± 0,1	6,3 ± 1,0	5,7 ± 0,8	6,0 ± 1,2	8,0 ± 0,8	6,7 ± 0,7
18	Вычегодский	21,6 ± 1,9	0,9 ± 0,2	5,0 ± 1,2	4,0 ± 1,2	4,7 ± 0,8	8,7 ± 0,8	6,7 ± 0,4
19	Двинский	15,6 ± 0,2	0,6 ± 0,1	5,7 ± 0,8	5,3 ± 0,4	5,7 ± 0,8	7,0 ± 0,5	6,3 ± 0,1
20	Догота	17,5 ± 2,9	0,7 ± 0,1	6,3 ± 0,4	5,3 ± 0,4	5,3 ± 0,5	8,0 ± 0,5	5,3 ± 0,7
21	Зырянец	15,9 ± 0,4	0,5 ± 0,1	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8
22	Калужский	14,0 ± 1,7	0,7 ± 0,1	5,7 ± 0,8	5,0 ± 0,2	5,3 ± 0,5	7,0 ± 0,5	5,7 ± 1,2
23	Крутой	16,8 ± 0,3	0,5 ± 0,1	7,0 ± 0,2	6,7 ± 0,4	7,0 ± 0,3	7,7 ± 0,3	6,0 ± 0,4
24	Кузбасский	21,4 ± 1,6	0,4 ± 0,1	7,0 ± 1,1	6,7 ± 0,8	7,0 ± 1,1	8,3 ± 0,8	6,7 ± 0,4
25	Ника	15,4 ± 0,5	0,4 ± 0,1	7,0 ± 1,1	7,0 ± 1,1	7,0 ± 1,1	7,0 ± 0,8	6,7 ± 0,1
26	Самородок	13,8 ± 0,2	0,5 ± 0,2	6,0 ± 1,2	6,0 ± 1,2	6,0 ± 1,2	4,7 ± 0,8	5,7 ± 0,8
27	Сосруко	15,1 ± 0,8	0,4 ± 0,1	7,0 ± 1,1	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	7,0 ± 0,5	6,3 ± 0,1
28	Тана	19,3 ± 2,9	0,4 ± 0,1	8,0 ± 0,2	7,0 ± 0,2	7,3 ± 0,5	8,3 ± 0,3	7,0 ± 0,4
29	Тайфун	15,6 ± 1,1	0,4 ± 0,1	7,0 ± 1,1	6,7 ± 1,4	6,7 ± 0,8	7,7 ± 0,8	6,7 ± 0,4
30	Фарн	17,7 ± 1,2	0,4 ± 0,1	8,0 ± 0,7	7,3 ± 0,4	8,3 ± 0,4	8,3 ± 0,4	8,3 ± 0,4
31	Чародей	15,9 ± 1,1	0,4 ± 0,1	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	7,7 ± 0,5	6,3 ± 0,4
32	Шах	16,8 ± 0,8	0,4 ± 0,1	7,0 ± 1,1	6,7 ± 0,8	7,3 ± 0,5	8,7 ± 0,8	6,7 ± 0,4
33	Невский	13,7 ± 0,2	0,3 ± 0,1	7,7 ± 0,4	7,0 ± 0,2	6,7 ± 0,5	6,7 ± 0,5	7,3 ± 0,4
34	Гала	14,2 ± 0,2	0,4 ± 0,1	7,0 ± 0,2	6,3 ± 0,4	7,0 ± 0,3	7,0 ± 0,4	8,7 ± 0,1

Окончание Таблицы 1

№	Сорт	Крахмал, %	Редуцирующие сахара, %	Фри	Чипсы	Быстро-замороженный картофель	Вакуумированный картофель	Сухое картофельное пюре
<i>Среднеспелые сорта</i>								
35	Арамис	17,3 ± 1,6	0,8 ± 0,2	7,3 ± 0,8	6,3 ± 0,8	6,3 ± 0,8	8,3 ± 0,3	6,0 ± 0,4
36	Армада	14,8 ± 1,3	0,5 ± 0,1	7,0 ± 0,2	6,0 ± 0,2	6,7 ± 0,5	6,7 ± 0,3	6,0 ± 0,4
37	Артур	18,1 ± 1,2	0,4 ± 0,1	8,3 ± 0,4	7,7 ± 0,4	8,0 ± 0,3	8,7 ± 0,5	7,3 ± 0,4
38	Восторг	15,8 ± 1,9	0,4 ± 0,1	8,3 ± 0,4	7,7 ± 0,8	8,0 ± 0,7	8,0 ± 0,5	7,3 ± 0,7
39	Дальневосточный	16,4 ± 0,9	1,0 ± 0,2	5,7 ± 0,4	4,3 ± 0,8	5,3 ± 0,8	7,3 ± 0,8	6,3 ± 0,8
40	Евпатий	18,8 ± 1,4	0,3 ± 0,1	9,0 ± 0,1	8,3 ± 0,4	9,0 ± 0,2	9,0 ± 0,2	9,0 ± 0,1
41	Интеллигент	16,2 ± 1,0	1,3 ± 0,1	4,0 ± 0,2	3,0 ± 0,2	4,7 ± 0,5	7,3 ± 0,3	5,0 ± 0,8
42	Кавалер	16,8 ± 1,8	0,4 ± 0,1	8,7 ± 0,4	8,0 ± 0,2	8,3 ± 0,4	8,0 ± 0,3	7,0 ± 0,7
43	Каштак	15,9 ± 1,3	0,4 ± 0,1	7,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	7,3 ± 0,5	7,3 ± 0,8	6,7 ± 0,4
44	Кетский	16,1 ± 0,7	0,4 ± 0,1	7,0 ± 1,1	6,7 ± 0,8	7,0 ± 1,1	7,3 ± 1,1	7,0 ± 0,4
45	Кузовок	14,1 ± 0,7	0,8 ± 0,1	5,7 ± 0,4	5,3 ± 0,8	4,7 ± 0,5	4,0 ± 0,3	5,0 ± 0,1
46	Кумир	16,8 ± 0,4	0,5 ± 0,1	7,7 ± 0,4	6,3 ± 0,4	7,0 ± 0,3	8,3 ± 0,5	6,3 ± 0,4
47	Мираж	19,4 ± 0,4	0,6 ± 0,1	7,0 ± 1,1	7,0 ± 1,1	7,0 ± 1,1	8,7 ± 0,8	6,7 ± 0,4
48	Моряк	16,3 ± 0,3	0,5 ± 0,1	7,0 ± 1,1	6,7 ± 0,8	7,7 ± 0,8	7,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8
49	Надежда	19,9 ± 3,1	0,3 ± 0,1	8,7 ± 0,4	8,3 ± 0,4	8,3 ± 0,4	8,7 ± 0,3	8,0 ± 0,4
50	Орлан	19,3 ± 0,7	0,4 ± 0,1	8,7 ± 0,4	7,7 ± 0,4	8,3 ± 0,4	8,7 ± 0,5	7,3 ± 0,4
51	Печорский	16,2 ± 1,5	0,5 ± 0,1	8,0 ± 0,7	7,3 ± 1,0	7,3 ± 0,8	8,3 ± 0,8	7,3 ± 0,8
52	Принцесса Натаван	15,4 ± 0,3	0,3 ± 0,1	8,7 ± 0,4	8,0 ± 0,7	8,3 ± 0,4	7,3 ± 0,5	7,7 ± 0,4
53	Розовый чародей	16,0 ± 1,0	0,3 ± 0,1	9,0 ± 0,1	8,3 ± 0,4	8,7 ± 0,4	8,7 ± 0,4	8,3 ± 0,4
54	Спиридон	15,3 ± 0,8	0,5 ± 0,1	6,3 ± 1,0	6,7 ± 0,8	6,7 ± 0,8	6,7 ± 1,1	7,0 ± 0,8
55	Тарасов	13,4 ± 1,0	0,3 ± 0,1	7,7 ± 0,4	8,0 ± 0,7	7,3 ± 0,8	6,7 ± 1,2	7,0 ± 1,5
56	Терский	16,7 ± 0,9	0,7 ± 0,1	6,3 ± 0,4	6,0 ± 0,2	6,3 ± 0,5	8,0 ± 0,3	6,0 ± 0,1
57	Флагман	16,3 ± 0,6	0,7 ± 0,1	7,3 ± 0,4	6,3 ± 0,8	6,7 ± 0,5	7,3 ± 0,3	6,0 ± 0,4
58	Чайка	15,0 ± 1,9	0,4 ± 0,1	8,3 ± 0,4	7,7 ± 0,8	8,0 ± 0,3	8,3 ± 0,3	8,0 ± 0,4

В среднем по изученным сортам содержание крахмала в клубнях картофеля было на 2,3–3,0% ($p \leq 0,05$) выше в засушливый 2022 год по сравнению с более влажным 2023 годом. Содержание редуцирующих сахаров существенно от количества осадков, выпавших во второй половине вегетации, не зависело. Качество сухого картофельного пюре было статистически значимо выше в более засушливый год (на 0,3–0,5 балла), в то время как качество остальных картофелепродуктов, напротив, было на 0,3–1,1 баллов ниже ($p \leq 0,05$).

Факторный анализ

Тест Шапиро — Уилка, рассчитанные коэффициенты асимметрии и эксцесса с учётом их стандартных ошибок, а также построенный нормально-вероятностный график свидетельствовали о нормальном распределении данных. Проверка по критериям Хартли, Кохрена, Бартлетта, Левина показала значения $p \geq 0,05$, позволяющие принять гипотезу об однородности дисперсии. По результатам дисперсионных анализов двухфакторных опытов установлено, что наиболее существенное влияние на качество картофелепродуктов оказывал фактор

сорта (57,4–68,2%), вторым по значимости было сочетание факторов осадков и сорта (25,7–31,1%) и в наименьшей степени (2,6–10,9%) влиял фактор осадков в отдельности (см. Таблица 2).

Из данных Таблицы 2 следует, что фактор сорта в сравнении с осадками оказывал значительно

более существенное влияние на формирование качества картофелепродуктов. Ведущая роль сорта обусловлена сортоспецифичным содержанием в клубнях крахмала и редуцирующих сахаров, что и было решающим в формировании качества картофелепродуктов.

Таблица 2

Результаты дисперсионных анализов двухфакторных опытов по оценке качества картофелепродуктов и удельное влияние факторов (различия статистически значимы при $p \leq 0,05$)

Table 2

Results of ANOVA Tests of Two-Factor Experiments on Assessing the Quality of Potato Products and the Specific Influence of Factors (Differences are Statistically Significant at $p \leq 0.05$)

Факторы и их комбинации	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Дисперсия	F	p	Влияние фактора, %
<i>Картофель фри</i>						
Осадки	117,1	2	58,6	741,6	0,0	10,9
Сорт	652,1	57	11,4	144,9	0,0	60,8
Осадки x сорт	275,7	114	2,4	30,6	0,0	25,7
Ошибка	27,5	348	0,1			2,6
Всего	1072,4					100,0
<i>Чипсы (хрустящий картофель)</i>						
Осадки	72,9	2	36,5	429,9	0,0	7,0
Сорт	616,6	57	10,8	127,5	0,0	59,1
Осадки x сорт	324,2	114	2,8	33,5	0,0	31,1
Ошибка	29,5	348	0,1			2,8
Всего	1043,2					100,0
<i>Быстрозамороженный картофель</i>						
Осадки	41,2	2	20,6	138,9	0,0	4,1
Сорт	604,8	57	10,6	71,5	0,0	60,5
Осадки x сорт	301,8	114	2,6	17,8	0,0	30,2
Ошибка	51,6	348	0,1			5,2
Всего	999,5					100,0
<i>Сухое картофельное пюре</i>						
Осадки	22,2	2	11,1	1264,2	0,0	2,6
Сорт	582,0	57	10,2	1163,8	0,0	68,2
Осадки x сорт	246,4	114	2,2	246,3	0,0	28,9
Ошибка	3,1	348	0,0			0,4
Всего	853,7					100,0
<i>Вакуумированный картофель</i>						
Осадки	47,3	2	23,6	155,4	0,0	6,1
Сорт	446,6	57	7,8	51,5	0,0	57,4
Осадки x сорт	231,2	114	2,0	13,3	0,0	29,7
Ошибка	52,9	348	0,2			6,8
Всего	777,9					100,0

Корреляции

В ходе корреляционного анализа при расчетах коэффициентов корреляции Пирсона и согласно принятой шкале Чеддока была выявлена слабая положительная связь между содержанием крахмала в клубнях и качеством фри, быстрозамороженного и вакуумированного картофеля, а также заметная положительная связь между содержанием крахмала и качеством сухого картофельного пюре (см. Таблица 3).

Таблица 3
Коэффициенты корреляции между биохимическими показателями клубней и качеством картофелепродуктов (данные по 58 сортам в среднем за 2022–2024 гг.)
Table 3
Correlation Coefficients Between Biochemical Parameters of Tubers and Quality of Potato Products (Data for 58 Cultivars on Average for 2022–2024)

№	Вид продукта переработки	Крахмал	Редуцирующие сахара
1	Фри	0,174*	-0,617*
2	Быстрозамороженный картофель	0,171*	-0,621*
3	Чипсы	0,072	-0,678*
4	Вакуумированный картофель	0,169*	-0,537*
5	Сухое картофельное пюре	0,622*	-0,167*

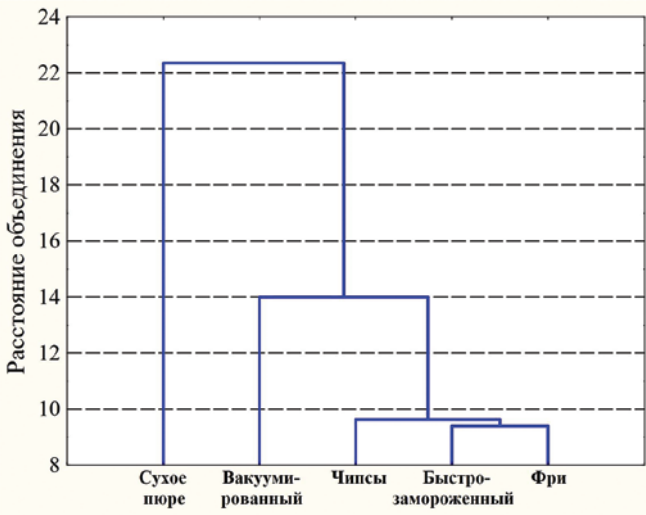
Примечание. * – отмеченные корреляции значимы на уровне $p \leq 0,05$.

Содержание редуцирующих сахаров в клубнях, напротив, находилось в заметной отрицательной корреляционной связи с качеством фри, быстрозамороженного, вакумированного картофеля, чипсов и в слабой отрицательной связи с качеством сухого картофельного пюре. Отрицательная корреляция редуцирующих сахаров с качеством обжаренных картофелепродуктов логична в технологическом контексте по причине реакции Майяра и карамелизация при жарке.

Кластеризация продуктов

Кластерный анализ позволил упорядочить виды картофелепродуктов в сравнительно однородные группы с учётом их оценки на основе сортоспец-

Рисунок 1
Результаты многомерного кластерного анализа картофелепродуктов по 58 сортам в среднем за 2022–2024 гг. (метод одиночной связи, евклидово расстояние)
Figure 1
Results of Multivariate Cluster Analysis of Potato Products for 58 Cultivars on Average for 2022–2024 (Single Linkage Method, Euclidean Distance)



ифичного биохимического состава клубней (см. Рисунок 1).

Установлено, что наиболее близкими оказались такие виды переработки, как фри и быстрозамороженный картофель, удалённые друг от друга на 9,4 единиц евклидова пространства. Т.е. на этом расстоянии их можно объединить в единую группу. Очень близким от них (удаление на 0,2 единиц) оказался также вид переработки «чипсы».

Несколько более отдалённым от трёх вышеназванных картофелепродуктов (на 4,4 единицы евклидова пространства) при кластерном анализе оказался вид переработки «вакуумированный картофель».

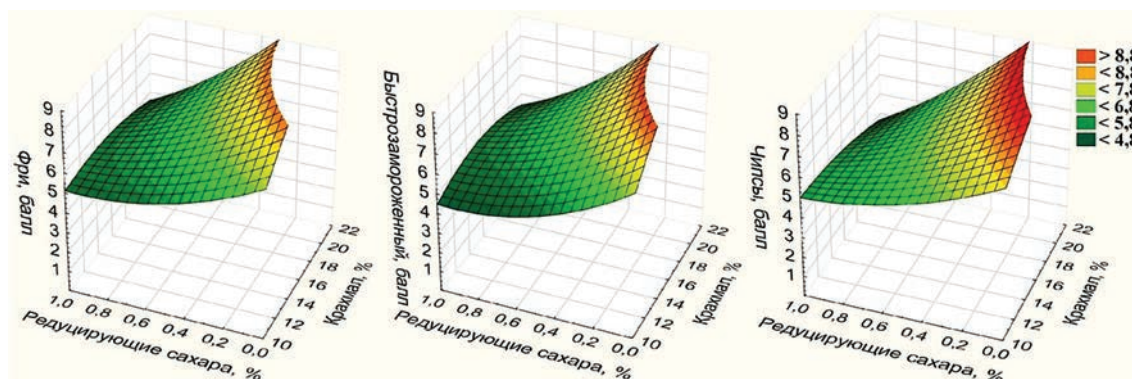
Наиболее отличающимся из всех перечисленных оказался вид переработки «сухое картофельное пюре», который по результатам кластерного анализа отстоял ещё на 8,4 единиц дальше от вакуумированного картофеля.

Рисунок 2

Математические модели зависимости качества фри, быстрозамороженного картофеля и чипсов от содержания редуцирующих сахаров и крахмала (по 9-балльной шкале)

Figure 2

Mathematical Models of French fries, Quick-Frozen Potatoes and Chips Quality Dependence on the Content of Reducing Sugars and Starch (on a 9-point scale)



Регрессионные модели

Рассчитанные уравнения множественной полиномиальной регрессии, описывающие качество соответствующего картофелепродукта от содержания редуцирующих сахаров и крахмала:

$$Y_{\text{фри}} = 0,922 - 0,9306X_1 + 0,779X_2 + 2,7215X_1^2 - 0,4105X_1X_2 - 0,0129X_2^2 \quad (R^2 = 0,67),$$

$$Y_{\text{быстрозамороженный}} = -0,7212 - 2,7353X_1 + 1,0018X_2 + 3,507X_1^2 - 0,3565X_1X_2 - 0,0203X_2^2 \quad (R^2 = 0,67),$$

$$Y_{\text{чипсы}} = 2,74 - 0,7269X_1 + 0,5571X_2 + 2,2537X_1^2 - 0,4028X_1X_2 - 0,0083X_2^2 \quad (R^2 = 0,68).$$

$$Y_{\text{вакуумир.}} = 4,4665 - 7,1463X_1 + 0,4955X_2 + 3,1974X_1^2 - 0,0014X_1X_2 - 0,0116X_2^2 \quad (R^2 = 0,65),$$

$$Y_{\text{пюре}} = -3,5176 - 4,8755X_1 + 1,194X_2 + 1,7922X_1^2 + 0,0892X_1X_2 - 0,0267X_2^2 \quad (R^2 = 0,71).$$

где Y — качество соответствующего продукта по 9-балльной шкале, X_1 — содержание редуцирующих сахаров (%), X_2 — содержание крахмала (%).

Матрица парных коэффициентов корреляции свидетельствовала об отсутствии мультиколлинеарности (межфакторные коэффициенты корреляции $< 0,7$).

Как видно из Рисунка 2, трёхмерные математические модели зависимости качества фри, быстрозамороженного картофеля и чипсов от содержания редуцирующих сахаров и крахмала, построенные на основе вышеприведённых уравнений регрессии, очень схожи между собой.

Математические модели зависимости качества вакуумированного картофеля и сухого картофельного пюре заметно отличаются от ранее представленных и друг от друга (см. Рисунок 3)

Рисунок 3

Математические модели зависимости качества вакуумированного картофеля и сухого картофельного пюре от содержания редуцирующих сахаров и крахмала (по 9-балльной шкале)

Figure 3

Mathematical Models of Vacuum-Packed Potatoes and Dry Mashed Potatoes Quality Dependence on the Content of Reducing Sugars and Starch (on a 9-point scale)

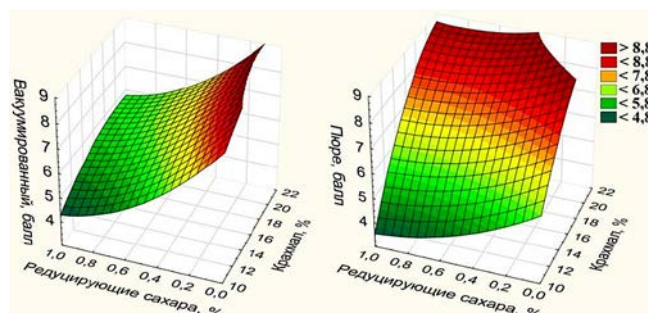
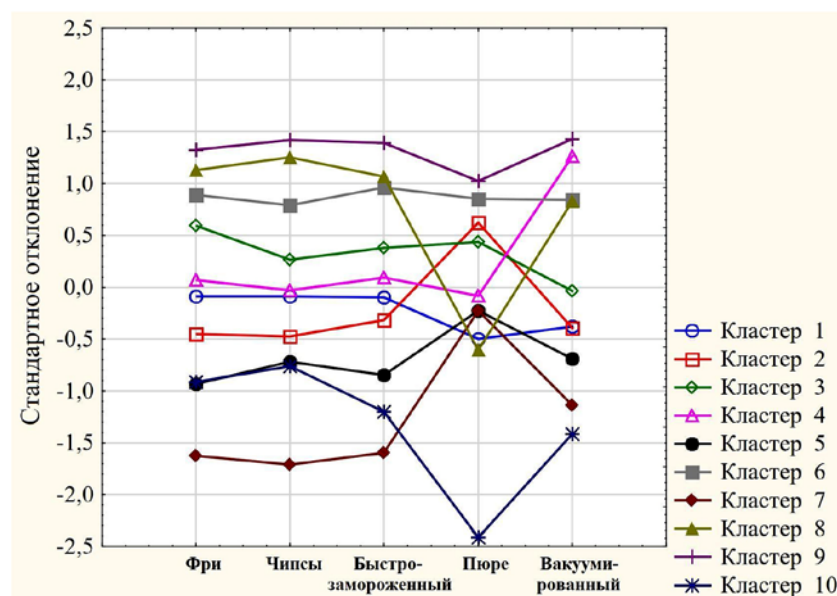


Рисунок 4

Группировка изученных сортов картофеля на кластеры по показателям качества картофелепродуктов (метод К-средних, шкала стандартного отклонения, 58 сортов)

Figure 4

Grouping of the Studied Potato Cultivars into Clusters According to the Quality Indicators of Potato Products (K-means Method, Standard Deviation Scale, 58 Cultivars)



Универсальные сорта

На основе кластерного анализа методом К-средних выделены 10 из 58 сортов (см. Рисунок 4, кластер №9), отличающиеся универсальной пригодностью ко всем изученным видам переработки и отклоняющиеся от средних значений качества по каждому из пяти изученных картофелепродуктов в большую сторону на 1,1–1,4 единицы стандартного отклонения.

В совокупности результаты указывают на ведущую роль сортовой специфики в формировании качественных характеристик переработанных картофелепродуктов и позволяют выделить универсальные сорта для комплексной переработки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Кластеризация картофелепродуктов с выявлением причин её внутренней структуры, разработка требований к сырью и определение универсально пригодных для переработки сортов (собствен-

но, цель исследований) возможно только при их комплексном изучении с учётом изменений биохимического состава клубней в зависимости от биологических особенностей, таких как срок созревания и реакция на факторы среды. Установленное в опыте увеличение содержания в клубнях крахмала в более засушливый год, а также в ряду сортов от ранних до среднеспелых до 2,0% (см. Таблица 1), характерно для культуры картофеля и подтверждается результатами ранее проведенных исследований (Allar et al., 2025). Как следствие, при таких условиях отмечается и более высокое (на 0,3–0,5 баллов) качество сухого картофельного пюре. Отсутствие или слабое влияние осадков второй половины вегетации и группы спелости сорта на содержание редуцирующих сахаров в клубнях в послеуборочный период было показано и в работах других авторов (Yadav et al., 2023). Однако при последующем хранении в зависимости от температуры и срока переработки уровень сахаров может существенно увеличиваться, что необходимо учитывать при хранении сырья для производства чипсов, фри и быстрозамороженного картофеля.

При оценке качества картофелепродуктов важно понимать, насколько оно обусловлено внутренними сортовыми особенностями (для чего в исследованиях использовался широкий набор из 58 сортообразцов), а насколько внешними факторами, такими как количество осадков во 2й половине вегетации. По результатам дисперсионного анализа, представленного в таблице 2, установлен преимущественный вклад фактора сорта (57,4–68,2%). Аналогичный вывод по первостепенному влиянию сорта был получен и при выращивании картофеля в почвенно-климатических условиях Среднего Урала (Шанина и соавт., 2024), что свидетельствует о его универсальности при выращивании картофеля в различных широтах.

В отличие от данных Šimková et al. (2013), где зависимость была слабой, в нашем исследовании выявлены устойчивые отрицательные корреляции с редуцирующими сахарами, особенно у фри и чипсов (r до -0,678). Это может быть связано с использованием более узкой температурной кривой обжарки. В целом отрицательные корреляции качества обжаренных картофелепродуктов с редуцирующими сахарами широко известны и обусловлены потемнением продукта вследствие реакции Майяра и карамелизации при сопутствующем высоком содержании сахарозы. С содержанием крахмала качество всех изученных картофелепродуктов имело только положительные корреляции (см. Таблица 3). Особенно это было характерно для сухого картофельного пюре ($r=0,622$), т.к. при его восстановлении в кипятке консистенция продукта из высококрахмалистого сырья получается более рассыпчатой.

Использование иерархического кластерного анализа выявило тесную группировку фри, быстрозамороженного картофеля и чипсов на дендрограмме (см. Рисунок 1). Сами по себе эти данные о внутренней структуре данных ничего не говорят (Starchak et al., 2022). Однако, принимая во внимание, что качество этих картофелепродуктов определялось в первую очередь содержанием в клубнях редуцирующих сахаров, в то время как содержание крахмала было вторичным и имело значение лишь при низком уровне первых, можно заключить, что именно содержание крахмала и редуцирующих сахаров являлось скрытым параметром, определяющим внутреннюю структуру данных при кластеризации. Подтверждением решающего значения в группировке картофеля на те или иные виды

картотелепродуктов сортоспецифичного содержания крахмала и редуцирующих сахаров оказались также результаты регрессионного анализа — рассчитанные уравнения и построенные на их основе 3D-модели, которые для фри, быстрозамороженного картофеля и чипсов были практически идентичны (см. Рисунок 2). Удалённость вакуумированного картофеля на дендрограмме кластерного анализа от фри, быстрозамороженного картофеля и чипсов на 4,4 единицы евклидова расстояния была обусловлена снижением значимости в формировании качества этого продукта содержания редуцирующих сахаров и повышением роли содержания в клубнях крахмала. Еще большее удаление сухого картофельного пюре (8,4 единицы на дендрограмме кластерного анализа) от вакуумированного картофеля было связано с тем, что при его оценке, в отличие от прочих изученных продуктов, содержание в клубнях крахмала играло первостепенную роль, в то время как концентрация редуцирующих сахаров значения почти не имела. В подтверждение вышесказанного, трехмерные математические модели качества вакуумированного картофеля и пюре существенно отличались как от ранее рассмотренных, так и друг от друга (см. Рисунок 3).

Анализ разработанных 3D-моделей качества картофелепродуктов позволил сформулировать математически обоснованные требования по биохимическим показателям к сырью. А именно, для производства высококачественных чипсов, фри и быстрозамороженного картофеля, относящихся по результатам кластерного анализа практически к одной группе, содержание редуцирующих сахаров в клубнях должно быть <0,3%, крахмала >14,0%; для вакуумированного картофеля — редуцирующих сахаров <0,6%, крахмала >15,0%; для сухого картофельного пюре — редуцирующих сахаров <0,8%, крахмала >16,0%. На представленных математических моделях (см. Рисунки 2 и 3) указанные значения соответствуют зонам оранжевого и красного окрашивания плоскостей, что означает высокое (>8,0 баллов) качество соответствующего продукта переработки.

Кластерный анализ методом К-средних (см. Рисунок 4, кластер №9) позволил определить из пятидесяти восьми изученных десяти сортов, отличающихся универсальной пригодностью ко всем пяти рассмотренным видам переработки. Эти рекомендуемые в производство сорта — Бабынинский, Фарн

(среднеранние), Артур, Восторг, Евпатий, Кавалер, Надежда, Орлан, Розовый чародей, Чайка (средне-спелые). Таким образом, в топ-10 сортов не вошёл ни один ранний сорт, только 2 среднеранних и 8 среднеспелых, что на строгой математической основе подтверждает давно известное преимущество сортов более поздних сроков созревания для переработки. Определённые в кластерной группе №9 сорта могут быть рекомендованы для универсального промышленного использования, в первую очередь в Центральном регионе России при выращивании на дерново-подзолистых супесчаных почвах, где почвенно-климатические условия соответствуют условиям эксперимента.

Ограничения исследования

Для пяти представленных уравнений регрессии, позволяющих рассчитывать качество соответствующих картофелепродуктов по содержанию в клубнях редуцирующих сахаров и крахмала, коэффициенты детерминации (R^2) находились в диапазоне 0,65–0,71. Это говорит о том, что разработанные математические модели описывают закономерности формирования качества изученных картофелепродуктов только на 65–71 %, а остальные 29–35 % качества обусловлены неучтенными (и сложно учитываемыми) показателями, такими, как субъективные предпочтения вкуса, рассыпчатости, запаха и т.п. В целом балльная оценка весьма субъективна, т.к. не применялись объективные приборные методики и шкала не валидирована на международном уровне. Применительно к вакуумированному картофелю на оценку устойчивости к потемнению существенное влияние могло оказывать также неучтенное сортоспецифичное содержание фенольных соединений (Song et al., 2025). Кроме того кластеризация по «одиночной связи» склонна к выбросам. Возможна вариативность результатов при расширении выборки (другие регионы, другие годы).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была достигнута поставленная цель — обоснование биохимических параметров клубней картофеля, определяющих их пригодность к промышленной переработке на различные виды продуктов. Исследование позволило не только установить количественные критерии качества сырья, но и предложить классификацию картофелепродуктов на основе их технологических требований.

На основе иерархического кластерного анализа впервые проведена группировка картофелепродуктов на кластеры с обоснованием для каждого из них требований к сырью. Для производства высококачественных чипсов, фри быстрозамороженного картофеля содержание редуцирующих сахаров должно быть <0,3 %, крахмала >14,0 %; для вакуумированного картофеля — редуцирующих сахаров <0,6 %, крахмала >15,0 %; для сухого картофельного пюре — редуцирующих сахаров <0,8 %, крахмала >16,0 %. Эти значения могут использоваться как технологические ориентиры при стандартизации сырья.

Кластерным анализом методом К-средних для целей промпереработки доказано преимущество сортов картофеля более поздних сроков созревания, выделены и рекомендованы в производство 10 наилучших универсальных сортов картофеля. Результаты исследования представляют интерес для отраслевых НИИ, селекционных центров, занимающихся выведением сортов с прогнозируемой технологической пригодностью, а также для перерабатывающих предприятий и агрохолдингов, стремящихся оптимизировать сортовую политику в зависимости от целевого продукта.

В дальнейшем планируется расширить спектр биохимических параметров, включив в анализ содержание белка, витамина С, нитратов и фенольных соединений, а также исследовать влияние сроков и условий хранения на технологическую пригодность клубней. Это позволит повысить точность прогностических моделей и адаптировать рекомендации к различным технологиям переработки.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Станислав Владимирович Мальцев: концептуализация; разработка методологии исследования; формальный анализ; создание рукописи и ее редактирование.

Адам Эмирсултанович Шабанов: концептуализация; научное руководство; написание — подготовка черновика рукописи.

Павел Викторович Соломенцев: проведение исследований; верификация данных.

Дмитрий Васильевич Абросимов: проведение исследований; верификация данных.

Елена Валерьевна Князева: проведение исследований; верификация данных.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Stanislav V. Maltsev: conceptualization; methodology; formal analysis; writing — review & editing.

Adam E. Shabanov: conceptualization; supervision; writing — original draft preparation.

Pavel V. Solomentsev: investigation; data verification.

Dmitry V. Abrosimov: investigation; data verification.

Elena V. Knyazeva: investigation; data verification.

ЛИТЕРАТУРА

- Зейрук, В.Н., Мальцев, С.В., Васильева, С.В., & Бызов, В.А. (2019). Современные производственные факторы, определяющие биологическую и экономическую эффективность хранения картофеля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 20–28. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.177>
- Мальцев, С.В. (2021). Об эффективности обработки семенных клубней картофеля этиленом. *Сельскохозяйственная биология*, 56(1), 44–53. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.44rus>
- Maltsev, S.V. (2021). Efficiency of ethylene application on seed potato tubers. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 56(1), 44–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.44rus>
- Мальцев, С.В., Андрианов, С.В., Илюхина, Н.В., Колоколова, А.Ю., Горячева, Е.Д., & Крюкова, Е.В. (2021). Комплексная оценка различных способов подготовки очищенного картофеля в вакуумной упаковке. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2, 15–26. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.181>
- Мальцев, С.В., Андрианов, С.В., Шишкова, С.Г., Жевора, С.В., Митюшкин, А.В., Васильева, С.В., & Боярский, Д.С. (2024). Продуктивность обработанного этиленом семенного картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в зависимости от условий выращивания. *Сельскохозяйственная биология*, 59(5), 1008–1019. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.5.1008rus>
- Шанина, Е.П., Клюкина, Е.М., Беляева, Н.В., Стафеева, М.А., Келик, Л.А., & Ахметханов, В.Ф. (2024). Испытание сортов картофеля различного целевого использования. *Картофель и овощи*, 1, 39–43. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.92.35.003>
- Allarà, C., Moschetti, R., Bedini, G., Ciocca, M., Benelli, A., Lugli, P., Petti, L., & Ibba, P. (2025). Bioimpedance-based prediction of dry matter content and potato varieties through supervised machine learning methods. *Postharvest Biology and Technology*, 222, 113358. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113358>
- Barrera-Gavira, J.M., Pont, S.D.A., Morris, J.A., Hedley, P.E., Stewart, D., Taylor, M.A., & Hancock, R.D. (2021). Senescent sweetening in potato (*Solanum tuberosum*) tubers is associated with a

- reduction in plastidial glucose-6-phosphate/phosphate translocator transcripts. *Postharvest Biology and Technology*, 181, 111637. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111637>
- Dramićanin, A.M., Andrić, F.L., Poštić, D.Z., Momirović, N.M., & Milojković-Opsenica, D.M. (2018). Sugar profiles as a promising tool in tracing differences between potato cultivation systems, botanical origin and climate conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.06.005>
- El-Sayed, A.A. El-Maaty, S.M.A., & Abdelhady, M.M. (2023). Acrylamide reduction in potato chips as functional food product via application of enzymes, baker's yeast, and green tea powder. *Scientific African*, 20, e01698. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01698>
- Lee, J.S., Kim, S.Y., Kang, D.H., & Han, J. (2025). Environmentally sustainable triple-technique strategy to extend shelf-life of potato tubers: Combined treatment with excimer radiation, ultrasonic cleaning, and edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 222, 113367. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113367>
- Li, L., Zhu, T., Wen, L., Zhang, T., & Ren, M. (2024). Biofortification of potato nutrition. *Journal of Advanced Research*, In Press, Corrected Proof. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.10.033>
- Maltsev, S.V., Zeiruk, V.N., Belov, G.L., Vasil'eva, S.V., & Derevjagina, M.K. (2021). The influence of phytohormone ethylene on growth, development and yield of potato. *Research on Crops*, 22(special issue), 75–78. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.018>
- McFadden, J.R., & Huffman, W.E. (2017). Consumer valuation of information about food safety achieved using biotechnology: Evidence from new potato products. *Food Policy*, 69, 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.002>
- Mojo-Quisani, A., Licona-Pacco, K., Choque-Quispe, D., Calla-Florez, M., Ligarda-Samanez, C.A., Mamani-Condori, R., Florez-Huaracha, K., & Huamani-Melendez, V.J. (2024). Physicochemical properties of starch of four varieties of native potatoes. *Heliyon*, 10(16), e35809. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35809>
- Mukhametov, A., Shamekova, M., Dautkanova, D., Kazhymurat, A., & Ilyassova, G. (2023). Seed potato production regulatory framework established in top potato producing countries: Comparison of the GOST (Russia) and UNECE S-1 certification systems. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100520. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100520>
- Osipov, V.S., & Zeldner, A.G. (2023). Chapter 19 — Potato production in Russia and Ukraine, Editor(s): Mehmet Emin Çalişkan, Allah Bakhsh, Khawar Jabran. In *Potato Production Worldwide* (pp. 341–363). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00023-2>
- Reyniers, S., Ooms, N., Gomand, S., & Delcour, J.A. (2020). What makes starch from potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers unique: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 19, 2588–2612. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12596>
- Rudoy, E.V., Petukhova, M.S., Petrov, A.F., Kapustyanchik, S.Y., Ryumkina, I.N., & Ryumkin, S.V. (2020). Crop production in Russia 2030: Alternative data of the development scenarios. *Data in Brief*, 29, 105077. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105077>
- Saini, R., Kaur, S., Aggarwal, P., Dhiman, A., & Suthar, P. (2023). Conventional and emerging innovative processing technologies for quality processing of potato and potato-based products: A review. *Food Control*, 153, 109933. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109933>
- Sampaio, S.L., Barreira, J.C.M., Fernandes, A., Petropoulos, S.A., Alexopoulos, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., & Barros, L. (2021). Potato biodiversity: A linear discriminant analysis on the nutritional and physicochemical composition of fifty genotypes. *Food Chemistry*, 345, 128853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128853>
- Sharma, A.K., Zotarelli, L., Zare, A., & Sharma, L.K. (2025). Automated potato tuber mass estimation and grading with multiangle 2D images. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100832. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100832>
- Shen, W., Mao, L., Guan, W., Qi, X., & Lin, Q. (2025). Transcription factors StABR1 and StbHLH074 participate in starch and sugar metabolism in potato (*Solanum tuberosum* L.) during the storage and rewarming process. *Food Bioscience*, 65, 106109. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106109>

- Šimková, D., Lachman, J., Hamouz, K., & Vokál, B. (2013). Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry*, 141(4), 3872–3880. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.080>
- Song, J., Qi, M., Han, F., Xu, M., Li, Y., Zhang, X., Yan, C., Xie, Y., Zhang, D., & Li, H. (2025). Understanding the anti-browning mechanism and physicochemical properties in potato pulp during the magnetic field processing, *Food Chemistry*, 464(2), 141696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141696>
- Starchak, V.I., Kibal'nik, O.P., Stepanchenko, D.A., Efremova, I.G., & Semin, D.S. (2022). The use of cluster analysis in the selection of crop sorghum in Russia. *Journal of Agriculture and Environment*, 2(22). <https://doi.org/10.23649/jae.2022.2.22.10>
- Ștefan, F.M., Chiru, S.C., Iliev, P., Ilieva, I., Zhevor, S.V., Oves, E.V., Polgar, Z., & Balogh, S. (2023). Potato production in Eastern Europe (Romania, Republic of Moldova, Russia and Hungary). In M. E. Çalişkan, A. Bakhsh, Kh. Jabran (Eds.), *Potato Production Worldwide* (pp. 381–395). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00005-0>
- Téllez-Morales, J.A., & Arce-Ortiz, A. (2024). Advances in the quality characteristics of fried potato products with air frying technology: A mini review. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1228–1234. <https://doi.org/10.1039/d4fb00125g>
- Vasilyeva, S.V., Zeyruk, V.N., Derevyagina, M.K., Belov, G.L., & Maltsev, S.V. (2021). Efficiency of pre-plant treatment of potato tubers against basic phytophages in the central region of Russia. *Research on Crops*, 22(special issue), 67–71. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.016>
- Velotto, S., Squillante, J., Coppola, L., Romano, A., Romano, R., Cirillo, T., & Esposito, F. (2025). Acrylamide in processed potatoes from food service establishments: Effects of treatment methods and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 139, 107031. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.107031>
- Wang, Zj., Liu, H., Zeng, Fk., Yang, Y., Xu, D., Zhao, Y., Liu, X., Kaur, L., Liu, G., & Singh, J. (2023). Potato processing industry in China: Current scenario, future trends and global impact. *Potato Res*, 66, 543–562. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3>
- Yadav, N., Saini, P., Kaur, D., Gupta, V.K., Kaundal, B., Kumar, R., & Niharika, P.M. (2023). Blanching effect on nutritionally important starch fractions of selected processing potato cultivars. *Food Chemistry Advances*, 3, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100404>

REFERENCES

- Zeyruk, V.N., Maltsev, S.V., Vasilyeva, S.V., & Byzov, V.A. (2019). Modern Production Factors that Determine the Biological and Economic efficiency of potato storage. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 20–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.177>
- Maltsev, S.V. (2021). Efficiency of ethylene application on seed potato tubers. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 56(1), 44–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2021.1.44rus>
- Maltsev, S.V., Andrianov, S.V., Ilyukhina, N.V., Kolokolova, A.Y., Goryacheva, E.D. & Kryukova, E.V. (2021). Comprehensive Assessment of Various Methods of Peeled Potatoes Preparation for Vacuum Packaging. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, 15–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.181>
- Maltsev, S.V., Andrianov, S.V., Shishkova, S.G., Zhevor, S.V., Mityushkin, A.V., Vasilieva, S.V., & Bojarsky, D.S. (2024). Productivity of ethylene-treated seed potatoes (*Solanum tuberosum* L.) depending on growing conditions. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 59(5), 1008–1019. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2024.5.1008rus>
- Shanina, E.P., Klyukina, E.M., Belyaeva, N.V., Stafeeva, M.A., Kelik, L.A., & Akhmetkhanov, V.F. (2024). Testing of potato varieties for different intended uses. *Potatoes and Vegetables*, 1, 39–43. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.92.35.003>

- Allar, C., Moschetti, R., Bedini, G., Ciocca, M., Benelli, A., Lugli, P., Petti, L., & Ibba, P. (2025). Bioimpedance-based prediction of dry matter content and potato varieties through supervised machine learning methods. *Postharvest Biology and Technology*, 222, 113358. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113358>
- Barrera-Gavira, J.M., Pont, S.D.A., Morris, J.A., Hedley, P.E., Stewart, D., Taylor, M.A., & Hancock, R.D. (2021). Senescent sweetening in potato (*Solanum tuberosum*) tubers is associated with a reduction in plastidial glucose-6-phosphate/phosphate translocator transcripts. *Postharvest Biology and Technology*, 181, 111637. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111637>
- Dramianin, A.M., Andri, F.L., Poti, D.Z., Momirovi, N.M., & Milojkovi-Opsenica, D.M. (2018). Sugar profiles as a promising tool in tracing differences between potato cultivation systems, botanical origin and climate conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.06.005>
- El-Sayed, A.A. El-Maaty, S.M.A., & Abdelhady, M.M. (2023). Acrylamide reduction in potato chips as functional food product via application of enzymes, baker’s yeast, and green tea powder. *Scientific African*, 20, e01698. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01698>
- Lee, J.S., Kim, S.Y., Kang, D.H., & Han, J. (2025). Environmentally sustainable triple-technique strategy to extend shelf-life of potato tubers: Combined treatment with excimer radiation, ultrasonic cleaning, and edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 222, 113367. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113367>
- Li, L., Zhu, T., Wen, L., Zhang, T., & Ren, M. (2024). Biofortification of potato nutrition. *Journal of Advanced Research*, In Press, Corrected Proof. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.10.033>
- Maltsev, S.V., Zeiruk, V.N., Belov, G.L., Vasil’eva, S.V., & Derevjagina, M.K. (2021). The influence of phytohormone ethylene on growth, development and yield of potato. *Research on Crops*, 22(special issue), 75–78. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.018>
- McFadden, J.R., & Huffman, W.E. (2017). Consumer valuation of information about food safety achieved using biotechnology: Evidence from new potato products. *Food Policy*, 69, 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.002>
- Mojo-Quisani, A., Licona-Pacco, K., Choque-Quispe, D., Calla-Florez, M., Ligarda-Samanez, C.A., Mamani-Condori, R., Florez-Huaracha, K., & Huaman-Melendez, V.J. (2024). Physicochemical properties of starch of four varieties of native potatoes. *Heliyon*, 10(16), e35809. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35809>
- Mukhametov, A., Shamekova, M., Dautkanova, D., Kazhymurat, A., & Ilyassova, G. (2023). Seed potato production regulatory framework established in top potato producing countries: Comparison of the GOST (Russia) and UNECE S-1 certification systems. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100520. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100520>
- Osipov, V.S., & Zeldner, A.G. (2023). Potato production in Russia and Ukraine. In M. E. alıkan, A. Bakhsh, & Kh. Jabran (Eds.), *Potato Production Worldwide* (pp. 341–363). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00023-2>
- Reyniers, S., Ooms, N., Gomand, S., & Delcour, J.A. (2020). What makes starch from potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers unique: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 19, 2588–2612. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12596>
- Rudoy, E.V., Petukhova, M.S., Petrov, A.F., Kapustyanchik, S.Y., Ryumkina, I.N., & Ryumkin, S.V. (2020). Crop production in Russia 2030: Alternative data of the development scenarios. *Data in Brief*, 29, 105077. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105077>
- Saini, R., Kaur, S., Aggarwal, P., Dhiman, A., & Suthar, P. (2023). Conventional and emerging innovative processing technologies for quality processing of potato and potato-based products: A review. *Food Control*, 153, 109933. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109933>
- Sampaio, S.L., Barreira, J.C.M., Fernandes, A., Petropoulos, S.A., Alexopoulos, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., & Barros, L. (2021). Potato biodiversity: A linear discriminant analysis on the nutritional and physicochemical composition of fifty genotypes. *Food Chemistry*, 345, 128853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128853>

- Sharma, A.K., Zotarelli, L., Zare, A., & Sharma, L.K. (2025). Automated potato tuber mass estimation and grading with multiangle 2D images. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100832. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100832>
- Shen, W., Mao, L., Guan, W., Qi, X., & Lin, Q. (2025). Transcription factors StABR1 and StbHLH074 participate in starch and sugar metabolism in potato (*Solanum tuberosum* L.) during the storage and rewarming process. *Food Bioscience*, 65, 106109. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106109>
- Šimková, D., Lachman, J., Hamouz, K., & Vokál, B. (2013). Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chemistry*, 141(4), 3872–3880. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.080>
- Song, J., Qi, M., Han, F., Xu, M., Li, Y., Zhang, X., Yan, C., Xie, Y., Zhang, D., & Li, H. (2025). Understanding the anti-browning mechanism and physicochemical properties in potato pulp during the magnetic field processing. *Food Chemistry*, 464(2), 141696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141696>
- Starchak, V.I., Kibal'nik, O.P., Stepanchenko, D.A., Efremova, I.G., & Semin, D.S. (2022). The use of cluster analysis in the selection of crop sorghum in Russia. *Journal of Agriculture and Environment*, 2(22). <https://doi.org/10.23649/jae.2022.2.22.10>
- Ștefan, F.M., Chiru, S.C., Iliev, P., Ilieva, I., Zhevora, S.V., Oves, E.V., Polgar, Z., & Balogh, S. (2023). Potato production in Eastern Europe (Romania, Republic of Moldova, Russia and Hungary). In M. E. Çalişkan, A. Bakhsh, Kh. Jabran (Eds.), *Potato Production Worldwide* (pp. 381–395). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00005-0>
- Téllez-Morales, J.A., & Arce-Ortiz, A. (2024). Advances in the quality characteristics of fried potato products with air frying technology: a mini review. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1228–1234. <https://doi.org/10.1039/d4fb00125g>
- Vasilyeva, S.V., Zeyruk, V.N., Derevyagina, M.K., Belov, G.L., & Maltsev, S.V. (2021). Efficiency of pre-plant treatment of potato tubers against basic phytophages in the central region of Russia. *Research on Crops*, 22(special issue), 67–71. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.016>
- Velotto, S., Squillante, J., Coppola, L., Romano, A., Romano, R., Cirillo, T., & Esposito, F. (2025). Acrylamide in processed potatoes from food service establishments: Effects of treatment methods and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 139, 107031. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.107031>
- Wang, Zj., Liu, H., Zeng, Fk., Yang, Y., Xu, D., Zhao, Y., Liu, X., Kaur, L., Liu, G., & Singh, J. (2023). Potato Processing Industry in China: Current Scenario, Future Trends and Global Impact. *Potato Res*, 66, 543–562. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3>
- Yadav, N., Saini, P., Kaur, D., Gupta, V.K., Kaundal, B., Kumar, R., & Niharika, P.M. (2023). Blanching effect on nutritionally important starch fractions of selected processing potato cultivars. *Food Chemistry Advances*, 3, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100404>

ОБ АВТОРАХ

Мальцев Станислав Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела агротехнологий ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (140051, Российская Федерация, Московская обл., г.о. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7211-315X>, Scopus ID: 56128665200, Researcher ID: D-2308-2018, SPIN-код: 1106-0687, stanmalcev@yandex.ru

Шабанов Адам Эмирсултанович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом агротехнологий ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (140051, Российская Федерация, Московская обл., г.о. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7703-0617>, Researcher ID: E-5173-2018, SPIN-код: 3833-2055, agro-vniikh@mail.ru

Соломенцев Павел Викторович, научный сотрудник отдела агротехнологий, аспирант ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (140051, Российская Федерация, Московская обл., г.о. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9051-7139>, SPIN-код: 2089-2800, p_solomentsev@mail.ru

Абросимов Дмитрий Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела агротехнологий ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (140051, Российская Федерация, Московская обл., г.о. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6279-4972>, SPIN-код: 3517-7058, abrosimov.dmitry@mail.ru

Князева Елена Валерьевна, старший научный сотрудник отдела агротехнологий, аспирант ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (140051, Российская Федерация, Московская обл., г.о. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7336-222X>, SPIN-код: 9417-2265, elenak-73@rambler.ru

ABOUT THE AUTHOR

Maltsev Stanislav Vladimirovich, Doctor of Science in Agriculture, Principal Researcher at the Department of Agricultural Technologies of Russian Potato Research Centre (140051, Russian Federation, Moscow region, Lyubertsy urban district, Kraskovo village, Lorkha street, 23, letter B), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7211-315X>, Scopus ID: 56128665200, Researcher ID: D-2308-2018, SPIN-code: 1106-0687, stanmalcev@yandex.ru

Shabanov Adam Emirsultanovich, Doctor of Agricultural sciences, Principal Researcher, Head of the Department of Agricultural Technologies of Russian Potato Research Centre (140051, Russian Federation, Moscow region, Lyubertsy urban district, Kraskovo village, Lorkha street, 23, letter B), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7703-0617>, Researcher ID: E-5173-2018, SPIN-code: 3833-2055, agro-vniikh@mail.ru

Solomentsev Pavel Viktorovich, Researcher at the Department of Agricultural Technologies, Postgraduate Student of Russian Potato Research Centre (140051, Russian Federation, Moscow region, Lyubertsy urban district, Kraskovo village, Lorkha street, 23, letter B), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9051-7139>, SPIN-code: 2089-2800, p_solomentsev@mail.ru

Abrosimov Dmitry Vasilyevich, Cand. Sc. (Agriculture), Leading Researcher at the Department of Agricultural Technologies of Russian Potato Research Centre (140051, Russian Federation, Moscow region, Lyubertsy urban district, Kraskovo village, Lorkha street, 23, letter B), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6279-4972>, SPIN-code: 3517-7058, abrosimov.dmitry@mail.ru

Knyazeva Elena Valerievna, Senior Researcher at the Department of Agricultural Technologies, Postgraduate Student of Russian Potato Research Centre (140051, Russian Federation, Moscow region, Lyubertsy urban district, Kraskovo village, Lorkha street, 23, letter B), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7336-222X>, SPIN-code: 9417-2265, elenak-73@rambler.ru