

УДК 664.655

ТЕХНОЛОГИЯ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНОГО ЖМЫХА

М.Ш. БЕГЕУЛОВ, Е.О. СЫЧЕВА

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Как известно, хлебобулочные изделия являются одним из наиболее употребляемых населением Российской Федерации продуктов питания на зерновой основе. Вместе с тем в последние десятилетия на российском рынке наблюдается расширение ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий за счет широкого использования ингредиентов различного происхождения. Однако в производственных условиях большее значение придается вкусовым и иным потребительским характеристикам готового продукта, а обоснованию применения различных добавок с позиции их влияния на технологический процесс выпечки отводится зачастую второстепенная роль.

Представленная работа посвящена актуальной проблеме использования льняного жмыха в хлебопечении. Повышенное по сравнению с пшеничной мукой содержание макро- и микронутриентов в льняном жмыхе определяет возможность применения последнего в хлебопечении для повышения пищевой ценности хлеба, что является особенно важным в условиях современного образа жизни населения РФ. В статье представлены результаты изучения физико-химических показателей качества (количество и качество клейковины, число падения) пшеничной муки, а также смесей пшеничной муки с льняным жмыхом в различных соотношениях; физических свойств теста из мучных смесей с добавлением 6–18% льняного жмыха; влияния сроков хранения на качество изучаемых смесей и выпекаемого хлеба. Проведена пробная оценка качества хлеба из смесей пшеничной муки с льняным жмыхом, изучена динамика изменения температуры в тестовой заготовке в процессе выпечки. Даны рекомендации по оптимизации технологического режима выпечки с учетом особенностей химического состава и значений энергии активации используемого сырья. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать с целью производства обогащенных хлебобулочных изделий широкое использование в хлебопекарной отрасли льняного жмыха в количестве 6% массы пшеничной муки высшего сорта при соблюдении следующих технологических параметров: температура пекарной камеры – 190°C, продолжительность выпечки – 26 мин.

Ключевые слова: *льняной жмых, физико-химические показатели качества мучных смесей, физические свойства теста, термогравиметрический анализ.*

Современные тенденции формирования здорового рациона питания диктуют необходимость создания новых продуктов с повышенной биологической и физиологической ценностью. Исходя из учета возможностей выбора, существенными факторами привлечения внимания потребителей являются улучшение вкусовых и других

потребительских свойств изделий, а также повышение их качества [10]. В последние десятилетия в питании населения отмечается дефицит полноценных белков, минеральных веществ и витаминов, полиненасыщенных жирных кислот, особенно ω -3, пищевых волокон, антиоксидантов, отдельных олигосахаридов (гентиолигосахаридов, ксилобиозы). Большой проблемой также является коррекция жирнокислотного состава жировых компонентов пищи [14].

Хлеб и хлебобулочные изделия – продукты массового потребления, составляют значительную долю в питании россиян [5, 19, 20]. В ассортименте хлебобулочных изделий в России большой удельный вес занимают виды продукции из пшеничной муки высшего сорта, что является неудовлетворительным с точки зрения здорового питания. При разработке хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности в качестве источника эссенциальных макро- и микронутриентов используют функциональные ингредиенты различных видов зачастую нетрадиционных для хлебопечения [1, 2, 17]. К ним можно отнести льняной жмых – побочный продукт маслоэкстракционного производства, получаемый после извлечения масла из семян льна. В настоящее время известно множество способов получения льняного масла из очищенных семян льна, среди которых холодное и горячее прессование, экстрагирование. Сопутствующим продуктом в производстве льняного масла является жмых, спрос на который практически неограничен не только в средне-, но и в долгосрочной перспективе [7, 8].

Льняной жмых имеет высокую энергетическую ценность – в 1 кг жмыха содержится 13,73 МДж и 287 г переваримого протеина, а также богатый состав микроэлементов и витаминов [15]. Протеин льняного жмыха отличается высокой усваиваемостью и достаточно сбалансированным аминокислотным составом. Белки жмыха льна обладают большой ценностью. Сравнение аминокислотного состава белков льняного семени с гипотетическим идеальным белком показывает, что содержание изолейцина, фенилаланина (с тирозином) и триптофана превышает таковое в идеальном белке и составляет соответственно 106, 115,8 и 180%. Содержание валина (97%) и треонина (92,5%) приближается к эталонному показателю. Аминокислотами, лимитирующими биологическую ценность белков семени льна, являются лизин (72,7%), метионин (82,9%), лейцин (84%) [4].

В настоящее время в пищевой промышленности льняное семя используется сравнительно мало, хотя раньше применялось в рационе питания человека на протяжении нескольких тысяч лет [16]. В начале прошлого века из 1,5 млн га мировых посевных площадей льна и 700 тыс. т производства льнопродуктов большая половина принадлежала России. От продажи льна за рубеж российская казна ежегодно получала до 90 млн руб. золотом. Тем не менее, производство льноволокна в России, начавшее сокращаться еще в последней четверти XIX в., в течение XX в. неуклонно снижало объемы: 500 тыс. т в начале века, 200 тыс. т в середине, 20–30 тыс. т к его концу. Сегодня в нашей стране производится лишь 5% товарного льноволокна от общемирового производства, при том, что спрос на семена и масло из них в мире растет, а Россия имеет земельные угодья для его выращивания [9].

В связи со сложившейся ситуацией в отрасли льноводства была разработана программа Правительства РФ о развитии сельского хозяйства и регулирования рынков сельхозпродукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы. По данным программы, валовый сбор льняного волокна должен быть увеличен с 46,6 до 458 тыс. т, т. е. почти в 10 раз. В связи с этим уже в 2014 г. использование побочных продуктов переработки масличного льна увеличилось на 36% по сравнению с предыдущим го-

дом [6], и в настоящее время продолжают наблюдаться значительные темпы увеличения производства жмыха и шрота в России.

Следует отметить, что на фоне широкого спектра оздоровительного действия семян льна на организм человека [11], они не находят соответствующего применения в пищевой промышленности. Введение семян льна в пищевые технологии сдерживается опасениями токсического действия некоторых гликозидов, таких как линамарин, линустатин и неолинустатин. Наиболее важным представителем нитрилгликозидов является синильная кислота. Содержание синильной кислоты в форме линамарина в семенах льна составляет 0,005–0,031% массы семян. Количество линустатина и неолинустатина – 0,094 и 0,063% соответственно. В организме человека цианогены под действием энзимов гидролизуются с образованием синильной кислоты, которая превращается под действием ферментов в тиоцианаты или связывается с цистеином с образованием β -цианоаланина. Согласно данным ряда исследователей, уровень содержания гликозидов в семенах льна является безопасным для здоровья людей. Потребление льняного семени приносит незначительное количество тиоцианатов в организм человека [12].

Целью настоящей научно-исследовательской работы является изучение влияния использования льняного жмыха (ЛЖ) в количестве 6, 12 и 18% массы пшеничной муки высшего сорта (МПВС) на физические свойства теста и качество хлеба, а также совершенствование технологических режимов выпечки с учетом химического состава используемого растительного сырья. В связи с этим были изучены:

- 1) физико-химические показатели качества пшеничной муки, смесей пшеничной муки с льняным жмыхом в различных соотношениях;
- 2) физические свойства теста с применением вышеуказанной растительной добавки;
- 3) хлебопекарные свойства смесей МПВС с ЛЖ.

В ходе исследований также был проведен термогравиметрический анализ исследуемых образцов, результаты которого были использованы для совершенствования технологического режима выпечки с учетом особенностей химического состава исследуемых образцов. Кроме того, изучено влияние сроков хранения на хлебопекарные свойства смесей МПВС с ЛЖ.

Место проведения опытов – кафедра хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; испытательная лаборатория УН ЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

В рамках научно-исследовательской работы был проведен комплекс лабораторных анализов. Число падения определялось по ГОСТ 27676–88. Анализ количества и качества сырой клейковины в муке и смесях проводился по ГОСТ 27839–13. Реологические свойства теста изучались с использованием фаринографа по ГОСТ Р 51404–99 (ИСО 5530-1-97) и альвеографа по ГОСТ Р 51415–99. Пробная лабораторная выпечка выполнялась по методике Всероссийского центра оценки качества сортов сельскохозяйственных культур (ВЦОКС). Дифференциально-термогравиметрический анализ осуществлялся с использованием дериватографа Q-1500D [3]. Изучение процессов, происходящих в тестовой заготовке при выпечке хлеба, проводили в минипечке ВТО-600Т. Для измерения температуры в свободном объеме печи и в тестовой заготовке использовались три ХА термодатчики. Во время эксперимента показания термодатчиков отображаются на цифровых индикаторах двух канальных измерительных приборов ТРМ-200 и лицевой панели компьютера [13].

В качестве объектов исследования использовали МПВС «Макфа», жмых льняного семени, выработанные в производственных условиях. Для проведения исследований были подготовлены смеси муки пшеничной высшего сорта с использованием льняного жмыха в следующих количествах от массы пшеничной муки: 6, 12, 18%.

Мука пшеничная высшего сорта, используемая в ходе научно-исследовательской работы, по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовала ГОСТ Р 52189–2003 «Мука пшеничная. Общие технические условия». Влажность используемой муки составила 13,3%, число падения – 356 с, что свидетельствовало о низкой амилолитической активности ферментов муки. Массовая доля сырой клейковины была на уровне 30,7% при качестве клейковины 60 ед. ИДК (I группа). По результатам исследования реологических свойств теста из пшеничной муки «Макфа» по фаринографу было установлено, что водопоглощение составляло 61,8 см³, время образования теста находилось на уровне 3,4 мин, а устойчивость теста – 6,4 мин. Важный показатель, характеризующий реологические свойства по фаринографу – степень разжижения, составлял 60 ЕФ. Валориметрическая оценка (площадь фаринограммы) пшеничной муки «Макфа» была на уровне 56 е. в., а показатель качества составлял 75 мм.

По результатам проведенных лабораторных анализов отмечено, что добавление 6–18% ЛЖ к МПВС приводило к увеличению в вариантах опыта числа падения на 69–204 с в связи с уменьшением содержания α -амилазы в исследуемом материале. Спустя 6 мес хранения число падения у исследуемых образцов повысилось на 22–281 с, что свидетельствовало о снижении амилолитической активности ферментов (рис. 1).

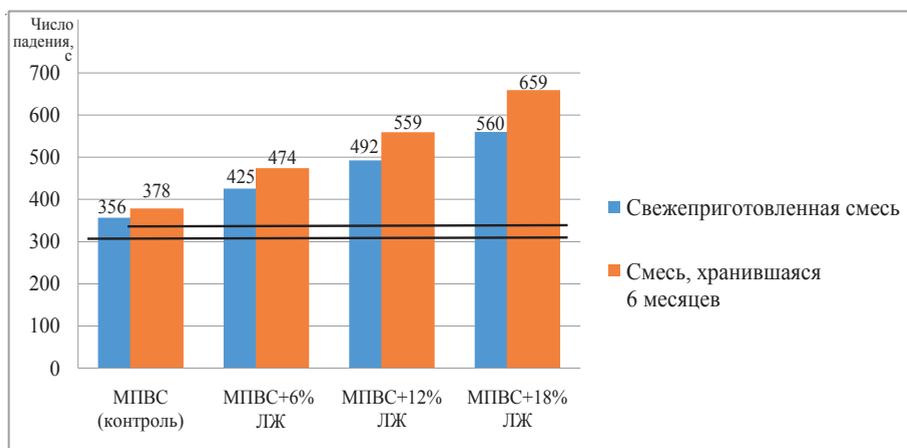


Рис. 1. Число падения в чистой МПВС и в смесях с различным количеством ЛЖ

В ряду физико-химических показателей качества муки и мучных смесей наиболее значимыми по влиянию на хлебопекарные свойства являются массовая доля и качество сырой клейковины (табл. 1).

Количество и качество клейковины в смесях

Вариант опыта	Массовая доля сырой клейковины, %		Качество клейковины			
			ИДК, ед.		Группа качества	
	свежеприготовленная смесь	смесь, хранившаяся 6 мес	свежеприготовленная смесь	смесь, хранившаяся 6 мес	свежеприготовленная смесь	смесь, хранившаяся 6 мес
МПВС (контроль)	30,7	30,2	60,0	60,0	I	I
МПВС+ 6% ЛЖ	25,4	25,4	55,0	50,0	I	II
МПВС+ 12% ЛЖ	20,1	20,2	45,0	45,0	II	II
МПВС+ 18% ЛЖ	клейковина не отмывается					
НСР _{0,05}	0,9	0,9	–		–	

С увеличением концентрации ЛЖ массовая доля сырой клейковины снижалась на 5,3–10,6%. Снижение количества отмываемой клейковины происходило за счет замещения части пшеничной муки льняной, в белковом комплексе которой отсутствуют спирторастворимые белки проламины, участвующие в образовании клейковины. При добавлении к МПВС 18% ЛЖ клейковина не отмывалась и образовывалась несвязная масса. Это обусловлено высоким содержанием в ЛЖ слизистых веществ, оказывающих влияние на разрыв дисульфидных связей в клейковинных белках. Качество клейковины в смесях изменялось в пределах 15 ед. ИДК. В большинстве вариантов опыта использование ЛЖ способствовало заметному укреплению клейковины с ее переходом во II группу качества. Укрепление клейковинного каркаса можно объяснить известным влиянием полиненасыщенных жирных кислот (вносимых с льняной мукой) на процессы формирования клейковинных белков при образовании теста. Гидропероксиды, образующиеся при окислении непредельных жирных кислот, таких как линолевая и линоленовая, кислородом воздуха, окисляют сульфгидрильные группы белков с образованием дисульфидных связей, обуславливающих упрочнение структуры белковой молекулы. При хранении смесей МПВС с ЛЖ в течение 6 мес количество и качество сырой клейковины существенно не изменялось.

Результаты определения реологических свойств теста по фаринографу показали, что добавление к МПВС ЛЖ в различных процентных соотношениях оказывало существенное влияние на его структурно-механические свойства. Так, по мере увеличения концентрации ЛЖ водопоглощение повышалось в вариантах опыта на 4,4–13,2 см³ по сравнению с контролем, что связано с повышенным по сравнению с МПВС содержанием белка в ЛЖ. Использование смеси МПВС с ЛЖ в различных процентных соотношениях приводило к увеличению времени образования теста на 2,5–7,6 мин, также отмечалось увеличение устойчивости теста на 1,6–10,9 мин по сравнению с контролем. Важный показатель при расшифровке фаринограммы – степень разжижения теста. Значения данного показателя в вариантах опыта колебались от 30 до 70 ЕФ. При добавлении ЛЖ в количестве 6% наблюдалось снижение степени разжижения, что связано с заметным повышением устойчивости теста в данном варианте (табл. 2).

**Реологические свойства теста из свежеприготовленной смеси
муки пшеничной высшего сорта «Макфа» (МПВС) с льняным жмыхом (ЛЖ)**

Вариант	Водо-поглощение, см ³	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Степень разжижения, ЕФ	Показатель качества, мм	Валориметрическая оценка, е. в.
МПВС (контроль)	61,8	3,4	6,4	60,0	75,0	56,0
МПВС+6% ЛЖ	66,2	5,9	17,3	30,0	159,0	57,5
МПВС+12% ЛЖ	72,3	10,1	10,3	60,0	163,0	77,0
МПВС+18% ЛЖ	75,0	11,0	8,0	70,0	142,0	60,0
НСР _{0,05}	0,3	1,9	0,9	-	21,5	6,6

Обобщающий показатель определения реологических свойств теста на фаринографе – это валориметрическая оценка (или площадь фаринограммы). Валориметрическая оценка повышалась во всех вариантах с использованием льняного жмыха на 1,5–26 е. в., что наряду с существенным повышением показателя качества (на 67–88 мм), свидетельствует об улучшении реологических свойств теста по фаринографу (рис. 2).

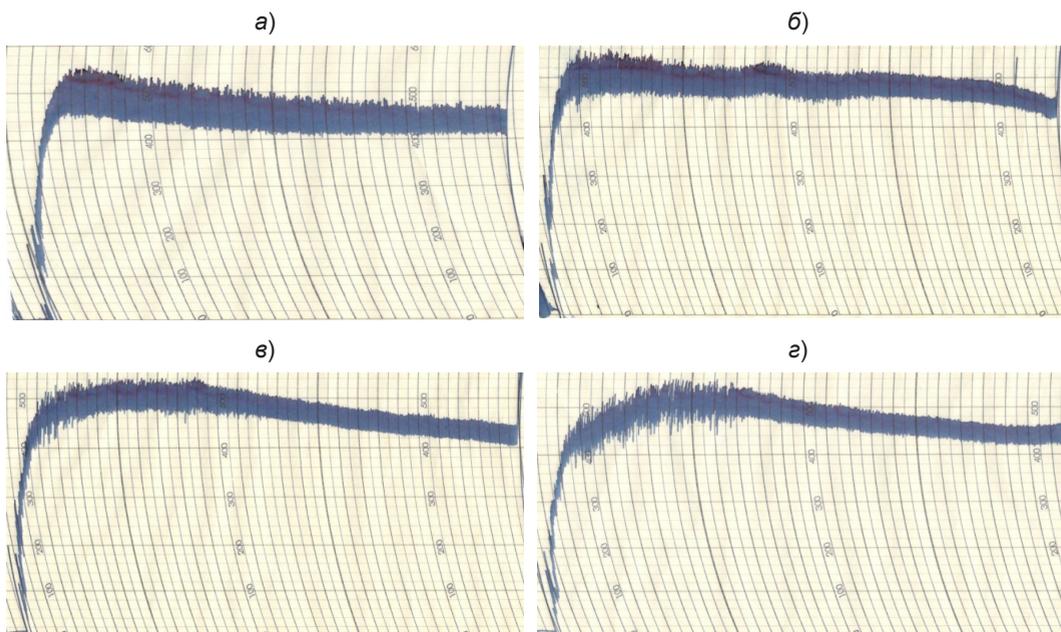


Рис. 2. Фаринограммы, характеризующие реологические свойства теста, полученного из смесей пшеничной муки высшего сорта (МПВС) с льняным жмыхом (ЛЖ):

а – МПВС «Макфа» (контроль); б – МПВС+6% ЛЖ;

в – МПВС+12% ЛЖ; г – МПВС+18% ЛЖ

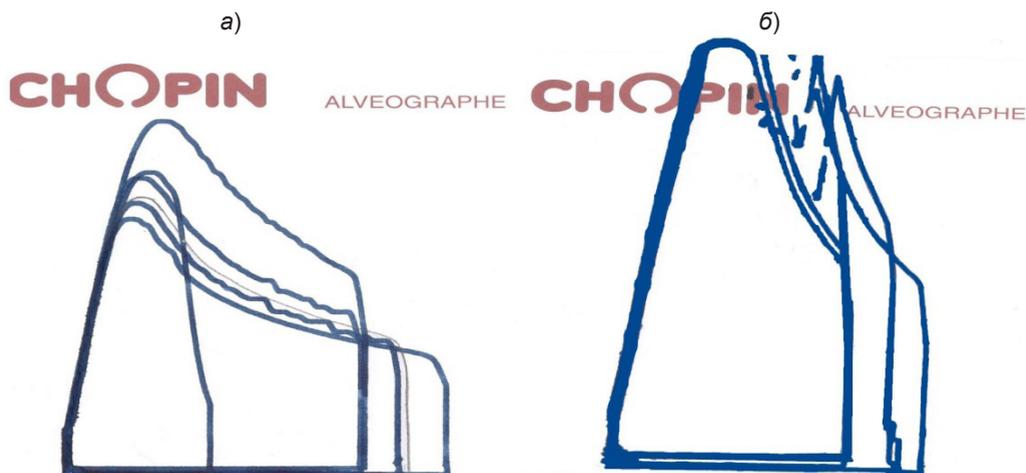


Рис. 3. Альвеограммы, характеризующие качество смесей муки пшеничной (МПВС) с льняным жмыхом (ЛЖ): а – МПВС; б – МПВС+6% ЛЖ

Ухудшение реологических свойств теста по альвеографу при добавлении ЛЖ в указанном количестве наблюдалось и по показателю формы кривой. Его значение увеличивалось до 3,3, что свидетельствует о нарушении сбалансированности упругости и растяжимости теста (табл. 3).

По результатам альвеографического исследования установлено, что внесение 6% ЛЖ от массы МПВС приводило к заметному повышению максимального избыточного давления (упругости теста) на 68,2 мм водн. ст., а среднее значение абсциссы при разрыве (растяжимости теста) при этом снижалось на 28 мм (рис. 3).

Т а б л и ц а 3

Реологические свойства теста по альвеографу

Вариант опыта	Максимальное избыточное давление P , мм водн. ст.	Среднее значение абсциссы при разрыве L , мм	Показатель формы кривой P/L	Энергия деформации W , $\cdot 10^{-4}$ J
Мука пшеничная высшего сорта (МПВС, контроль)	99,0	78,0	1,3	333,5
МПВС+6% ЛЖ	167,2	50,0	3,34	406,1

Дальнейшее повышение концентрации вносимой добавки (12 и 18% ЛЖ) приводило к критическому повышению упругости теста. Вследствие повышенной упругости исследуемых образцов исследование физических свойств теста из указанных смесей с помощью альвеографа не представлялось возможным.

Наиболее объективную сравнительную оценку качества изучаемых смесей можно дать по результатам пробной лабораторной выпечки. Результаты хлебопекарной оценки полученных смесей приведены в табл. 4.

Хлебопекарная оценка по результатам пробной лабораторной выпечки

Вариант опыта	Формоустойчивость (<i>h/d</i>)		Объемный выход, см ³ /100 г муки		Хлебопекарная оценка, балл	
	Свежеприготовленная смесь	Смесь, хранившаяся 6 мес	Свежеприготовленная смесь	Смесь, хранившаяся 6 мес	Свежеприготовленная смесь	Смесь, хранившаяся 6 мес
МПВС (контроль)	0,41	0,56	602,5	432,5	3,3	3,5
МПВС+6% ЛЖ	0,37	0,52	600,0	455,0	3,3	4,5
МПВС+12% ЛЖ	0,41	0,50	565,0	433,0	3,3	4,3
МПВС+18% ЛЖ	0,38	0,56	542,5	425,0	3,3	3,8
НСР _{0,05}	–		85,9	47,8	–	

По результатам пробной лабораторной выпечки установлено, что объемный выход хлеба с повышением массовой доли ЛЖ в смесях существенно не изменялся по сравнению с контролем. Однако в варианте с максимальным внесением отмечена тенденция заметного снижения объемного выхода хлеба на 60 см³/100 г муки. Формоустойчивость подового хлеба в вариантах опыта изменялась от 0,37 до 0,41. В процессе длительного хранения (в течение 6 мес) смесей МПВС с ЛЖ отмечено некоторое ухудшение их хлебопекарных достоинств. Объемный выход хлеба снижался в контроле на 170 см³/100 г муки и на 145, 132 и 117,5 см³/100 г муки у смесей с добавлением 6, 12 и 18% ЛЖ соответственно. Отмеченное снижение объемного выхода хлеба может быть объяснено как снижением активности амилотических ферментов (что подтверждается динамикой изменения числа падения с 378 до 659 с (рис. 1)), так и ухудшением реологических свойств теста по альвеографу (табл. 3). Применение изученной добавки не приводило к ухудшению качества мякиша хлеба, его пористости и эластичности (рис. 4).

По результатам пробной лабораторной выпечки общая хлебопекарная оценка образцов из свежеприготовленной смеси составляла 3,3 балла, а по истечении 6 мес хранения увеличилась на 0,2–1,2 балла. Наилучшей хлебопекарной оценкой среди всех изученных вариантов опыта отличались образцы с добавлением 6 и 12% ЛЖ.

В связи с тем, что в процессе эксперимента установлено заметное ухудшение органолептической оценки выпекаемого хлеба только по состоянию корки, что обусловлено усилением реакции меланоидинообразования, был проведен термогравиметрический анализ исследуемых смесей на приборе дериватограф Q=1500 D с целью корректировки температурных режимов выпечки для улучшения органолептических свойств выпекаемого хлеба с добавлением льняного жмыха.

Согласно данным, представленным на термограмме (рис. 5), пик начала реакции (термического разрушения) МПВС и смесей МПВС с ЛЖ различаются. Энергия активации для исследуемых образцов находится на уровне, кДж/моль: МПВС – 226,4; ЛЖ – 168,3; смесь МПВС с 6% ЛЖ – 137,3; смесь МПВС с 12% ЛЖ – 125,6; смесь МПВС с 18% ЛЖ – 124,4.

Как известно, энергия активации – это минимальное количество энергии, которое требуется сообщить системе, чтобы произошла реакция [18]. Поскольку изученная нами растительная добавка обладает меньшей энергией активации по сравнению



Рис. 4. Образцы хлеба из смесей муки пшеничной высшего сорта (МПВС) с льняным жмыхом (ЛЖ):
 а – МПВС (контроль); б – свежеприготовленная смесь с 6% ЛЖ;
 в – смесь с 6% ЛЖ, хранившаяся 6 мес; г – свежеприготовленная смесь с 12% ЛЖ;
 д – смесь с 12% ЛЖ, хранившаяся 6 мес; е – свежеприготовленная смесь с 18% ЛЖ;
 ж – смесь с 18% ЛЖ, хранившаяся 6 мес

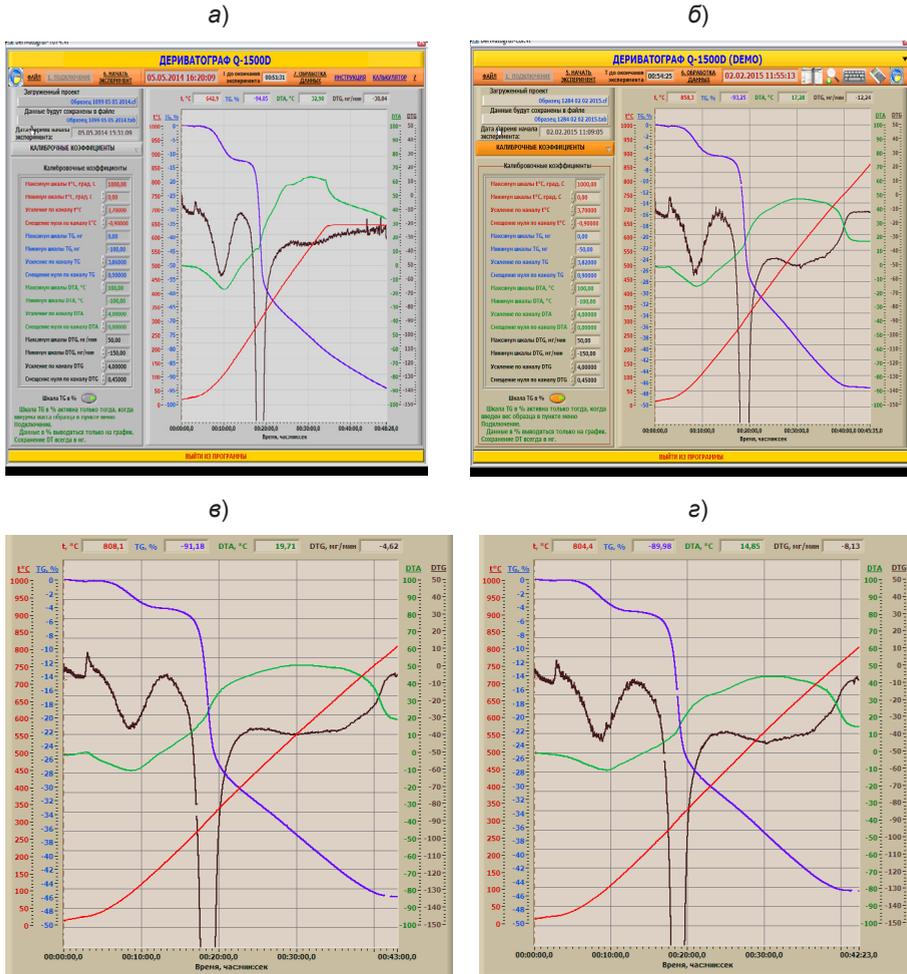


Рис. 5. Термограммы МПВС (а), МПВС с добавлением 6% ЛЖ (б), МПВС с добавлением 12% ЛЖ (в), МПВС с добавлением 18% ЛЖ (г):

- ТГ-кривая (кривая термогравиметрии);
- ДТА-кривая (кривая дифференциального термического анализа);
- ДТГ-кривая (кривая дифференциальной термогравиметрии);
- температурная кривая

с энергией активации МПВС, можно рекомендовать более низкие температурные режимы выпечки хлебобулочных изделий с использованием ЛЖ. По результатам проведенных исследований лучшие показатели качества хлеба отмечены в варианте с 6% ЛЖ. Необходимо отметить, что качество хлеба и его объемный выход существенно не ухудшались. В связи с этим было изучено влияние на результаты хлебопекарной оценки снижения температуры в пекарной камере при выпечке хлеба с добавлением ЛЖ с 230 до 190^oC, с увеличением продолжительности выпекания до 20–26 мин.

По результатам пробной лабораторной выпечки было установлено, что объемный выход хлеба при снижении температуры пекарной камеры увеличивался на 32,0–80,0 см³ у образцов, выпеченных при температуре 200 и 190^oC соответственно (табл. 5).

**Результаты лабораторной выпечки
с изменением температуры пекарной камеры**

Показатель	Температура пекарной камеры, °С				НСР _{0,05}
	230	210	200	190	
Объемный выход, см ³ /100 г муки	518,0	445,0	550,0	598,0	42,3
Хлебопекарная оценка, балл	3,9	3,5	3,8	4,0	–

Изменение температуры пекарной камеры не приводило к существенному изменению хлебопекарной оценки. Так, поверхность исследуемых образцов была бугристой (3 балла), темноокрашенной, за исключением образца, выпеченного при температуре 190°С, ровная (4 балла), золотисто-коричневая. Пористость у всех образцов мелкая, тонкостенная, неравномерная (3 балла); мякиш эластичный, быстро-восстанавливающийся (5 баллов) (рис. 6).

По результатам пробной лабораторной выпечки наилучшими показателями отличался образец с внесением 6% ЛЖ при температуре пекарной камеры 190°С с продолжительностью выпечки 26 мин. Объемный выход в данном варианте пре-

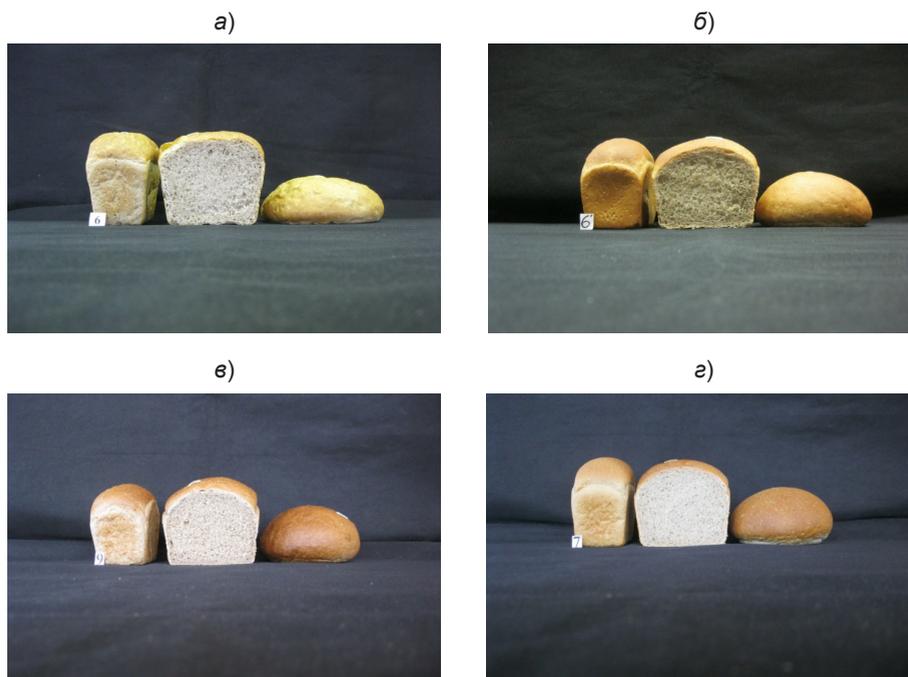


Рис. 6. Образцы хлеба с добавлением 6% льняного жмыха при различных температурах в пекарной камере:
а – 230°С; б – 210°С; в – 200°С; г – 190°С

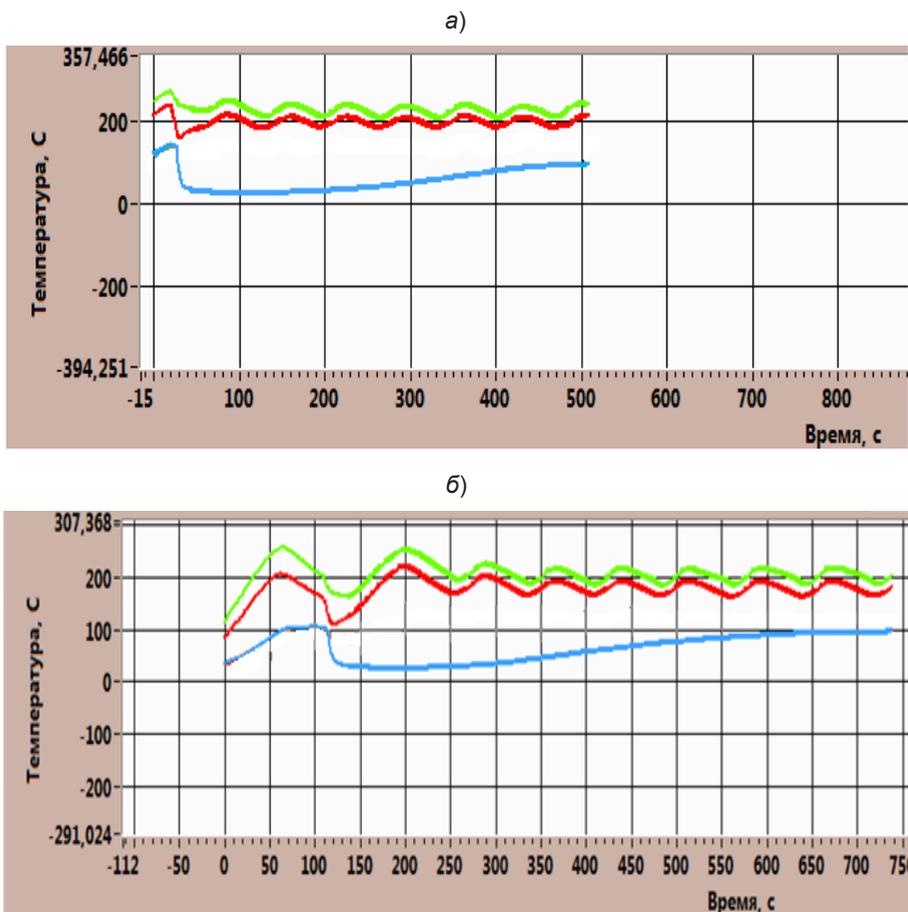


Рис. 7. Графики изменения температуры внутри пекарной камеры и в центре тестовой заготовке из МПВС (контроль) (а) и смеси МПВС+6% ЛЖ (б):
— температура в нижней части пекарной камеры; — температура в верхней части пекарной камеры; — температура в центре тестовой заготовки

вышал контроль на 80 см³, а хлебопекарная оценка данного образца составляла 4 балла.

В процессе выпечки температура внутри и на поверхности тестовой заготовки постоянно изменяется. Разность между температурой внешнего и внутреннего слоя корки возрастает, достигая наибольшего значения к концу выпечки. Разность между температурой поверхностного и центрального слоев тестовой заготовки увеличивается в начале выпечки, достигая наибольшего значения к середине выпечки и затем резко снижается, доходя к концу выпечки почти до нуля.

В ходе выпечки хлеба при температуре пекарной камеры 230°C температура поверхности тестовой заготовки очень быстро достигает 100°C и к концу выпечки она составляет примерно 180°C, что приводит к образованию темноокрашенной (подгоревшей) корки. Температура любого слоя внутри тестовой заготовки, превращаемого

при прогреве в мякиш, к моменту окончания выпечки должна находиться на уровне 96–100°C и оставаться такой до окончания выпечки. Ввиду снижения температуры в пекарной камере с 230°C до 190°C и увеличения экспозиции выпечки в ходе эксперимента была определена температура внутри мякиша при выпечке образца с использованием ЛЖ.

В связи с необходимостью корректировки технологического режима выпечки хлебобулочных изделий с добавлением ЛЖ было проведено изучение динамики изменения температуры в тестовой заготовке в процессе выпечки (рис. 7).

Как следует из приведенных графиков, при выпечке хлебобулочных изделий как из МПВС (контроль) при температуре пекарной камеры на уровне 210°C в течение 15 мин, так и при выпечке образца с добавлением 6% ЛЖ при температуре 190°C в течение 25 мин, температура внутри тестовых заготовок к концу выпечки достигала 97°C. Таким образом, по результатам исследований можно рекомендовать выпечку хлеба с внесением 6% ЛЖ с соблюдением следующих технологических режимов: температура пекарной камеры – 190°C, экспозиция – 25 мин. Подобную корректировку режимов выпечки хлебобулочных изделий с целью обеспечения высоких показателей качества хлеба целесообразно проводить с учетом как массовой доли вносимых компонентов функциональных добавок, так и особенностей их химического состава.

Выводы

1. Использование ЛЖ оказывало существенное влияние на структурно-механические свойства теста по фаринографу. Так, при добавлении 6–18% ЛЖ отмечалось повышение времени образования теста на 2,1–7,6 мин, устойчивости теста на 1,6–10,9 мин, соответственно, по сравнению с контролем. В случае использования 6–18% ЛЖ показатель качества по фаринографу увеличивался на 67,0–88,0 мм.

2. По результатам альвеографического исследования при использовании ЛЖ установлено ухудшение реологических свойств теста (повышение упругости и снижение растяжимости), что сказалось на результатах пробной лабораторной выпечки, согласно которой объемный выход хлеба и общая хлебопекарная оценка в баллах в вариантах опыта существенно не изменялась и находилась на уровне 542,5–602,5 см³ и 3,3 балла соответственно. Применение ЛЖ не приводило к существенному ухудшению качества мякиша хлеба, его пористости и эластичности.

3. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать с целью производства обогащенных хлебобулочных изделий широкое использование в хлебопечении ЛЖ в количестве 6% массы МПВС.

4. Установлена эффективность корректировки температуры и продолжительности выпечки хлеба из смесей МПВС с ЛЖ в связи с данными термогравиметрического анализа с учетом значений энергии активации. Так, по результатам пробной лабораторной выпечки у образца с 6% ЛЖ отмечены лучшие органолептические показатели качества выпекаемого хлеба при температуре в пекарной камере 190°C и продолжительности выпечки 26 мин.

Библиографический список

1. Бегеулов М.Ш., Кармашова Е.О. Использование жмыхов семян масличных культур в хлебопечении // Хлебопродукты. 2015. № 4. С. 50–53.

2. *Бегеулов М.Ш., Кармашова Е.О.* Эффективность использования побочных продуктов переработки растительного сырья в хлебопечении // Известия ТСХА. 2014. Вып. 5. С. 79–94.

3. *Белопухов С.Л., Шнее Т.В., Старых С.Э.* Методические указания по проведению испытаний биологических образцов методом термической гравиметрии и дифференциального термического анализа. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2010. 46 с.

4. *Булданов А.С.* Пищевые добавки: справочник. М.: Дели принт, 2001. 435 с.

5. *Бутейкис Н.Г.* Технология приготовления мучных кондитерских изделий. М.: Академия, 2010. 304 с.

6. *Бушнев А.С., Горбаченко Ф.И., Картамышева Е.В.* Состояние производства и совершенствования элементов технологии возделывания льна масличного в южном регионе Российской Федерации // Масложировая промышленность. 2009. № 5. С. 14–16.

7. *Живетин В.В., Гинзбург Л.В.* Масличный лен и его комплексное использование. М.: НИИЛКА, 2000. 312 с.

8. *Живетин В.В., Гинзбург Л.В., Ольшанская О.М.* Лен и его комплексное использование. М.: ИнформЗнание, 2002. 394 с.

9. *Ковалев М.В.* Российский лен: забытая гордость державы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 1. С. 5–7.

10. *Котик А.В.* Разработка и товароведная оценка полуфабрикатов из семян льна для использования в пищевой промышленности: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2012. 265 с.

11. *Кравченко А.Г.* Лечебные свойства льна // Пищевая и перерабатывающая промышленность. 2009. № 9. С. 18–21.

12. *Миневич И.Э.* Разработка технологических решений переработки семян льна для создания функциональных пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 234 с.

13. Методические указания по выполнению лабораторных работ по теплотехнике. СПб.: Северо-Западный заочный технический университет, 2003. 54 с.

14. *Остробородова С.Н.* Разработка технологии функциональных хлебобулочных изделий с применением сырья растительного и животного происхождения: дисс. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2009. 219 с.

15. *Пащенко Л.П., Прохорова А.С., Кобцева Я.Ю.* Характеристика семян льна и их применение в производстве продуктов питания // Хранение и переработка сельхозсырья. 2004. № 7. С. 56–57.

16. *Персианов В.А.* Экономическая стратегия аграрно-промышленного комплекса // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 6. С. 10–12.

17. *Тирина О.Е., Шмеленко Л.А., Костюченко М.Н., Тюрина И.А.* Технологические аспекты использования льняной муки для создания хлебобулочных изделий геродиетического назначения // Хлебопечение России. 2014. № 4. С. 29–31.

18. *Хмельницкий Г.А.* Физическая и коллоидная химия: учеб. для с.-х. спец. вузов. М.: Альянс, 2009. 400 с.

19. *Цыганова Т.Б., Миневич И.Э., Зубцова В.А., Осипова Л.Л.* Перспективы использования семян льна и льняной муки // Хлебопечение России. 2014. № 4. С. 18–19.

20. *Цыганова Т.Б.* Технология и организация производства хлебобулочных изделий. М.: Академия, 2006. 448 с.

BREADMAKING TECHNOLOGY BASED ON USING LINSEED CAKE

M.SH. BEGEULOV, YE.O. SYCHEVA

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

Bakery products are among the most used widely cereals by the population of the Russian Federation. At the same time, recent decades have observed the enlargement of the range of enriched bakery products by extensive use of different ingredients. However, in a production environment, taste and other consumer characteristics have always been of greater importance; however, the matter of the application of various additives in terms of their influence on the baking process is often given only a secondary role.

This present paper is dedicated to the actual problem of the use of linseed cake in baking. Increased content of macro- and micronutrients in linseed oil cake, as compared with wheat flour, determines the possibility of its applying in baking to improve the nutritional value of bread, which is particularly important taking into account today's lifestyle of the most part of the Russian population. The authors present results of studying of physical and chemical quality indicators (the content and quality of gluten, falling number) of wheat flour, as well as its mixture with linseed cake in different proportions; physical properties of dough flour mixes containing 6–18% of linseed cake, the effect of storage period on the quality of the mixture and baked bread. The paper also outlines the study results on laboratory test baking and thermogravimetric analysis of the samples, the assessment of the quality of bread from wheat flour with linseed cake. The authors provide recommendations on the baking mode optimization with account of the chemical composition and the activation energy of the raw materials. The study results allow making recommendations for the improved production of enriched bakery products based on the extensive use of 6% linseed cake by weight of top quality wheat flour with the following process parameters: the baking chamber temperature of 190°C, and the baking duration of 26 min.

Key words: *linen cake, physical and chemical indicators of quality flour mixtures, physical properties of a test, thermal gravimetric analysis.*

References

1. *Begeulov M.Sh., Karmashova Ye.O. Ispol'zovaniye zhmykhov semyan maslichnykh kul'tur v khlebopechenii [Use of oilseed cakes in breadmaking] // Khleboprodukty. 2015. No. 4. P. 50–53.*
2. *Begeulov M.Sh., Karmashova Ye.O. Effektivnost' ispol'zovaniya pobochnykh produktov pererabotki rastitel'nogo syr'ya v khlebopechenii [Efficiency of using the by-products of plant raw material processing in breadmaking] // Izv. TSKhA. 2014. Issue 5. P. 79–94.*
3. *Belopukhov S.L., Shneye T.V., Starykh S. Ye. Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu ispytaniy biologicheskikh obrabotok metodom termicheskoy gravimetrii i differentsial'nogo termicheskogo analiza [Methodical instructions for testing biological specimens by a method of thermal gravimetry and differential thermal analysis]. M.: Izdvo RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2010. 46 p.*
4. *Buldanov A.S. Pishchevyye dobavki: Spravochnik [Food additives: Reference book]. M.: Deli print, 2001. 435 p.*
5. *Buteykis N.G. Tekhnologiya prigotovleniya muchnykh konditerskikh izdeliy [Technology of flour confectionery making]. M.: Akademiya, 2010. 304 p.*

6. *Bushnev A.S., Gorbachenko F.I., Kartamysheva Ye.V.* Sostoyaniye proizvodstva i sovershenstvovaniya elementov tekhnologii vozdeyvaniya l'na maslichnogo v yuzhnom regione Rossiyskoy Federatsii [State of production and improvement of flax seeding growing technique elements in the southern region of the Russian Federation] // *Maslozhirovaya promyshlennost'*. 2009. No. 5. P. 14–16.

7. *Zhivetin V.V., Ginzburg L.V.* Maslichnyy len i yego kompleksnoye ispol'zovaniye [Oil flax and its integrated use]. M.: NIILKA, 2000. 312 p.

8. *Zhivetin V.V., Ginzburg L.V., Ol'shanskaya O.M.* Len i yego kompleksnoye ispol'zovaniye [Flax and its integrated use]. M.: InformZnaniye, 2002. 394 p.

9. *Kovalev M.V.* Rossiyskiy len: zabytaya gordost' derzhavy [Russian flax: the forgotten pride of the nation] // *Khраниeniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2011. No. 1. P. 5–7.

10. *Kotik A.V.* Razrabotka i tovarovednaya otsenka polufabrikatov iz semyan l'na dlya ispol'zovaniya v pishchevoy promyshlennosti [Development and commodity evaluation of semifinished products from flax seeds for the use in food industry]: PhD (Eng) thesis. Kemerovo, 2012. 265 p.

11. *Kravchenko A.G.* Lechebnyye svoystva l'na [Therapeutic properties of flax] // *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost'*. 2009. No. 9. P. 18–21.

12. *Minevich I.Ye.* Razrabotka tekhnologicheskikh resheniy pererabotki semyan l'na dlya sozdaniya funktsional'nykh pishchevykh produktov [Development of technological solutions for processing flax seeds to make functional food products]: PhD (Eng) thesis: M., 2009. 234 p.

13. *Metodicheskiye ukazaniya po vypolneniyu laboratornykh rabot po teplotekhnike* [Methodical instructions for the performance of laboratory work on heating equipment]. SPb.: North-Western Technical University, 2003. 54 p.

14. *Ostrobodova S.N.* Razrabotka tekhnologii funktsional'nykh khlebobulochnykh izdeliy s primeneniyyem syrya rastitel'nogo i zhivotnogo proiskhozhdeniya [Development of a technology of functional bakery product making using raw materials of vegetable and animal origin]: PhD (Eng) thesis. Voronezh, 2009. 219 p.

15. *Pashchenko L.P., Prokhorova A.S., Kobtseva Ya. Yu.* Kharakteristika semyan l'na i ikh primeneniye v proizvodstve produktov pitaniya [Characteristics of flax seeds and their application in food production] // *Khраниeniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2004. No. 7. P. 56–57.

16. *Persianov V.A.* Ekonomicheskaya strategiya agrarno-promyshlennogo kompleksa [Economic strategy of the farm industry] // *Khраниeniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2013. No. 6. P. 10–12.

17. *Tirina O.Ye., Shmelenko L.A., Kostyuchenko M.N., Tyurina I.A.* Tekhnologicheskiye aspekty ispol'zovaniya l'nyanoy muki dlya sozdaniya khlebobulochnykh izdeliy gerodiyeticheskogo naznacheniya [Technological aspects of the use of flax flour to make baked gerodietic products] // *Khlebopecheniye Rossii*. 2014. No. 4. P. 29–31.

18. *Khmel'niyskiy G.A.* Fizicheskaya i kolloidnaya khimiya: Ucheb. dlya s.-kh. Spets [Physical and colloid chemistry: Textbook on agricultural crop growing for University students]. M.: Izdatel'skiy dom Al'yans, 2009. 400 p.

19. *Tsyganova T.B., Minevich I.Ye., Zubitsova V.A., Osipova L.L.* // *Perspektivy ispol'zovaniya semyan l'na i l'nyanoy mukikhlebopecheniye Rossii* [Prospects of the use of flax seeds and flax flour in Russian breadmaking]. 2014. No. 4. P. 18–19.

20. *Tsyganova T.B.* Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva khlebobulochnykh izdeliy [Technology and organization of production of bakery products]. M.: Akademiya, 2006. 448 p.

Бегеулов Марат Шагабанович – к. с.-х. н., доц. кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, корп. 37; тел.: (499) 976-24-82; e-mail: mbegeulow@timacad.ru).

Сычева Екатерина Олеговна – асп. кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, корп. 37; тел.: (964) 711-74-37; e-mail: eketkarm@mail.ru).

Marat Sh. Begeulov – PhD (Ag), Associate Professor of the Department of Storage, Processing and Plant Production Science, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; phone: +7(499)976-24-82; e-mail: mbegeulow@timacad.ru).

Yekaterina O. Sycheva – a postgraduate student of the Department of Storage, Processing and Plant Production Science, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; phone: +7 (964) 711-74-37; e-mail: eketkarm@mail.ru).