

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ, ОБОГАЩЁННОЙ СЕЛЕНОМ И ВИТАМИННО-МИНЕРАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ KAZvit

¹Ж.Н. УСЕНОВА , ²А.К. ТУЛЕКБАЕВА , ³В.И. ХИНЕВИЧ , ¹Л.А. МАМАЕВА 

¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, проспект Абая, 8

²НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Республика Казахстан, 160012, Шымкент, пр-к Тауке-хана, 5

³Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь, 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а)

Электронная почта автора-корреспондента: aruana.baitore2018@mail.ru

В статье рассмотрены технологические аспекты обогащения пшеничной муки микронутриентами, как эффективного способа повышения пищевой и биологической ценности массово потребляемых продуктов питания в условиях роста дефицита жизненно важных витаминов и минеральных веществ у населения. Целью исследований является разработка и научное обоснование технологических решений по производству хлеба из пшеничной муки высшего и первого сортов, обогащённой органическим селеном и комплексной витаминно-минеральной добавкой KAZvit, с сохранением стабильных хлебопекарных свойств теста и качества готового изделия. В рамках работы сформирована и апробирована технологическая схема производства хлеба, включающая этапы подготовки и обогащения муки, замеса теста, брожения, формования, расстойки и выпечки, с установлением рациональных дозировок и режимных параметров процессов. Научная значимость исследования заключается в выявлении закономерностей влияния органического селена и витаминно-минерального комплекса на реологические свойства теста и формирование структуры хлеба, а практическая - в возможности внедрения разработанной технологии на предприятиях хлебопекарной промышленности Республики Казахстан. Установлены оптимальные дозировки органического селена и комплекса KAZvit, обеспечивающие сохранение и улучшение реологических характеристик теста. Для муки первого сорта отмечено сохранение высокой растяжимости теста (94–97 мм), силы теста на уровне 466 ед. и минимальные изменения упругости (123–127 мм), тогда как в муке высшего сорта наблюдалось некоторое снижение растяжимости (75–133 мм) при сохранении силы теста (388–440 ед.) и упругости (125–140 мм), что позволяет использовать оба сорта для получения хлеба с различными структурно-текстурными характеристиками. На основе обогащённой муки изготовлены опытные образцы хлеба, для которых проведена оценка органолептических и физико-химических показателей. Установлено, что содержание селена, железа, цинка и витаминов группы В сохраняется после выпечки, а показатели пористости, кислотности, влажности, пропечённости и промеса соответствуют требованиям к качеству хлебобулочных изделий. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанной технологической схемы и перспективность её промышленного применения для производства функционального хлеба.

Ключевые слова: пшеничная мука высшего и первого сортов, микронутриентное обогащение, органический селен, витаминно-минеральная добавка KAZvit, реологические свойства теста, технологическая схема производства, функциональный хлеб.

СЕЛЕН ЖӘНЕ KAZvit ВИТАМИН-МИНЕРАЛДЫҚ КЕШЕНІМЕН БАЙЫТЫЛҒАН БИДАЙ ҰНЫНАН НАН ӨНДІРУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ

¹Ж.Н. ҮСЕНОВА, ²А.К. ТУЛЕКБАЕВА, ³В.И. ХИНЕВИЧ, ¹Л.А. МАМАЕВА

¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы,
050010, Алматы қ., Абай даңғылы, 8

²М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті КЕАҚ, Қазақстан Республикасы
160012, Шымкент қ., Тәуке-хан даңғылы, 5

³Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті, Беларусь Республикасы
220006, Минск қ., Свердлов көш., 13а)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: aruana.baitore2018@mail.ru*

Мақалада бидай ұнын микронутриенттермен байыту технологиялық аспектілері қарастырылған, бұл халық арасында өмірлік маңызды витаминдер мен минералдардың тапшылығы өсіп отырған жағдайда кеңінен тұтынылатын өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығын арттырудың тиімді әдісі ретінде ұсынылады. Зерттеудің мақсаты – органикалық селен және KAZvit кешенді витамин-минералдық қоспасымен байытылған бірінші және жоғарғы сортты бидай ұнынан нан өндіру бойынша технологиялық шешімдерді әзірлеу және ғылыми тұрғыдан негіздеу, тестінің тұрақты нандық қасиеттерін және дайын өнімнің сапасын сақтау. Жұмыс аясында ұнды дайындау және байыту, қамырды илеу, ашыту, қалыптастау, көтерлу және пісіру кезеңдерін қамтитын нан өндірісінің технологиялық схемасы жасалып, апробациядан өткен кезінде процестің параметрлері мен рационалды мөлшерлеулер анықталған. Зерттеудің ғылыми маңызы – органикалық селен мен витамин-минералдық кешеннің қамырдың реологиялық қасиеттеріне және нан құрылымының қалыптасуына әсер ету заңдылықтарын анықтауда, ал практикалық мәні әзірленген технологияны Қазақстан Республикасының нан-тоқаш өндірісі кәсіпорындарында енгізу мүмкіндігінде. Органикалық селен мен KAZvit кешенінің қамырдың реологиялық қасиеттерін сақтау және жақсарту үшін оңтайлы мөлшерлері анықталған. Бірінші сортты ұн үшін қамырдың жоғары созылғыштығы (94–97 мм), қамырдың күші 466 бірлік деңгейінде және серпімділіктің минималды өзгерістері (123–127 мм) сақталса, жоғарғы сортты ұнда созылғыштық біраз төмендегенімен (75–133 мм), қамырдың күші (388–440 бірлік) және серпімділігі (125–140 мм) сақталған, бұл әр екі сортты да түрлі құрылымдық-текстуралық сипаттамалары бар нан алу үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Байытылған ұн негізінде тәжірибелік нан үлгілері дайындалып, олардың органолептикалық және физико-химиялық көрсеткіштері бағаланған. Нәтижелер көрсеткендей, селен, темір, мырыш және В тобы витаминдерінің мөлшері пісіру процесінен кейін сақталады, ал ұнтақтық, қышқылдық, ылғалдылық, пісіп жетілу және промес көрсеткіштері нан-тоқаш өнімдерінің сапа талаптарына сәйкес келеді. Алынған нәтижелер әзірленген технологиялық схеманың тиімділігін және функционалды нан өндіру үшін өнеркәсіптік қолданыс перспективаларын растайды.

Негізгі сөздер: жоғарғы және бірінші сортты бидай ұны, микронутриенттермен байыту, органикалық селен, KAZvit витамин-минералдық қоспасы, қамырдың реологиялық қасиеттері, өндіріс технологиялық схемасы, функционалды нан.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF BREAD PRODUCTION FROM WHEAT FLOUR ENRICHED WITH SELENIUM AND THE KAZvit VITAMIN-MINERAL COMPLEX

¹ZH.N. USSENOVA, ²A.K. TULEKBAEVA, ³V.I. KHINEVICH, ¹L.A. MAMAIEVA

¹Kazakh National Agrarian Research University, Kazakhstan, 050010, Almaty, Abay Avenue, 8

²NAO "M. Auezov South Kazakhstan University", Kazakhstan, 160012, Shymkent, Tauke Khan Ave., 5

³Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus, 220006, Minsk, st. Sverdlov, 13a)

Corresponding author's email: aruana.baitore2018@mail.ru*

The article examines the technological aspects of enriching wheat flour with micronutrients as an effective way to enhance the nutritional and biological value of widely consumed food products amid the increasing deficiency of essential vitamins and minerals in the population. The aim of the study is to develop and scientifically substantiate technological solutions for producing bread from premium and first-grade wheat flour enriched with organic selenium and the KAZvit vitamin-mineral complex, while maintaining stable dough baking properties and the quality of the final product. Within the study, a technological scheme for bread production was developed and tested, including stages of flour preparation and enrichment, dough mixing, fermentation, shaping, dough rising, and baking, with the establishment of rational dosages and process parameters. The scientific significance of the research lies in identifying the patterns of the influence of organic selenium and

the vitamin-mineral complex on the rheological properties of dough and the formation of bread structure, while its practical significance is in the potential implementation of the developed technology in bakeries of the Republic of Kazakhstan. Optimal dosages of organic selenium and the KAZvit complex were determined to ensure the preservation and improvement of the dough's rheological characteristics. For first-grade flour, high dough extensibility (94–97 mm), dough strength at 466 units, and minimal elasticity changes (123–127 mm) were maintained, whereas premium flour showed some decrease in extensibility (75–133 mm) while maintaining dough strength (388–440 units) and elasticity (125–140 mm), allowing both flour grades to be used for producing bread with different structural and textural characteristics. Experimental bread samples were prepared from enriched flour, and their organoleptic and physicochemical properties were evaluated. It was found that the content of selenium, iron, zinc, and B-group vitamins was preserved after baking, and the indicators of porosity, acidity, moisture, baking quality, and kneading corresponded to the quality requirements for bakery products. The results confirm the effectiveness of the developed technological scheme and the prospects for its industrial application in the production of functional bread.

Keywords: premium and first-grade wheat flour, micronutrient enrichment, organic selenium, KAZvit vitamin-mineral complex, dough rheological properties, technological production scheme, functional bread.

Введение

Пшеничная мука является одним из основных продуктов массового потребления во многих странах, включая Казахстан, однако при промышленной переработке зерна (рафинировании, удалении оболочек и отрубей) происходит значительная утрата витаминов и микроэлементов, что снижает её пищевую и биологическую ценность [1, 2]. В условиях распространённого дефицита микроэлементов в рационе населения, особенно минералов и витаминов – макро- и микронутриентов, проблема восполнения их недостатка приобретает критическое значение и является задачей общественного здравоохранения [3].

В глобальной практике обогащение (фортификация) пшеничной муки признано эффективной и экономичной стратегией улучшения питания населения, согласно рекомендациям World Health Organization (ВОЗ), промышленная фортификация муки витаминами и минералами — это простой, доступный и масштабируемый способ повысить содержание необходимых нутриентов в рационе при минимальных рисках [4, 5].

Одним из современных направлений является биофортификация и технологическое обогащение селена в зерне и муке, поскольку селен играет важную роль в антиоксидантной защите и метаболизме человека. Агро- и технологическая биофортификация позволяют повысить содержание селена в зерне и последующей муке с приемлемой степенью удержания при помоле и выпечке, что документировано в ряде исследований [6, 7]. В то же время исследования показывают, что форма и точка внесения (агрономические методы, предварительное обогащение муки или прямое внесение премиксов) влияют на содержание и спецификацию селена в конечном продукте и на его технологические свойства [8, 9].

Несмотря на это, в контексте Казахстана и стран региона остаётся недостаточно разработанной технологическая и нормативная база, обеспечивающая устойчивую и качественную фортификацию муки. Многие исследования сосредоточены либо на биологическом эффекте обогащения (питательная ценность), либо на оценке здоровья населения, при этом вопрос влияния обогащения на технологические свойства муки и теста, недостаточно изучен [10].

Кроме того, важна оценка влияния обогащения на реологические параметры муки и теста (альвеограф, фаринограф и др.), так как изменения упругости, растяжимости и силы теста напрямую определяют пригодность муки для различных видов хлебобулочных изделий. Обзор и экспериментальные работы по взаимодействию обогащений и реологических характеристик показали, что эффекты могут быть различны в зависимости от типа муки (высший / первый сорт), формы добавок и их концентраций, поэтому, требуется комплексный подход к разработке технологической схемы и нормативных требований [11-14].

В Казахстане наблюдается высокая доля промышленно перерабатываемой муки в рационе населения, а также существующие инициативы по гармонизации стандартов и программ фортификации в Центральной Азии, что подчёркивает практическую важность разработки адаптированных технологических и нормативных решений для фортификации пшеничной муки с учётом локальных условий и наличных премиксов (например, KazVit) [15, 16].

Таким образом, проблемная ситуация формируется из сочетания нескольких факторов: первый фактор - потери микронутриентов при помоле и переработке зерна, второй – необходимость повышения микронутриентной плотности массово потребляемых продуктов, третий фактор - нехватка комплексных тех-

нологических исследований и нормативной базы, учитывающих влияние обогащения на реологические и хлебопекарные показатели. Отсюда вытекает цель наших исследований - разработка технологических решений по обогащению пшеничной муки органическим селеном и комплексной витаминно-минеральной добавкой KazVit с оценкой их влияния на реологические параметры теста, сохранности микронутриентов в готовой продукции – хлеба и хлебобулочных изделий, а также, обоснованием технологических параметров, необходимых для промышленной реализации процесса и представлением разработанной нами полной технологической схемы производства хлеба из обогащённой муки, включающей последовательность всех этапов - от дозирования и смешивания добавок до выпечки и контроля качества готового изделия».

Материалы и методы исследований

Подготовка образцов муки пшеничной двух сортов, обогащение и исследование реологических свойств теста проводились в производственной лаборатории мукомольного цеха ТОО «Ерасыл 2030» (производственная база исследований, г. Шымкент), подготовка теста из муки обогащенной и выпечка хлеба на кафедре «Технология и безопасность пищевых продуктов» Казахского национального аграрного исследовательского университета (г. Алматы), аналитическая оценка качества образцов готовой продукции выполнялась в аккредитованной лаборатории Алматинского технологического университета (г. Алматы).

Исходные материалы: в качестве основного сырья использовались образцы пшеничной муки высшего и первого сорта торговой марки «Маяк-Астык», производимой на предприятии ТОО «Ерасыл 2030» из твёрдых сортов пшеницы. Физико-химический состав образцов в зависимости от сорта имеет отличия по содержанию белка, влажности, зольности, крахмала и водопоглощению. Физико-химические характеристики муки высшего сорта (Образец №1): влажность 14,9%, белок 14,26%, зольность 0,27%, крахмал 72,7%, водопоглощение 62,0%. Мука первого сорта (Образец №2) с влажностью 14,9%, белка - 15,73%, зольностью 0,40%, крахмалом 71,1%, водопоглощением 62,9% [16].

Веществами для обогащения являются селен в форме селенометионина (L-Selenomethionine) и минерально-витаминный комплекс KAZvit 28190, казахстанского производителя ТОО «DeutschStandatd», в составе которого содержится, в г/100г - железа 33-36, цинка 14,5-16,

витамина В1 1,3-1,6, витамина В2 2-2,4, ниацина 6,7-7,5 и фолиевой кислоты 1-1,3.

Процесс обогащения муки. Обогащение муки проводилось методом сухого смешивания, обеспечивающим равномерное распределение микронутриентов в объёме продукта. Перед введением в основную партию образцов муки, добавки подвергались предварительной гомогенизации: навеску органического селена в форме L-Selenomethionine и минерально-витаминный комплекс KAZvit 28190 тщательно перемешивали с 1–2% муки до получения однородного предварительного премикса. Такой подход предотвращал агломерацию частиц и обеспечивал стабильное качество обогащения. Подготовленный премикс вносили в основной объём муки (отдельно для муки высшего и первого сортов) в расчётных дозировках:

-для муки высшего сорта (Образец №1): 0,15 мг селена на 100 г муки и 10–15 мг комплекса KAZvit 28190 на 100 г муки;

-для муки первого сорта (Образец №2): 0,015 мг селена на 100 г муки и 10–15 мг комплекса KAZvit 28190 на 100 г муки.

Смешивание выполняли в лабораторном смесителе при постоянной скорости вращения 60 ± 5 об/мин в течение 10 минут - параметр, соответствующий рекомендациям по введению микроингредиентов в хлебопекарное сырьё и обеспечивающий однородность распределения активных компонентов [17, 18].

После смешивания каждая партия образца оценивалась визуально и подвергалась контролю содержания микронутриентов: минеральных элементов по ГОСТ 12341-2013, витаминов группы В по ГОСТ 31483-2012, что подтверждало правильность внесения селена и KAZvit, а также равномерность распределения добавок. Обогащённые образцы муки далее использовались для приготовления теста и выпечки хлеба.

Подготовка теста. Тесто готовилось стандартным способом с опарой и ферментацией, с соблюдением температурного и временного режимов, необходимых для активации ферментов и формирования оптимальной структуры клейковины. Опара готовилась при влажности 50–52% и выдерживалась 4–4,5 часа при температуре 28–30 °С. Основной замес проводился в течение 6–8 минут в интенсивном режиме, обеспечивающем развитие клейковинного каркаса. После замеса температура теста составляла 28–30 °С. Брожение осуществлялось в течение 90 минут с одноразовой обминкой через 45 минут. Расстойка заготовок проводилась при 35–38 °С и относительной влажности 75–80% в течение 50–60 минут, что

позволяло учитывать особенности реологических показателей обогащённого теста - сохранение растяжимости (89–97 мм) и силы теста (440–466 ед.).

После приготовления теста из каждого образца были проведены исследования реологических показателей, включая вязкость, пластичность, водопоглощение и эластичность. Для этого применялся альвеограф AlveoLab (Chopin Technologies) согласно методике ISO 27971:2015 и ГОСТ ISO 5530-4-2014[19, 20]. Такой подход позволял оценить технологическую пригодность теста и прогнозировать его поведение в процессе формовки и выпечки, обеспечивая объективное сравнение свойств теста, полученного из различных сортов муки с введением микронутриентов.

В качестве ключевых параметров определяли энергию деформации теста (W), характеризующую силу муки, сопротивление теста растяжению (P), отражающее упругость; величину растяжимости (L), а также их соотношение P/L , служащее интегральным показателем эластичности тестовой системы. Совокупность этих показателей позволяет оценить способность теста к растяжению, устойчивость к разрыву и адаптацию к технологическим нагрузкам на этапах расстойки и выпечки.

Измерения проводили в трехкратной повторности с последующим расчетом средних значений и стандартных отклонений. Реологические испытания осуществляли не позднее чем через 2 часа после замеса теста при температуре 20 ± 1 °С, что обеспечивало воспроизводимость и сопоставимость результатов. Для дополнительной оценки стабильности белковой матрицы часть образцов анализировали методом инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием (FTIR) с целью выявления возможных изменений в области амидных групп белков. Реологические свойства теста исследовали с использованием альвеографа AlveoLab (Chopin Technologies), представляющего собой комплексную систему, включающую тестомесильный блок с вытяжным каналом, устройство для формирования и надува тестовых заготовок, измерительный модуль для регистрации давления, а также программно-аппаратный комплекс Alveolink для обработки и визуализации данных. В процессе испытаний формировались альвеографические кривые, которые автоматически отображались на экране компьютера и сохранялись в виде стандартных протоколов анализа для каждого образца.

Подготовку проб для альвеографического анализа выполняли в соответствии с требо-

ваниями стандарта ISO 27971. Процедура включала несколько последовательных этапов. На первом этапе осуществляли подготовку компонентов: навеску 250 г муки, приготовление 2,5%-ного раствора хлорида натрия на дистиллированной воде и внесение обогащающих добавок - селена и витаминно-минерального комплекса KAZvit 28190 в расчётных количествах. Температура всех ингредиентов поддерживалась в диапазоне 23–25 °С. Комплекс KAZvit вводили, согласно утвержденной рецептуре из расчёта 150 г на 1 т муки (15 мг на 100 г). Для контрольных образцов без обогащения в муку высшего сорта добавляли 0,15 мг селена и 15 мг KAZvit на 100 г муки, а для муки первого сорта - 0,015 мг селена и 15 мг KAZvit.

На втором этапе определяли водопоглощающую способность муки, которую устанавливали автоматически в ходе калибровочного замеса либо вручную; ориентировочный диапазон составлял 50–58 % воды от массы муки. Далее проводили замес теста в течение 8 минут (± 15 секунд) с использованием встроенного тестомеса альвеографа. Готовое тесто должно было иметь однородную структуру, гладкую поверхность и отсутствие липкости.

Следующим этапом являлось формирование тестовых заготовок: из теста получали пять одинаковых лепешек диаметром около 4 см и толщиной 1–2 мм с ровной поверхностью без трещин и пузырей. После этого заготовки подвергали расстойке в течение 20 минут при температуре $25 \pm 0,5$ °С и относительной влажности 75–85 %, что обеспечивало стабилизацию клейковинного каркаса.

Заключительный этап анализа заключался в испытании расстойных заготовок путем нагнетания воздуха до момента их разрыва. В ходе данного процесса прибор автоматически регистрировал параметры деформации и формировал альвеограмму, на основе которой рассчитывались основные реологические характеристики. Благодаря автоматическому контролю температуры и влажности воздуха результаты измерений отличались высокой точностью и не зависели от внешних условий. По итогам каждого испытания формировался стандартный сертификат анализа с результатами измерений.

Формирование и выпечка теста. Готовое тесто делилось на заготовки, формовалось и направлялось на расстойку при 35–38 °С и относительной влажности 75–80% в течение 50–60 минут. Такие условия обеспечивают стабильное развитие клейковины и равномерное накопление газовой фазы. Выпечка проводилась в конвек-

ционной хлебопекарной печи при 200–220°C в течение 28–32 минут. Контролируемый тепловой режим обеспечивал формирование характерной эластичной пористой структуры мякиша, ровной золотистой корки и способствовал сохранению органических форм селена и витаминов группы В.

Методы оценки качества готовых изделий.

Качество хлеба оценивалось с использованием стандартизированных методик. Определение минеральных элементов осуществляли согласно ГОСТ 12341-2013, содержание витаминов - по ГОСТ 31483-2012. Органолептические характеристики анализировали в соответствии с ГОСТ 5667-2022. Физико-химические показатели (влажность, кислотность, пористость, общий выход) определяли по действующим нормативам, что обеспечивало сопоставимость полученных

данных с национальными и международными требованиями.

Результаты и их обсуждение

Одним из основных этапов данной работы являлась оценка качества теста, приготовленного из муки, обогащенной селеном и минерально-витаминной добавкой и его технологической пригодности для получения готового продукта – хлеба, с требуемыми потребительскими характеристиками. Для прогнозирования поведения теста при изготовлении хлеба был применен альвеографический метод определения его ключевых реологических показателей – вязкости, пластичности, водопоглощения и эластичности.

На рисунке 1 представлены результаты альвеографического анализа образцов №1 (а) и №2 (б).



а) Образец теста №1 из муки высшего сорта



б) Образец теста №2 из муки 1 сорта

Рисунок 1. Альвеографические кривые образцов теста из обогащенной муки

Результаты альвеографического анализа, показали, что для образца теста №1, приготовленного на основе муки высшего сорта с добавлением селена и витаминно-минерального комплекса KAZvit, установлены следующие реологические характеристики: упругость теста составила 133 мм, растяжимость - 75 мм, индекс эластичности - 62,6 %, сила теста - 388 ед., показатель G - 19,2, а отношение P/L достигло 1,77.

В образце теста №2, полученном из муки первого сорта при аналогичном обогащении, значения реологических характеристик отличались более сбалансированным профилем: упругость составила 130 мм, растяжимость - 94 мм, индекс эластичности - 66,4 %, сила теста - 466 ед., показатель G - 21,5, при соотношении P/L, равном 1,36.

Анализ экспериментальных результатов показал, что тесто, приготовленное из муки первого сорта, обладает более высокой стабильностью реологических характеристик при микронутриентном обогащении. Это подтверждается сохранением высоких значений растяжимости (L = 94 мм) и силы теста (W = 466 ед.) при умеренных изменениях показателя упругости (P = 130 мм). Напротив, для муки высшего сорта отмечена более выраженная чувствительность к введению добавок: увеличение упругости теста до 133 мм сопровождалось снижением силы теста до 388 ед. и уменьшением растяжимости до 75 мм, что указывает на формирование более жесткой и менее пластичной структуры теста.

В целом, результаты подтверждают целесообразность применения органического

селена в сочетании с комплексом KAZvit для производства функциональных хлебобулочных изделий, включая хлеб, без заметного ухудшения технологических характеристик теста. Выбор сорта муки при этом выступает важным инструментом регулирования текстурных свойств конечного продукта, позволяя получать изделия, как с более плотной, так и с более мягкой и пористой структурой.

Влияние реологических свойств теста на качество обогащённого хлеба. Результаты анализа готовой продукции – хлеба, полученного после выпечки, в аккредитованной лаборатории АТУ (Протокол испытаний № 1007 от 12.09.2025 г. для образца № 1, Протокол испытаний № 1008 от 12.09.2025 г. для образца №2), сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты испытаний готовой продукции (хлеба) из обогащенной муки

Показатели	Хлеб из образца теста №1	Хлеб из образца теста №2
Физико-химические:		
Массовая доля белка, %	8,70±0,09	9,38±0,10
Массовая доля жира, %	4,11±0,04	1,84±0,02
Массовая доля углеводов, %	44,52±0,42	42,63±0,39
Массовая доля влаги, %	40,91±0,50	44,32±0,45
Кислотность, °Т	1,7	2,2
Пористость, %	65,71	64,97
Энергетическая ценность, ккал	238,74	213,94
Минеральные элементы:		
Железо, мг/100г	1,95±0,02	1,87±0,02
Цинк, мг/100г	0,52±0,006	0,49±0,005
Селен, мг/100г	0,049±0,0005	0,057±0,0005
Токсичные элементы:		
Pb, мг/кг	Не обнаружено	Не обнаружено
Cd, мг/кг	Не обнаружено	Не обнаружено
Hg, мг/кг	Не обнаружено	Не обнаружено
As, мг/кг	Не обнаружено	Не обнаружено
Витамины:		
B ₁	0,408±0,081	0,395±0,079
B ₂	0,239±0,100	0,221±0,092
B ₃	4,40±0,88	4,03±0,80
B ₅	0,551±0,110	0,519±0,104
B ₆	0,106±0,021	0,101±0,020
B _с	0,084±0,016	0,088±0,017
Органолептические показатели:		
- Внешний вид	соответствующая хлебной форме, в которой проводилась выпечка	соответствующая хлебной форме, в которой проводилась выпечка
-Цвет	светло-желтый	светло-желтый
-Вкус	свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса свойственный данному виду изделия	свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса свойственный данному виду изделия
-Запах		
Состояние мякиша:		
-пропеченность	пропеченный, не влажный на ощупь	пропеченный, не влажный на ощупь
-промес	без комочков и следов непромеса	без комочков и следов непромеса
-пористость	развитая, без пустот и уплотнений	развитая, без пустот и уплотнений

Результаты альвеографического анализа теста, приготовленного из обогащённой муки двух сортов, нашли прямое отражение в показателях качества готового хлеба. Различия в упругости, растяжимости и силе теста обусловили особенности формирования структуры мякиша, влажности и кислотности изделий после выпечки. Хлеб, полученный из муки высшего сорта (образец №1), характеризовался правильной формой, соответствующей используемой металлической форме для выпечки, светло-жёлтым цветом корки и выраженными свойственными вкусо-ароматическими характеристиками без посторонних привкусов и запахов. Мякиш был полностью пропечённым, не липким на ощупь, с равномерной, хорошо развитой пористостью без уплотнений и пустот. Массовая доля влаги составила $40,93 \pm 0,5\%$, кислотность – $1,7^\circ\text{T}$, пористость – $65,71\%$.

Указанные характеристики согласуются с реологическими параметрами теста данного образца, для которого было характерно повышение упругости ($P = 133$ мм) при одновременном снижении растяжимости ($L = 75$ мм) и силы теста ($W = 388$). Такая комбинация свойств способствовала формированию стабильной, но несколько более плотной структуры мякиша и умеренной влажности готового изделия.

Хлеб из муки первого сорта (образец №2), также обогащённой селеном и комплексом KAZvit 28190, обладал аналогичными органолептическими характеристиками: правильной формой, равномерной окраской корки, характерным вкусом и запахом. Однако данный образец отличался более высокой массовой долей влаги ($44,32 \pm 0,45\%$) и кислотностью ($2,2^\circ\text{T}$), при близких значениях пористости ($64,97\%$).

Повышенная влажность и более выраженная кислотность хлеба из муки первого сорта коррелируют с реологическими свойствами теста, для которого были зафиксированы более высокие значения растяжимости ($L = 94$ мм) и силы теста ($W = 466$) при умеренной упругости ($P = 130$ мм). Такая структура теста способствовала лучшему удержанию газов брожения и влаги, что обеспечило более мягкий и пластичный мякиш.

Минеральный состав готовых изделий подтвердил эффективность выбранной технологии обогащения. В хлебе из муки высшего сорта содержание селена составило $0,049 \pm 0,0005$ мг/100 г, железа – $1,95 \pm 0,02$ мг/100 г, цинка – $0,52 \pm 0,006$ мг/100 г. Для хлеба из муки первого сорта

отмечено более высокое содержание селена ($0,057 \pm 0,0005$ мг/100 г) при сопоставимых значениях железа ($1,87 \pm 0,02$ мг/100 г) и цинка ($0,49 \pm 0,005$ мг/100 г), что может быть связано, с особенностями белково-клейковинного комплекса муки первого сорта и его способностью к удержанию микронутриентов.

Результаты выпечки подтверждают данные реологического анализа теста и свидетельствуют о том, что мука первого сорта демонстрирует более высокую технологическую устойчивость при микронутриентном обогащении. Это выражается в сохранении оптимальной структуры мякиша, повышенной влажности и стабильных органолептических характеристиках готового хлеба. В то же время мука высшего сорта обеспечивает формирование изделий с более плотной структурой и меньшей влажностью, что позволяет варьировать свойства функционального хлеба в зависимости от выбранного сырья.

Технологическая схема производства хлеба из обогащённой муки. Проведённые экспериментальные исследования реологических свойств теста и показателей качества готовых хлебобулочных изделий позволили определить рациональные этапы технологической схемы производства хлеба из муки, обогащённой органическим селеном и витаминно-минеральной добавкой KAZvit 28190.

Полученные результаты послужили основанием для формирования целостной технологической последовательности, обеспечивающей сохранение технологических свойств теста и высокое качество готового продукта.

Отличительной особенностью предложенной технологии является введение микронутриентов на стадии подготовки муки методом сухого смешивания с предварительным получением премикса, что обеспечивает равномерность распределения биологически активных компонентов и стабильность технологических свойств теста. Технология предусматривает отдельное приготовление теста из муки высшего и первого сортов, обогащённых одинаковыми компонентами, что позволяет учитывать различия их реологических характеристик и адаптировать режимы тестоведения и выпечки.

На рисунке 3 приведена технологическая схема хлеба из муки, обогащённой селеном и витаминно-минеральной добавкой KAZvit 28190.

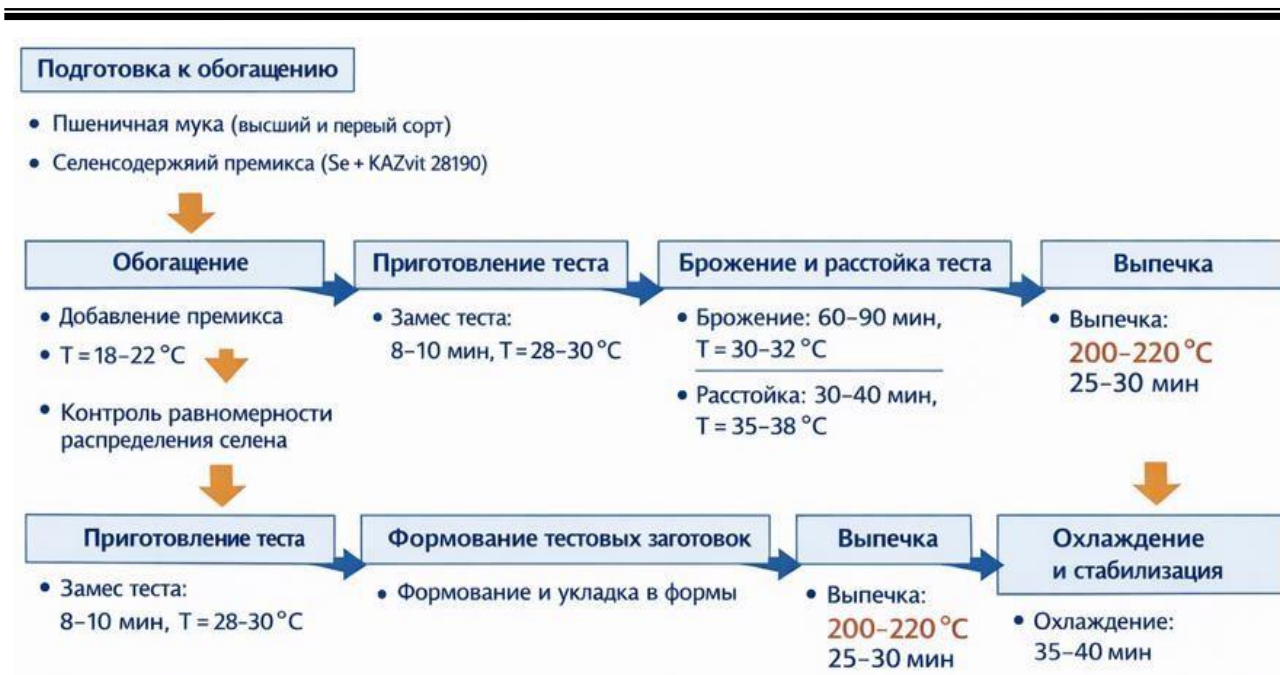


Рисунок 3. Технологическая схема производства хлеба из муки, обогащённой селеном и витаминно-минеральной добавкой KAZvit 28190

Подготовка ингредиентов. Мука: высший сорт (Образец №1) и первый сорт (Образец №2). Добавки для обогащения: Селен (L-Selenomethionine), минерально-витаминный комплекс KAZvit 28190. Дозировка на 100 г муки: Образец

№1: селен 0,030 мг, KAZvit 0,02 %, Образец №2: селен 0,015 мг, KAZvit 0,02 %. Дозировка пересчитывается пропорционально массе партии, которая приведена в таблице 2.

Таблица 2. Примеры дозировок в зависимости от объема партии

Масштаб	Масса муки, кг	Селен (мг)	KAZvit (г)	Замес, мин	Температура (°C)
Лабораторный	0,25	0,075	0,05	8-10	23-25
Опытный	10	3-0,03	2-2,0	8-12	23-25
Промышленный	100-1000	30-300	20-200	зависит от линии	23-25

Процесс обогащения. Гомогенизация премикса: селен и KAZvit смешиваются с 1-2 % муки до однородного состояния. Внесение в основную муку: равномерное перемешивание в смесителе на скорости 60 ± 5 об/мин в течение 10 мин. Контроль качества: проверка распределения минеральных элементов и витаминов по ГОСТ 12341-2013 и ГОСТ 31483-2012.

Подготовка теста. Метод: стандартный с опарой и ферментацией. Параметры: температура воды и теста 23–25 °C, время замеса 8 мин ± 15 сек, водопоглощение: 50–58 %. Тесто формируется, расстаивается 20 мин при 25 °C и 75–85 % влажности. Для каждого образца (№1 и №2) тесто готовилось отдельно из обогащённой муки.

Выпечка. Формование: квадратная форма для хлеба. Температура и время: стандартные для хлебопекарной печи (до образования корки и

пропекания мякиша). Цель: получение изделий с характерной пористой структурой и однородной клейковиной

Охлаждение и стабилизация хлеба. После выпечки хлеб извлекали из форм и направляли на стадию охлаждения и стабилизации структуры. Охлаждение проводили при температуре окружающей среды 18–25 °C и относительной влажности воздуха 65–75 % в течение 60–120 мин в зависимости от массы и формы изделий. В процессе охлаждения происходило перераспределение влаги между коркой и мякишем, стабилизация пористой структуры и клейковинного каркаса хлеба, что способствовало формированию устойчивых физико-химических и органолептических характеристик. Завершение данного этапа обеспечивало получение хлеба с равномерной влажностью мякиша, выраженной

пористостью и сохранением формы, готового к последующему контролю качества и упаковке.

Заключение

Проведённые исследования позволили разработать и экспериментально обосновать технологию обогащения пшеничной муки высшего и первого сортов органическим селеном и комплексной витаминно-минеральной добавкой KazVit, обеспечивающую сохранение хлебопекарных свойств муки и стабильность процесса тестоприготовления. Установлено, что микронутриентное обогащение не оказывает отрицательного влияния на реологические характеристики теста. Наибольшую устойчивость показала мука первого сорта, для которой растяжимость теста сохранялась на уровне 94-97 мм, сила теста составляла до 466 ед., а упругость изменялась незначительно (123-127 мм). Для муки высшего сорта отмечено некоторое снижение растяжимости (до 75 мм) при увеличении упругости (до 133-140 мм), однако значения силы теста (388-440 ед.) подтверждают её технологическую пригодность для хлебопечения. Экспериментальная выпечка хлеба из обогащённой муки показала соответствие готовых изделий нормативным показателям качества: пористость мякиша составила 64,97-65,71 %, массовая доля влаги - 40,93-44,32 %, кислотность -1,7-2,2°Т. Органолептическая оценка подтвердила формирование пропечённого мякиша с развитой пористостью, без постороннего вкуса и запаха. Анализ химического состава хлеба выявил сохранение микронутриентов после выпечки: содержание селена составило 0,049-0,057 мг/100 г, железа - 1,87-1,95 мг/100 г, цинка - 0,49-0,52 мг/100 г, а также витаминов группы В. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанной технологии и возможность её промышленного применения для производства функциональных хлебобулочных изделий.

Конфликт интересов

Все авторы прочитали текст, ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саидов А.М., Шайхетдинова К.Ф., Балгужинова Ж.Е. Исследование мукомольных и хлебопекарных свойств нового вида пшеничной муки повышенной пищевой ценности: Монография. – Костанай: КРУ имени А. Байтурсынова, 2022. – 56 с. <https://k.twirpx.link/file/4155408/>
2. Bouis H.E., Saltzman A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016 // *Global Food*

Security. - 2017. - Vol. 12. - P. 49-58. DOI: 10.1016/j.gfs.2017.01.009

3. Bailey R.L., West K.P., Black R.E. The Epidemiology of Global Micronutrient Deficiencies // *Annals of Nutrition & Metabolism*. - 2015. -Vol. 66, No. 2. - P. 22-33. DOI: 10.1159/000371618

4. World Health Organization. Fortification of Wheat Flour with Vitamins and Minerals as a Public Health Strategy.WHO; 2023. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240043398>

5. Bhutta Z.A., Das J.K., Rizvi A., et al. Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: what can be done and at what cost? *The Lancet*. – 2013. – Vol. 382, No. 9890. – P. 452-477. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60996-4

6. Galinha C., Sánchez-Martínez M., Pacheco A.M.G. et al. Characterization of selenium-enriched wheat by agronomic biofortification// *Journal of Food Science and Technology*. -2015. -Vol.52, No7.-P. 4236-4245. DOI: 10.1007/s13197-014-1503-7

7. Karaduman Y., et al. Enrichment of a local sourdough bread with zinc and selenium through the use of biofortified whole wheat flour// *International Journal of Food Science and Technology*. -2023. - Vol.58, No. 9. – P.4562-4571. DOI: 10.1111/ijfs.16556

8. Hart D.J., Fairweather-Tait S.J., Broadley M.R. et al. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: Retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food // *Food Chemistry*. - 2011. -Vol. 126, No.4. - -P. 1771-1778. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.079

9. Rayman M.P. Selenium intake, status, and health: a complex relationship // *Hormones (Athens)*. - 2020. - Vol. 19, No.1. - P.9-14. DOI: 10.1007/s42000-019-00125-5

10. Кобжасарова, З., Касымова, М., Орымбетова, Г. (2023). Разработка технологии производства нового вида хлеба с обогащенным составом//*Доклады НАН РК. Химические науки*. - 2023. - Т. 347, № (3). –С.134-145. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.231>

11. Lamacchia C., Landriscina L., Severini C., Caporizzi R., Derossi A. Characterizing the Rheological and Bread-Making Properties of Wheat Flour Treated by “Gluten Friendly™” Technology // *Foods*. - 2021. - Vol. 10, No. 4. - Article 751. DOI: 10.3390/foods10040751

12. Adamczyk G., Posadzka Z., Witczak T., Witczak M. Comparison of the Rheological Behavior of Fortified Rye-Wheat Dough with Buckwheat, Beetroot and Flax Fiber Powders and Their Effect on the Final Product // *Foods*. -2023. -Vol. 12, No. 3. - Article 559. DOI: 10.3390/foods12030559.

13. Bouaziz F., Ben Abdeddayem A., Koubaa M., Ellouz Ghorbel R., Ellouz Chaabouni S. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough // *Foods*. - 2020. - Vol. 9, No. 6. - Article 737. DOI: 10.3390/foods9060737.

14. Ansari F., Pimentel T.C., Pourjafar H., Ibrahim S.A., Jafari S.M. The Influence of Prebiotics on Wheat Flour, Dough, and Bread Properties; Resistant

Starch, Polydextrose, and Inulin // *Foods*. - 2022. - Vol. 11, No. 21. - Article 3366. DOI: 10.3390/foods11213366.

15. Орызбаева Ж.К., Назаренко Т.А. Инновационные технологии обогащения пшеничной муки из зерна пшеницы // Вестник Инновационного Евразийского университета. -2018. - №1(69). -С. 77–82. <https://vestnik.ineu.edu.kz/en/article/?id=503>

16. Үсенова Ж. Н., Тулекбаева А. К., Хиневич В. И., Мамаева Л. А. Применение селена для обогащения пшеничной муки с получением качественного по потребительским характеристикам конечного продукта//Вестник Алматинского технологического университета, 2024. –Т.145, №3. – С.112-123.<https://www.vestnik-atu.kz/jour/article/view/2141>

17. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Guidelines on Food Fortification with Micronutrients. Geneva: WHO/FAO, 2006. 45 p. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241594019>

18. Правила обогащения (фортификации) и обращения на рынке пищевой продукции, подлежащей обязательной fortификации. Утверждены приказом и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 31 октября 2020 года № ҚР ДСМ-176/2020. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 5 ноября 2020 года № 21590. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000021590>

19. ISO 27971:2023. Cereals and cereal products — Common wheat (*Triticumaestivum* L.) - Determination of alveograph properties of dough at constant hydration from commercial or test flours and test milling methodology. – Geneva: International Organization for Standardization, 2015.– 65 p. <https://www.iso.org/ru/standard/82591.html>

20. ГОСТ Р ISO 5530-4-99 (ИСО 5530-4-91). Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 4. Определение реологических свойств с применением альвеографа. – Москва: Госстандарт, 1999.https://meganorm.ru/mega_doc/norm/gost-r_gosu_darstvennyj-standart/21/gost_r_51415-99_iso_5530-4_91_gosudarstvennyy_standart.html

REFERENCES

1. Saidov A. M., Shaykhetdinova K. F., Balguzhinova Zh. E. Issledovanie mukomol'nykh i khlebopekarnykh svoystv novogo vida pshenichnoy muki povyshennoy pishchevoy tsennosti [Study of milling and baking properties of a new type of wheat flour with increased nutritional value]: Monografiya. – Kostanay: KRU imeni A. Baytursynova, 2022. – 56 s. URL: <https://k.twirpx.link/file/4155408/> (in Russian)

2. Bouis H. E., Saltzman A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016 // *Global Food Security*. – 2017. – Vol. 12. – P. 49–58. DOI: 10.1016/j.gfs.2017.01.009

3. Bailey R. L., West K. P., Black R. E. The epidemiology of global micronutrient deficiencies // *Annals of Nutrition & Metabolism*. – 2015. – Vol. 66, No. 2. – P. 22–33. DOI: 10.1159/000371618

4. World Health Organization. Fortification of Wheat Flour with Vitamins and Minerals as a Public Health Strategy. – Geneva: WHO, 2023. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240043398>

5. Bhutta Z. A., Das J. K., Rizvi A. et al. Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: what can be done and at what cost? // *The Lancet*. – 2013. – Vol. 382, No. 9890. – P. 452–477. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60996-4

6. Galinha C., Sánchez Martínez M., Pacheco A. M. G. et al. Characterization of selenium enriched wheat by agronomic biofortification // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, No. 7. – P. 4236–4245. DOI: 10.1007/s13197-014-1503-7

7. Karaduman Y. et al. Enrichment of a local sourdough bread with zinc and selenium through the use of biofortified whole wheat flour // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2023. – Vol. 58, No. 9. – P. 4562–4571. DOI: 10.1111/ijfs.16556

8. Hart D. J., Fairweather-Tait S. J., Broadley M. R. et al. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 126, No. 4. – P. 1771–1778. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.079

9. Rayman M. P. Selenium intake, status, and health: a complex relationship // *Hormones (Athens)*. – 2020. – Vol. 19, No. 1. – P. 9–14. DOI: 10.1007/s42000-019-00125-5

10. Kobzhasarova Z., Kassymova M., Orymbetova G. Razrabotka tekhnologii proizvodstva novogo vida khleba s obogashchennym sostavom [Development of technology for producing a new type of bread with enriched composition] // *Doklady NAN RK. Khimicheskie nauki*. – 2023. – T. 347, № 3. – S. 134–145. DOI: 10.32014/2023.2518-1483.231 (in Russian)

11. Lamacchia C., Landriscina L., Severini C., Caporizzi R., Derossi A. Characterizing the rheological and bread-making properties of wheat flour treated by “Gluten Friendly™” technology // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, No. 4. – Article 751. DOI: 10.3390/foods10040751

12. Adamczyk G., Posadzka Z., Witczak T., Witczak M. Comparison of the rheological behavior of fortified rye–wheat dough with buckwheat, beetroot and flax fiber powders and their effect on the final product // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, No. 3. – Article 559. DOI: 10.3390/foods12030559

13. Bouaziz F., Ben Abdeddayem A., Koubaa M., Ellouz Ghorbel R., Ellouz Chaabouni S. Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough // *Foods*. – 2020. – Vol. 9, No. 6. – Article 737. DOI: 10.3390/foods9060737

14. Ansari F., Pimentel T. C., Pourjafar H., Ibrahim S. A., Jafari S. M. The influence of prebiotics on wheat flour, dough, and bread properties: resistant starch, polydextrose, and inulin // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, No. 21. – Article 3366. DOI: 10.3390/foods11213366
15. Oryzbayeva Zh. K., Nazarenko T. A. Innovatsionnye tekhnologii obogashcheniya pshe-nichnoy muki iz zerna pshe-nitsy [Innovative technologies for wheat flour fortification] // *Vestnik Innovatsionnogo Evraziyskogo universiteta*. – 2018. – № 1(69). – S. 77–82. URL: https://vestnik.ineu.edu.kz/en/article/?id=503 (in Russian)
16. Usenova Zh. N., Tulekbaeva A. K., Khinevich V. I., Mamaeva L. A. Primenenie selena dlya obogashcheniya pshe-nichnoy muki s polucheniem kachestvennogo po potrebitel'skim kharakteristikam konechnogo produkta [Application of selenium for wheat flour fortification with improved consumer properties] // *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta*. – 2024. – T. 145, № 3. – S. 112–123. URL: https://www.vestnik-atu.kz/jour/article/view/2141 (in Russian)
17. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Guidelines on Food Fortification with Micronutrients. – Geneva: WHO/FAO, 2006. – 45 p. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789241594019
18. Pravila obogashcheniya (fortifikatsii) i obrashcheniya na rynke pishchevoy produktsii, podlehashchey obyazatel'noy fortifikatsii. Utverzhdeny prikazom i.o. Ministra zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 31 oktyabrya 2020 goda № KR DSM-176/2020. Zaregistrovan v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 5 noyabrya 2020 goda № 21590. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000021590 (in Russian)
19. ISO 27971:2023. Cereals and cereal products — Common wheat (*Triticum aestivum* L.) — Determination of alveograph properties of dough at constant hydration from commercial or test flours and test milling methodology. – Geneva: International Organization for Standardization, 2015. – 65 p. URL: https://www.iso.org/ru/standard/82591.html
20. GOST R ISO 5530-4-99 (ISO 5530-4:1991). Muka pshe-nichnaya. Fizicheskie kharakteristiki testa. Chast' 4. Opredelenie reologicheskikh svoystv s primeneniem al'veografa [Wheat flour. Physical characteristics of dough. Part 4. Determination of rheological properties using an alveograph]. – Moskva: Gosstandart, 1999. URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/gost-r_gosudarstvennyj-standart/21/gost_r_51415-99_iso_5530-4_91_gosudarstvenny_standart.html (in Russian)