

ФОРМАЛЬДЕГИД В БЕЛОМ САХАРЕ: ОБНАРУЖЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ

Марина Ивановна Егорова, кандидат технических наук
 Екатерина Сергеевна Николаева
 Любовь Николаевна Пузанова, кандидат сельскохозяйственных наук
 ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»,
 г. Курск, Россия
 E-mail: rniisp@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты проверки, актуализации и практического применения методики фотометрического определения формальдегида в белом сахаре — ICUMSA GS2-36, установления влияния на результат мутности его растворов. Исследования проводили с градуировочными растворами разных концентраций, измененной процедурой измерений. Установлено, что график формальдегида в белом сахаре в диапазоне 0,001...0,1 мг/кг характеризуется линейностью, для измерения светопоглощения следует использовать кювету с толщиной поглощающего слоя 10 см. Стабильность величин светопоглощения применяемых реагентов позволяет использовать их значения, определяемые один раз ежедневно (мутность растворов сахара не оказывает влияния на результат). По итогам тестирования образцов белого сахара подтверждена его безопасность: 75% не содержат формальдегид, 25% содержат в диапазоне 0,01–0,05 мг/кг. Указанная методика в актуализированном варианте может быть рекомендована для практического применения.

Ключевые слова: формальдегид, свекловичный белый сахар, остаточное содержание, фотометрический метод, градуировочный график, оптическая плотность, мутность

FORMALDEHYDE IN WHITE SUGAR: DETECTION AND CONTENT

M.I. Egorova, *PhD in Engineering Sciences*
 E.S. Nikolaeva
 L.N. Puzanova, *PhD in Agricultural Sciences*
 FSBSI «Federal Agricultural Kursk Research Center», Kursk, Russia
 E-mail: rniisp@gmail.com

Abstract. The article presents the results of verification, updating and practical application of the method for the photometric determination of formaldehyde in white sugar ICUMSA GS2-36, establishing the influence on the result of determining the turbidity of sugar solutions. The studies were carried out with calibration solutions of different concentrations and a modified measurement procedure. It was found that the calibration curve of formaldehyde in white sugar in the range of 0.001 to 0.1 mg/kg is characterized by linearity, a cuvette with an absorbing layer thickness of 10 cm should be used to measure light absorption. The applied stability of the light absorption values of the reagents allows the use of their values, determined once daily (the turbidity of sugar solutions does not affect the result). Based on the results of testing samples of white sugar, its safety was confirmed: 75% not contain formaldehyde, 25% contain in the range of 0.01 to 0.05 mg/kg. The specified technique in an updated version can be recommended for practical application.

Keywords: formaldehyde, beet white sugar, residual content, photometric method, calibration curve, optical density, turbidity

Сахар — натуральный углеводный подсластитель в виде сахарозы разной степени очистки. Количество его потребления населением зависит от макросреды и национальных традиций. В России в 1880 году оно составляло 2,9 кг/чел. в год, 1901 — 6,4, 2000 — 35, в текущем столетии стабилизировалось на уровне 39 кг/чел. в год. [1]

Сырье — сахарный тростник и сахарная свекла. Доля тростникового сахара в общем объеме мирового производства составляет 78...80%. [7] Ежегодно в мире выращивают 270...300 млн т сахарной свеклы, в России — 33,9...54,4 млн т. [8] Россия, Франция, Германия, США и Турция производят ежегодно 19...22 млн т свекловичного сахара при мировой выработке 32...36 млн т (Россия — 5,2...7,8 млн т).

Актуальная задача — контроль безопасности производства сахара, идентификация химических соединений, присутствие которых даже в незначительных количествах может нанести вред здоровью человека.

При производстве сахара из сахарной свеклы существует риск развития микрофлоры в техно-

гическом потоке, который связан с поступлением подверженных различным заболеваниям корнеплодов после хранения, проникновением микроорганизмов с почвой, находящейся на поверхности корнеплодов, с производственными водами. [5, 6] Наиболее благоприятные условия для развития микрофлоры наступают в процессе экстрагирования сахарозы из-за высокого содержания воды в составе диффузионного сока (84...88%), диапазона температур от 20 до 80°C. Развитие микроорганизмов приводит к повышению неучтенных потерь сахарозы (0,3...0,4%), продукты распада (молочная кислота, красящие вещества), как сильные меласообразователи снижают выход сахара. [10] Чтобы подавить рост патогенной микрофлоры используют вспомогательные средства (хлор- и магнийсодержащие препараты, соединения полигуанидина, бензойной кислоты и другие). [3, 6] Наиболее эффективный — 40%-й раствор формалина, 0,015...0,02% массы свеклы. [9] Техническим регламентом Таможенного союза «Требования безопасности пи-

щевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012) допускается применение формальдегида в качестве антимикробного вещества при переработке сахарной свеклы.

Формальдегид – канцероген, представляет опасность для здоровья человека. [2] Содержание его в продуктах питания варьирует от ниже 1 (молоко) до более 200 мг/кг (некоторые виды рыб). [12] Установленного норматива для ежедневного потребления формальдегида не существует, по оценкам ВОЗ он находится в диапазоне – 1,4...1,7 мг/кг массы тела в сутки для взрослого человека. Количество формальдегида в сахаре – 0,75 мг/кг. [11] Техническим регламентом Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012) максимальное остаточное количество формальдегида в белом сахаре установлено на уровне 0,05 мг/кг.

Для определения формальдегида в пищевых продуктах, воде, упаковке используют различные аналитические методы (высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), спектрофотометрия, колориметрия, капиллярный электрофорез). В России Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека для определения формальдегида в сахаре рекомендует пользоваться МУК 4.1.3489-17 «Определение остаточных количеств формальдегида в сахаре методом газожидкостной хроматографии: Методические указания», в которых предел обнаружения в пробе – 0,002 мг/кг. Для нахождения содержания формальдегида в воде согласно ГОСТ Р 55227 «Вода. Методы определения содержания формальдегида» используют методы: ВЭЖХ, фотометрический, флуориметрический.

Хроматографические методы наиболее точные, но они требуют дорогостоящего оборудования и квалифицированного персонала. Свеклосахарные заводы не оснащены жидкостными хроматографами и используют на практике методы фотометрии, показавшие свою надежность и достоверность при установлении цветности растворов сахара, мутности, содержания раффинозы, α -аминного азота в сахарной свекле и мелассе. Фотометрический метод изложен в ICUMSA – GS2-36 «Определение формальдегида в белом сахаре с помощью колориметрического метода». Но эта методика в России никогда не применялась, а формат ее изложения требует детализации и корректировки некоторых аспектов подготовки проб и измерений. Она основана на взаимодействии формальдегида с ацетилацетоном в среде уксуснокислого аммония с образованием соединения, окрашенного в желтый цвет с максимумом оптической плотности в спектре поглощения при 410 нм. В методике GS2-36 указано, что она предназначена для определения содержания формальдегида в белом сахаре до 1 мг/кг с построением градуировочного графика в диапазоне 0...1 мг/кг сахара и использованием фотометрической кюветы с толщиной поглощающего слоя 1 см. Так как, в сахаре, вырабатываемом в России, содержание формальдегида не должно превышать 0,05 мг/кг, необходим градуировочный график

в диапазоне 0...0,1 мг/кг и фотометрическая кювета с толщиной поглощающего слоя 10 см. Кроме того, растворы сахара наряду с цветностью, обусловленной содержанием красящих веществ, обладают мутностью [4], которая приводит к искажению результатов фотометрических определений. Предположительно, мутность растворов сахара может повлиять на результат определения формальдегида, но такая информация в научной литературе отсутствует.

Цель работы – экспериментально проверить, актуализировать и практически применить методику фотометрического определения формальдегида в белом сахаре, установить влияние на результат мутности растворов сахара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании применяли реактивы: аммоний уксуснокислый ч.д.а., ГОСТ 3117; ацетилацетон ч.д.а., ГОСТ 10259; натрий формальдегид бисульфит ч.; кислота уксусная ч.д.а., ГОСТ 61; сахароза х.ч., ГОСТ 5883; вода бидистиллированная, ГОСТ 4517. Использовали фотометр фотоэлектрический КФК-3-01 «ЗОМЗ» (длина волны – 410 ± 5 нм), кюветы с толщиной поглощающего слоя – 1 и 10 см, весы лабораторные электронные ShinkoDenshi ViBRA NT224CE (класс точности I), посуду мерную, лабораторную стеклянную (ГОСТ 1770), прибор вакуумного фильтрования ПВФ-47/1, фильтры Владисарт ФМНЦ (0,45 мкм, D 47 мм).

Стандартный раствор формальдегида (концентрация – 0,28 мг/см³) хранили не более месяца в бутылках из темного стекла при температуре не выше 5°C. Методом разбавления готовили рабочий раствор формальдегида с концентрацией 0,028 мг/см³. Добавление 1 см³ рабочего раствора к 28 г сахарозы соответствует концентрации формальдегида в сахаре 0,028 мг/28 г или 1 мг/кг; 0,1 см³ – 0,1 мг/кг.

В день проведения анализа в мерных колбах по 100 см³ готовили: реактив Ханча – раствором 15,4 г аммония уксуснокислого в бидистиллированной воде с добавлением 0,2 см³ ацетилацетона и 0,3 см³ уксусной кислоты; аммиачный реактив – раствором 15,4 г аммония уксуснокислого в бидистиллированной воде с 0,3 см³ уксусной кислоты. С соблюдением указанных пропорций готовили растворы в мерной колбе вместимостью 1000 см³.

Градуировочные растворы делали, растворяя 28 г сахарозы не содержащей формальдегид, в бидистиллированной воде с добавлением в каждый определенный объем рабочего раствора формальдегида, доводили объем раствора до 100 см³, использовали свежеприготовленными.

Пробоподготовка образцов белого сахара заключалась в растворении 28 г в бидистиллированной воде с доведением объема раствора до 100 см³.

Исследования проводили в двух сериях опытов с градуировочными растворами, соответствовавшими содержанию формальдегида в белом сахаре: 1 – 0; 0,2; 0,5; 0,8; 1,0 мг/кг; 2 – 0; 0,02; 0,05; 0,08; 0,10 мг/кг (каждая точка в трех повторностях). Изучено 150 образцов белого сахара категорий экстра, ТС2, ТС3, выработанного свеклосахарными заводами разных регионов страны из урожая сахар-

ной свеклы 2020, 2021 годов и 8 образцов белого сахара с различной мутностью.

В первой серии опытов в пробирки с крышками вносили градуировочный раствор с соответствующим содержанием формальдегида (или раствор образца сахара) и реактивы по схеме: пробирка 1 – 4 см³ градуировочного раствора (или раствора сахара) + 4 см³ реактива Ханча; пробирка 2 – 4 см³ бидистиллированной воды + 4 см³ реактива Ханча; пробирка 3 – 4 см³ градуировочного раствора (или раствора сахара) + 4 см³ аммиачного реагента; пробирка 4 – 4 см³ бидистиллированной воды + 4 см³ аммиачного реагента. Во второй серии использовали колбы вместимостью 100 см³, а объемы вносимых растворов увеличивали до 50 см³. Пробирки или колбы с растворами помещали в водяную баню с температурой 60°C и выдерживали 15 мин., затем охлаждали в воде до 20°C. Оптическую плотность систем измеряли в кюветках с толщиной поглощающего слоя: в первой серии опытов – 1 см, во второй – 10 см; раствор сравнения – бидистиллированная вода. В качестве величин оптической плотности систем использовали среднеарифметическое значение трех измерений.

Оптическую плотность окрашенных продуктов реакции с ацетилацетоном $A_{пр}$ вычисляли по формуле:

$$A_{пр} = A_p - A_c, \quad (1)$$

где $A_{пр}$ – оптическая плотность окрашенных продуктов реакции, ед. опт. пл.;

A_p – оптическая плотность реактива, ед. опт. пл.;

A_c – оптическая плотность раствора сахара, ед. опт. пл.

$$A_p = A_1 - A_2, \quad (2)$$

где A_1, A_2 – оптическая плотность системы в колбах 1 и 2 соответственно, ед. опт. пл.

$$A_c = A_3 - A_4, \quad (3)$$

где A_3, A_4 – оптическая плотность системы в колбах 3 и 4 соответственно, ед. опт. пл.

Исследовали стабильность показателей оптических плотностей систем в колбах.

Градуировочный график строили, откладывая по оси абсцисс величины содержания формальдегида в сахаре, ординат – соответствующие им значения оптической плотности окрашенных продуктов реакции. Контроль приемлемости и стабильности градуировочной характеристики осуществляли по ГОСТ Р 55227 «Вода. Методы определения содержания формальдегида».

Содержание формальдегида в образцах сахара находили по градуировочному графику, полученному во второй серии опытов.

Влияние мутности растворов сахара на результат определения содержания формальдегида наблюдали на восьми образцах белого сахара с различной цветностью и мутностью (табл. 1). Цветность сахара устанавливали по ГОСТ 12572 «Сахар. Метод определения цветности», мутность – по методике ICUMSA.

Таблица 1.

Характеристика образцов белого сахара

Образец	Категория сахара	Цветность, ед. опт. пл.	Мутность, ед. опт. пл.
1	Экстра	44	30
2	ТС2	62	100
3	ТС2	69	35
4	ТС2	82	32
5	ТС2	104	55
6	ТС3	109	68
7	ТС3	145	94
8	ТС3	148	91

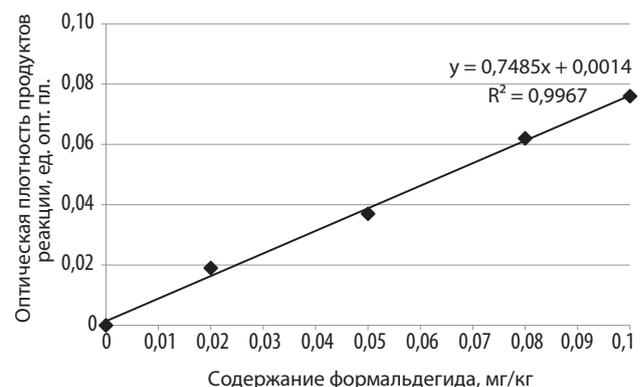
Пробы образцов сахара при определении содержания формальдегида готовили по двум вариантам: 1 – контроль, согласно методике; 2 – подготовленный раствор сахара фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Результаты статистически обрабатывали с помощью программы MS Excel 2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Коэффициент корреляции (R^2) градуировочного графика первой серии опытов в диапазоне 0,01...1,0 мг/кг равен 0,9969, во второй (0,001...0,1 мг/кг) – 0,9967, что подтверждает линейность метода в указанных диапазонах (см. рисунок).

Изменяемые значения светопоглощения системы с окрашенным соединением отличаются на порядок: в первой серии опытов – 0,020...0,040 ед. опт. пл., что увеличивает погрешность определения; во второй – 0,2...0,4 ед. опт. пл. (приемлемо для фотометрических измерений). Таким образом, для использования методики следует изменить процедуру приготовления градуировочных растворов с построением градуировочного графика в диапазоне 0,001...0,01 мг/кг и применять кювету с толщиной поглощающего слоя 10 см. Подтверждена стабильность величин светопоглощения системы в колбе 2 для реактива Ханча, что позволяет использовать его в качестве раствора сравнения при определении светопоглощения исследуемого раствора сахара. Также подтверждена стабильность величин светопоглощения систем в колбах 3 и 4. Указанное поможет минимизировать измерения, проводимые ежедневно и использовать их при расчетах для исследуемых образцов в течение одного рабочего дня.



Градуировочный график формальдегида в белом сахаре.

Таблица 2.
Результаты измерений и расчетов содержания формальдегида для образцов белого сахара с различной мутностью раствора

Номер колбы	Вариант 1				Вариант 2			
	$A_{(1,2,3,4)}$	$\frac{A_p}{A_c}$	$A_{пр}$	$C_{ф'}$ мг/кг	$A_{(1,2,3,4)}$	$\frac{A_p}{A_c}$	$A_{пр}$	$C_{ф'}$ мг/кг
Образец 1, мутность 30 ед. опт. пл.								
1	0,374	0,193	0,033	0,04	0,376	0,195	0,035	0,04
2	0,181				0,181			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			
Образец 2, мутность 100 ед. опт. пл.								
1	0,366	0,186	0,025	0,03	0,366	0,186	0,025	0,03
2	0,180				0,180			
3	0,176	0,161			0,176	0,161		
4	0,015				0,015			
Образец 3, мутность 35 ед. опт. пл.								
1	0,360	0,179	0,019	0,02	0,360	0,179	0,019	0,02
2	0,181				0,181			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			
Образец 4, мутность 32 ед. опт. пл.								
1	0,340	0,160	0,000	отсут.	0,340	0,160	0,000	отсут.
2	0,180				0,180			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			
Образец 5, мутность 55 ед. опт. пл.								
1	0,372	0,191	0,031	0,04	0,373	0,192	0,032	0,04
2	0,181				0,181			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			
Образец 6, мутность 68 ед. опт. пл.								
1	0,374	0,193	0,033	0,04	0,373	0,192	0,032	0,04
2	0,181				0,181			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			
Образец 7, мутность 94 ед. опт. пл.								
1	0,358	0,177	0,017	0,02	0,358	0,177	0,017	0,02
2	0,181				0,181			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			
Образец 8, мутность 91 ед. опт. пл.								
1	0,372	0,191	0,031	0,04	0,372	0,191	0,031	0,04
2	0,181				0,181			
3	0,175	0,160			0,175	0,160		
4	0,015				0,015			

Процедуру измерений рекомендуем проводить с учетом подтвержденных закономерностей для выделения величины светопоглощения окрашенного соединения.

Изучили влияние мутности растворов сахара на результат определения формальдегида (табл. 2).

Значения измеряемой оптической плотности в системах $A(1,2,3,4)$ для всех образцов по двум вариантам почти не отличаются, а расчетные величины содержания формальдегида в образцах полностью совпали. Следовательно, мутность сахарных раство-

ров не оказывает влияния на результат определения формальдегида фотометрическим методом.

Получены обобщенные результаты определения формальдегида в 150 образцах белого сахара (12 – категории экстра, 105 – ТС2, 33 – ТС3), выработанного по ГОСТ 33222 «Сахар белый. Технические условия» из урожая сахарной свеклы 2020, 2021 годов 38 свеклосахарными заводами России, расположенными в десяти регионах четырех федеральных округов. В 113 образцах формальдегид не обнаружен, в том числе во всех образцах категории экстра, 81 – ТС2, 20 – ТС3, что составило 75% протестированных образцов. Содержание формальдегида варьировало от 0,01 до 0,05 мг/кг в 37 образцах, в том числе 24 – ТС2 и 13 – ТС3.

Таким образом, метод фотометрического определения формальдегида в белом сахаре экспериментально апробирован, методика актуализирована за счет уточнения процедур построения градуировочного графика и измерений. Установлено отсутствие влияния на результат мутности растворов сахара. Результаты подтверждают безопасность белого сахара, производимого в России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беяева Л.И., Остапенко А.В. Современные аспекты использования биотехнологий в производстве сахара // Наука, питание и здоровье: сб. науч. тр. в 2 ч. Ч. 2. Минск: Беларуская навука, 2021. С. 18–24.
2. Голиков Р.А., Суржилов Д.В., Кислицына В.В. и др. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. № 5. С. 20–31.
3. Гусятинская Н.А., Авдиенко С.А., Чорная Т.Н. и др. Дезинфекция в сахарном производстве: безопасность персонала, обеспечение качества продукции // Сахар. 2015. № 11. С. 44–47.
4. Егорова М.И., Кретова Я.А. Мутность растворов белого сахара как индикаторный показатель для потребителей и производителей // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии: сб. докл. XXIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 1 октября 2020 г. Минск: Беларуская навука, 2020. С. 363–367.
5. Егорова М.И., Пузанова Л.Н., Смирнова Л.Ю. Развитие методологических аспектов идентификации болезней сахарной свеклы при поступлении в технологический поток производства сахара // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 134–148. doi: 10.36107/spfr.2020.321.
6. Кульнева Н.Г., Шматова А.И., Манько Ю.И. Микрофлора свеклосахарного производства: проблемы и пути решения // Вестник ВГУИТ. 2014. № 1. С. 193–196. doi: 10.20914/2310-1202-2014-1-193-196.
7. Серегин С.Н., Лукин Н.Д., Бызов В.А. Развитие рынка сахаристых продуктов: ограничения и стимулы роста // Пищевая промышленность. 2022. № 8. С. 25–31. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.005.
8. Смоленцева Е.В. Производство сахара в мире и факторы на него влияющие // Московский экономический журнал. 2019. № 8. статья 18026. С. 585–599. doi: 10.24411/2413-046X-2019-18026.
9. Aubry R., Gasnot L. The fate of formaldehyde in sugar manufacture and in products // Sugar Industry. 2015. No. 140(11). P. 692–696. doi: 10.36961/si16950.

10. De Bruijn J.M. Chemistry and microbiology in sugar extraction // *Sugar Industry*. 2021. No. 146(10). P. 574–581. doi: 10.36961/si27541.
11. European Food Safety Authority. Endogenous formaldehyde turnover in humans compared with exogenous contribution from food sources // *EFSA Journal*. 2014. No. 12(2). Article 3550. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3550.
12. Nowshad F., Islam M.N., Khan M.S. Concentration and formation behavior of naturally occurring formaldehyde in foods // *Agric & Food Secur.* 2018. No. 7. Article 17. doi: 10.1186/s40066-018-0166-4.
5. Egorova M.I., Puzanova L.N., Smirnova L.Yu. Razvitie metodologicheskikh aspektov identifikatsii boleznej saharnoj svekly pri postuplenii v tekhnologicheskij potok proizvodstva sahara // *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya*. 2020. № 3. S. 134–148. doi: 10.36107/spfp.2020.321.
6. Kul'neva N.G., SHmatova A.I., Man'ko Yu.I. Mikroflora sveklosaharnogo proizvodstva: problemy i puti resheniya // *Vestnik VGUIT*. 2014. № 1. S. 193–196. doi:10.20914/2310-1202-2014-1-193-196.
7. Seregin S.N., Lukin N.D., Byzov V.A. Razvitie rynka saharistyh produktov: ogranicheniya i stimuly rosta // *Pishcheyaya promyshlennost'*. 2022. № 8. S. 25–31. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.005.
8. Smolenceva E.V. Proizvodstvo sahara v mire i faktory na nego vliyayushchie // *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. 2019. № 8. stat'ya 18026. S. 585–599. doi: 10.24411/2413-046H-2019-18026.
9. Aubry R., Gasnot L. The fate of formaldehyde in sugar manufacture and in products // *Sugar Industry*. 2015. No. 140(11). P. 692–696. doi: 10.36961/si16950.
10. De Bruijn J.M. Chemistry and microbiology in sugar extraction // *Sugar Industry*. 2021. No. 146(10). P. 574–581. doi: 10.36961/si27541.
11. European Food Safety Authority. Endogenous formaldehyde turnover in humans compared with exogenous contribution from food sources // *EFSA Journal*. 2014. No. 12(2). Article 3550. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3550.
12. Nowshad F., Islam M.N., Khan M.S. Concentration and formation behavior of naturally occurring formaldehyde in foods // *Agric. & Food Secur.* 2018. No. 7. Article 17. doi: 10.1186/s40066-018-0166-4.

REFERENCES

1. Belyaeva L.I., Ostapenko A.V. Sovremennye aspekty ispol'zovaniya biotekhnologiy v proizvodstve sahara // *Nauka, pitanie i zdorov'e: sb. nauch. tr. v 2 ch. Ch. 2*. Minsk: Belaruskaya navuka, 2021. S. 18–24.
2. Golikov R.A., Surzhikov D.V., Kislicyna V.V. i dr. Vliyanie zagryazneniya okruzhayushchej sredy na zdorov'e naseleeniya (obzor literatury) // *Nauchnoe obozrenie. Medicinskie nauki*. 2017. № 5. S. 20–31.
3. Gusyatsinskaya N.A., Avdienko S.A., Chornaya T.N. i dr. Dezinfekciya v saharom proizvodstve: bezopasnost' personala, obespechenie kachestva produkcii // *Sahar*. 2015. № 11. S. 44–47.
4. Egorova M.I., Kretova Ya.A. Mutnost' rastvorov belogo sahara kak indikatornyj pokazatel' dlya potrebitelej i proizvoditelej // *Agrarnaya nauka – sel'skohozyajstvennomu proizvodstvu Sibiri, Mongolii, Kazahstana, Belarusi i Bolgarii: sb. dokl. XXIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Minsk, 1 oktyabrya 2020 g.* Minsk: Belaruskaya navuka, 2020. S. 363–367.