

УДК 535.372:636.5.034

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-114-117

М.В. Беляков

Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, Москва, Россия

✉ bmw20100@mail.ru

Поступила в редакцию:
28.07.2023

Одобрена после рецензирования:
27.12.2023

Принята к публикации:
10.01.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-114-117

Mikhail V. Belyakov

Federal Scientific Agroengineering Center
VIM, Moscow, Russia

✉ bmw20100@mail.ru

Received by the editorial office:
28.07.2023

Accepted in revised:
27.12.2023

Accepted for publication:
10.01.2024

Оптические люминесцентные свойства яиц

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Оптические фотолюминесцентные свойства яиц сельскохозяйственной птицы могут служить индикаторами их качества как для процессов инкубации, так и для процессов пищевых технологий. На начальном этапе представляется важным провести оценку спектральных характеристик возбуждения и люминесценции, а также параметров столовых и инкубационных яиц различного качества и с различным цветом скорлупы.

Методы. Для исследований были использованы куриные яйца кроссов китайская шелковая и Хайсекс браун, а также образцы утиных, гусиных и перепелиных яиц. Измерения проводились на дифракционном спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» с встроенным программным обеспечением Panorama Pro. По полученным спектральным характеристикам были рассчитаны энергетические (интегральная поглощательная способность и поток люминесценции, энергия спектра) и статистические (математическое ожидание, дисперсия, асимметрия, эксцесс) параметры, а также стоксов сдвиг.

Результаты. Фотолюминесцентные свойства яиц сельскохозяйственной птицы проявляются в ультрафиолетовой области спектра. Качественно спектры различных видов домашних птиц схожи с незначительным различием стоксова сдвига. Для оплодотворенных куриных яиц поток фотолюминесценции в 2,7 раза больше, чем у неоплодотворенных, при этом разброс значений для неоплодотворенных яиц в 5,6 раза меньше. Такие параметры спектров, как асимметрия и эксцесс, существенно различаются для люминесценции темно- и светлоскорлупных куриных яиц. Для столовых яиц интегральные энергетические параметры в 2,8–3,1 раза больше, чем у инкубационных.

Ключевые слова: столовые и инкубационные яйца, спектр возбуждения, спектр фотолюминесценции, стоксов сдвиг, оптические свойства

Для цитирования: Беляков М.В. Оптические люминесцентные свойства яиц. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 114–117. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-114-117>

© Беляков М.В.

Optical luminescent properties of eggs

ABSTRACT

Relevance. Optical photoluminescent properties of poultry eggs can serve as indicators of their quality both for incubation processes and for food technology processes. At the initial stage, it is important to evaluate the spectral characteristics of excitation and luminescence, as well as the parameters of table and incubation eggs of different quality and with different shell color.

Methods. Chicken eggs of Chinese silk and Hysex brown crosses, as well as samples of duck, goose and quail eggs were used for research. The measurements were carried out on a diffraction spectrofluorimeter “Fluorat-02-Panorama” with built-in software “Panorama Pro”. The obtained spectral characteristics were used to calculate the energy (integral absorption capacity and luminescence flux, spectrum energy) and statistical parameters (expectation, variance, asymmetry, kurtosis), as well as the Stokes shift.

Results. Photoluminescent properties of poultry eggs are manifested in the ultraviolet region of the spectrum. Qualitatively, the spectra of different species of domestic birds are similar with a slight difference in the Stokes shift. For fertilized chicken eggs, the photoluminescence flux is 2.7 times greater than that of unfertilized eggs, while the spread of values for unfertilized eggs is 5.6 times less. Spectrum parameters such as asymmetry and kurtosis differ significantly for the luminescence of dark and light-shell chicken eggs. For table eggs, the integral energy parameters are 2.8–3.1 times greater than those of incubation eggs.

Key words: table and incubation eggs, excitation spectrum, photoluminescence spectrum, Stokes shift, optical properties

For citation: Belyakov M.V. Optical luminescent properties of eggs. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 114–117 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-114-117>

© Belyakov M.V.

Введение/Introduction

Электромагнитное излучение оптического диапазона достаточно давно применяется для улучшения эмбриогенеза куриных яиц при прединкубационной обработке [1, 2]. Однако в последнее время заметный интерес вызвали исследования по выявлению и классификации дефектных яиц с использованием методов машинного обучения и компьютерного зрения. Предложен метод обнаружения трещин на поверхности яиц [3].

Ранее были проведены исследования по определению свежести яиц с использованием спектроскопии в ближней инфракрасной области и гиперспектральных изображений [4]. В настоящее время используется тепловизионный метод определения оплодотворенности яиц до инкубации [5]. Измерения перечисленными способами ряда параметров перспективны для получения ценной информации в процессе инкубации и хранения яиц. В работах, проводимых для обнаружения дефектных яиц, выполнялось только обнаружение трещин, поэтому в исследовании [6] было выбрано использование системы машинного зрения в реальном времени, разработанной для классификации грязных, окровавленных, треснувших и твердых яиц.

Оптические методы используются для предварительного отбора самцов во время эмбрионального развития [7–9]. Этот метод позволяет более гуманно отбраковывать самцов. Была разработана и проверена надежная и неинвазивная методика определения пола по цвету *in ovo*. С этой целью была использована точечная спектроскопия видимого и ближнего инфракрасного диапазона (749–861 нм), которая имеет преимущества перед современной гиперспектральной визуализацией с точки зрения точности и стоимости [10]. Также известно, что в технологиях переработки яиц используется метод колориметрического контроля цвета внешней оболочки желтка в зависимости от времени варки [11].

Цель работы — исследование оптических фотолюминесцентных характеристик и параметров столовых и инкубационных яиц для дальнейшего создания методики их диагностики.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для спектральных исследований были использованы куриные яйца кроссов китайская шелковая (светлоскорлупные) и Хайсекс браун (темноскорлупные), а также утиные, гусиные и перепелиные яйца, предоставленные ФГБОУ ВО «Смоленская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Смоленск, Россия).

Исследования проводились на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» (ООО «Люмэкс», Россия) с выставлением соответствующих настроек в программном обеспечении Panorama Pro (разработчик — ООО «Люмэкс», права на использование переданы вместе с прибором).

Исследуемое яйцо находилось в темном футляре (для защиты от посторонних засветок). Световод подводили к острому концу яйца. Измерения проводились с 2015 по 2023 год на базе филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске и ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Были измерены спектры возбуждения $\eta_{\lambda}(\lambda)$ и фотолюминесценции $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ яиц. Повторность измерения — 20. Расчеты погрешностей проведены по общепринятой

методике с $p = 0,9$. Рассчитаны энергетические и статистические параметры спектров. Интегральные энергетические параметры фотолюминесценции: H — интегральная поглощательная способность (в относительных единицах) и Φ — относительный поток люминесценции (в относительных единицах). Определяются по формулам:

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_{\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (1),$$

где $\eta_{\lambda}(\lambda)$ — спектральная характеристика возбуждения, λ_1 – λ_2 — пределы интегрирования характеристики возбуждения.

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (2),$$

где $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ — спектральная характеристика люминесценции, λ_1 – λ_2 — пределы интегрирования характеристики люминесценции.

Математическое ожидание M_{λ} , характеризующее положение центра тяжести спектра, определяется формулой:

$$M_{\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda \varphi(\lambda) d\lambda, \quad (3),$$

где $\varphi(\lambda)$ — дифференциальная функция распределения (распределение плотности вероятности), λ_1 – λ_2 — пределы интегрирования.

Дисперсия σ^2 , характеризующая степень разброса длин волн люминесценции относительно центра тяжести, рассчитывается по формуле:

$$\sigma^2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (\lambda - M)^2 \varphi(\lambda) d\lambda, \quad (4),$$

Для оценки асимметрии (скошенности) спектра используют коэффициент асимметрии A_s , который определяется по формуле:

$$A_s = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad (5),$$

где μ_3 — центральный статический момент 3-го порядка.

За оценку коэффициента крутости приняли искусственно созданную величину, которую называли эксцессом E_{λ} (вычисляется по формуле):

$$E_{\lambda} = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (6),$$

где μ_4 — центральный статический момент 4-го порядка.

Полная энергия люминесценции в диапазоне длин волн λ_1 – λ_2 вычисляется по формуле:

$$E = 1240 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda} \varphi(\lambda) d\lambda, \quad (7),$$

В процессе обработки был вычислен стоксов сдвиг, который равен разности длин волн максимумов кривых спектров люминесценции и возбуждения¹.

¹ Зиенко С.И., Беляков М.В., Малышкин В.В. Новые методы и средства спектрально-люминесцентного анализа семян растений: монография. Смоленск: Универсум. 2020; 184.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Трехмерный спектр люминесценции представлен на рисунке 1.

Спектр возбуждения находится в спектральном диапазоне 220–320 нм (ультрафиолетовое излучение) и имеет несколько максимумов: наибольший на длине волны примерно 290 нм, далее по убыванию — 275 нм, 265 нм, 248 нм и 230 нм. Спектр фотолюминесценции одномаксимальный с максимумом примерно на 337 нм и расположен в области 310–440 нм.

Были проведены сравнительные исследования спектров инкубационных яиц кур, уток, гусей и перепелов. Усредненные результаты представлены на рисунке 2.

Зависимости $\eta_{\lambda}(\lambda)$ и $\phi_{\lambda}(\lambda)$ для всех исследованных видов яиц имеют схожий вид, отличие заключается лишь в количественной величине спектров: для куриных, утиных и гусиных яиц расположение кривых и значения максимумов выше, чем у перепелиных. При этом закономерно уровни максимумов для светлой части перепелиных яиц будут выше темной (примерно в 2,2–2,5 раза).

В коротковолновой области максимумы для утиных и гусиных яиц превосходят максимумы для куриных. Спектры перепелиных яиц имеют качественные отличия от куриных, утиных и гусиных. У них на 10 нм меньше стоков сдвиг: примерно 36 нм для перепелиных, около 46 нм для остальных. Также точка пересечения графиков η_{λ} и ϕ_{λ} находится в более коротковолновой области: 302 нм для темной части, 305 нм — для светлой, в то время как для куриных, утиных и гусиных — примерно на 308–309 нм.

Провели сравнительное исследование светлоскорлупных куриных инкубационных яиц и таких же яиц заведомо неоплодотворенных. Измерили спектры $\eta_{\lambda}(\lambda)$ и $\phi_{\lambda}(\lambda)$ и рассчитали интегральные параметры H и Φ , а также стоков сдвиг. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры спектров инкубационных оплодотворенных и неоплодотворенных яиц

Table 1. Parameters of incubation spectra of fertilized and unfertilized eggs

Вид яиц	$\Delta\lambda$, нм	H , о. е.	Φ , о. е.
Инкубационные оплодотворенные	42 ± 2	594 ± 193	971 ± 327
Неоплодотворенные	32 ± 4	230 ± 33	363 ± 58

Таблица 2. Статистические и энергетические параметры спектров возбуждения куриных яиц

Table 2. Statistical and energy parameters of the excitation spectra of chicken eggs

Вид яиц	M_{λ} , нм	σ^2	As	E_{λ}	E , эВ	H , о. е.
Темноскорлупные столовые	$272 \pm 0,2$	407 ± 2	$-0,43 \pm 0,01$	$-0,54 \pm 0,01$	$4,58 \pm 0,01$	883 ± 85
Темноскорлупные инкубационные	$273 \pm 0,3$	404 ± 3	$-0,45 \pm 0,01$	$-0,53 \pm 0,02$	$4,55 \pm 0,01$	2469 ± 355
Белоскорлупные столовые	$274 \pm 0,2$	411 ± 1	$-0,42 \pm 0,00$	$-0,59 \pm 0,01$	$4,55 \pm 0,00$	768 ± 32
Белоскорлупные инкубационные	$273 \pm 0,3$	398 ± 3	$-0,47 \pm 0,01$	$-0,47 \pm 0,02$	$4,55 \pm 0,01$	2308 ± 732

Таблица 3. Статистические параметры спектров люминесценции куриных яиц

Table 3. Statistical parameters of luminescence spectra of chicken eggs

Вид яиц	M_{λ} , нм	σ^2	As	E_{λ}	E , эВ	Φ , о. е.
Темноскорлупные столовые	$343 \pm 0,3$	494 ± 6	$0,75 \pm 0,01$	$-0,04 \pm 0,03$	$3,63 \pm 0,00$	921 ± 85
Темноскорлупные инкубационные	$344 \pm 0,5$	493 ± 6	$0,70 \pm 0,03$	$-0,10 \pm 0,05$	$3,61 \pm 0,01$	2595 ± 390
Белоскорлупные столовые	$349 \pm 0,3$	499 ± 3	$0,53 \pm 0,01$	$-0,34 \pm 0,02$	$3,57 \pm 0,01$	856 ± 39
Белоскорлупные инкубационные	$347 \pm 0,5$	507 ± 6	$0,56 \pm 0,02$	$-0,32 \pm 0,04$	$3,58 \pm 0,01$	2667 ± 845

Рис. 1. Трехмерный спектр люминесценции куриного светлоскорлупного яйца

Fig. 1. Three-dimensional luminescence spectrum of a light-shelled chicken egg

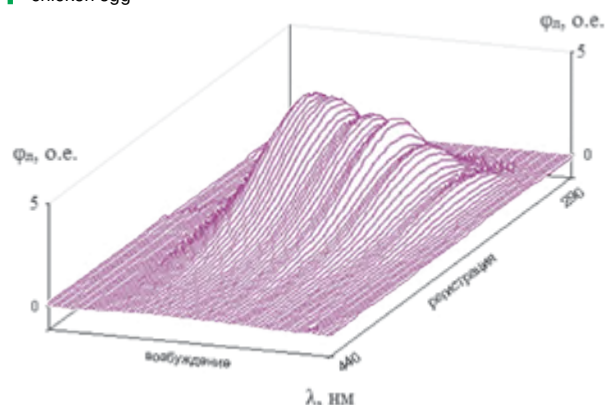
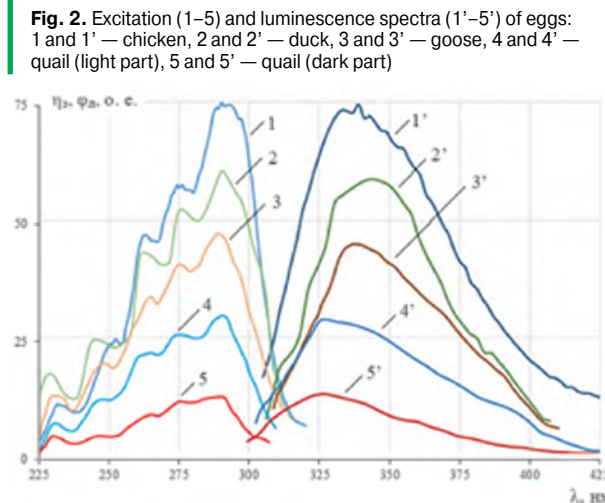


Рис. 2. Спектр возбуждения (1–5) и люминесценции (1'–5') яиц: 1 и 1' — куриных, 2 и 2' — утиных, 3 и 3' — гусиных, 4 и 4' — перепелиных (светлая часть), 5 и 5' — перепелиных (темная часть)

Fig. 2. Excitation (1–5) and luminescence spectra (1'–5') of eggs: 1 and 1' — chicken, 2 and 2' — duck, 3 and 3' — goose, 4 and 4' — quail (light part), 5 and 5' — quail (dark part)



Видно, что стоков сдвиг для неоплодотворенных яиц меньше, чем для оплодотворенных инкубационных. Для инкубационных яиц отмечаются существенно большие (в 2,6–2,7 раза) средние интегральные параметры H и Φ , чем у заведомо неоплодотворенных. Заметно отличается вариабельность: для неоплодотворенных яиц в 5,6–5,8 раза меньше. Это может объясняться связью параметров фотолюминесценции и параметров инкубации.

Был проведен эксперимент по измерению спектральных характеристик столовых и инкубационных светлоскорлупных и темноскорлупных яиц, по итогам которого были рассчитаны усредненные статистические параметры — математическое ожидание, дисперсия, асимметрия, эксцесс, энергия спектра, а также интегральная поглощательная способность и поток фотолюминесценции. Результаты расчетов представлены в таблицах 2, 3.

Математические ожидания для всех типов исследованных яиц практически не отличаются: 272–274 нм для возбуждения, 343–349 нм для люминесценции. Погрешность определения математического ожидания незначительная: 0,07–0,15%. Дисперсия мало отличается для различных типов яиц, но

у спектров фотолюминесценции она примерно на 25% больше. Все графики возбуждения имеют левостороннюю асимметрию ($A_s < 0$), а графики фотолюминесценции — правостороннюю. Однако если для возбуждения асимметрия для всех типов исследованных яиц отличается мало, то у люминесценции темноскорлупных яиц (как столовых, так и инкубационных) асимметрия в 1,25–1,42 раза больше.

Подобная тенденция прослеживается для параметра островершинности — эксцесса. Для всех спектров он отрицательный, то есть кривые плосковершинные. Плосковершинность меньше для зависимостей $\varphi_{\lambda}(\lambda)$, причем для темноскорлупных столовых яиц кривая близка к колоколообразной.

Значения энергии спектров практически не зависят от типа исследованных яиц. Величины асимметрии, эксцесса и энергии спектра определяются с очень высокой точностью и мало отличаются в пределах каждой исследованной группы.

Интегральная поглощательная способность столовых яиц значительно (в 2,8–3,0 раза) меньше, чем у инкубационных, и имеет существенно меньшую погрешность определения — 4,1–9,7% против 14,4–31,7% у инкубационных. Аналогичная тенденция просматривается и для потока фотолюминесценции. Для инкубационных

яиц он больше в 2,8–3,1 раза, погрешность его определения выше — 15–32%.

Выводы/Conclusion

Фотолюминесцентные свойства яиц сельскохозяйственной птицы проявляются в ультрафиолетовой области спектра при возбуждении около 290 нм и регистрации люминесцентного свечения в диапазоне 310–440 нм. Качественно спектры различных видов домашних птиц (кур, уток, гусей, перепелов) схожи с незначительным (около 10 нм) различием стокового сдвига.

Для оплодотворенных куриных яиц поток фотолюминесценции в 2,7 раза больше, чем у неоплодотворенных, при этом разброс значений для неоплодотворенных яиц в 5,6 раза меньше ($p = 0,9$). Такие параметры спектров, как асимметрия и эксцесс, существенно различаются для люминесценции темно- и светлоскорлупных куриных яиц. Такие показатели, как математическое ожидание, дисперсия и энергия спектра, практически одинаковы для темно- и светлоскорлупных инкубационных и столовых куриных яиц. Для столовых яиц интегральные энергетические параметры в 2,8–3,1 раза больше, чем у инкубационных. Разброс интегральных параметров для инкубационных яиц в несколько раз больше — свыше 30%, в то время как у столовых не более 15%.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные. Автор несет ответственность за плагиат. Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data. The author is responsible for plagiarism. The author declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якименко И., Бесулин В., Бессарабов Б. Эффективность облучения яиц красным лазерным светом. *Птицеводство*. 2002; (4): 10–12. <https://elibrary.ru/ulcihl>
2. Бедило Н.М., Пузик А.А., Беляков М.В. Обработка инкубационных яиц излучением гелиевой плазмы. *Зоотехния*. 2005; (9): 22–24. <https://elibrary.ru/jxdgmb>
3. Guanjun B., Mimi J., Yi X., Shibo C., Qinghua Y. Cracked egg recognition based on machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 158: 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.005>
4. Soltani M., Omid M. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques. *LWT — Food Science and Technology*. 2015; 62(2): 1034–1042. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.019>
5. Добренко А., Хвосторезов П. Определение оплодотворенности яиц до инкубации. *Птицеводство*. 2011; (6): 13–14. <https://elibrary.ru/nxtcbb>
6. Turkoglu M. Defective egg detection based on deep features and Bidirectional Long-Short-Term-Memory. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 185: 106152. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106152>
7. Galli R. *et al.* Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane. *PLoS ONE*. 2018; 13(2): e0192554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192554>
8. Krautwald-Junghanns M.-E. *et al.* Current approaches to avoid the culling of day-old male chicks in the layer industry, with special reference to spectroscopic methods. *Poultry Science*. 2018; 97(3): 749–757. <https://doi.org/10.3382/ps/pex389>
9. Preuße G. *et al.* Highly sensitive and quick in ovo sexing of domestic chicken eggs by two-wavelength fluorescence spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2023; 415(4): 603–613. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04446-0>
10. Corion M., Keresztes J., De Ketelaere B., Saeys W. In ovo sexing of eggs from brown breeds with a gender-specific color using visible-near-infrared spectroscopy: effect of incubation day and measurement configuration. *Poultry Science*. 2022; 101(5): 101782. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101782>
11. Ревякин А.О., Стефанова И.Л., Шахназарова Л.В., Клименкова А.Ю. Колориметрическая оценка степени готовности яйца при термической обработке. *Птица и птицепродукты*. 2023; (1): 62–64. <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2023-25-1-62-64>

ОБ АВТОРАХ

Михаил Владимирович Беляков

доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и технических средств кормления в животноводстве
bmw20100@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

REFERENCES

1. Yakimenko I., Besulin V., Bessarabov B. Efficiency of irradiation of eggs with red laser light. *Ptisevodstvo*. 2002; (4): 10–12 (In Russian). <https://elibrary.ru/ulcihl>
2. Bedilo N.M., Puzik A.A., Belyakov M.V. Processing of incubation eggs radiation of helium plasma. *Zootekhnika*. 2005; (9): 22–24 (In Russian). <https://elibrary.ru/jxdgmb>
3. Guanjun B., Mimi J., Yi X., Shibo C., Qinghua Y. Cracked egg recognition based on machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 158: 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.005>
4. Soltani M., Omid M. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques. *LWT — Food Science and Technology*. 2015; 62(2): 1034–1042. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.019>
5. Dobrenko A., Khvostorezov P. Definition of eggs to an incubation. *Ptisevodstvo*. 2011; (6): 13–14 (In Russian). <https://elibrary.ru/nxtcbb>
6. Turkoglu M. Defective egg detection based on deep features and Bidirectional Long-Short-Term-Memory. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 185: 106152. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106152>
7. Galli R. *et al.* Sexing of chicken eggs by fluorescence and Raman spectroscopy through the shell membrane. *PLoS ONE*. 2018; 13(2): e0192554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192554>
8. Krautwald-Junghanns M.-E. *et al.* Current approaches to avoid the culling of day-old male chicks in the layer industry, with special reference to spectroscopic methods. *Poultry Science*. 2018; 97(3): 749–757. <https://doi.org/10.3382/ps/pex389>
9. Preuße G. *et al.* Highly sensitive and quick in ovo sexing of domestic chicken eggs by two-wavelength fluorescence spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2023; 415(4): 603–613. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04446-0>
10. Corion M., Keresztes J., De Ketelaere B., Saeys W. In ovo sexing of eggs from brown breeds with a gender-specific color using visible-near-infrared spectroscopy: effect of incubation day and measurement configuration. *Poultry Science*. 2022; 101(5): 101782. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101782>
11. Revyakin A.O., Stefanova I.L., Shakhnazarova L.V., Klimentkova A.Yu. Colorimetric assessment of egg readiness degree during thermal treatment. *Poultry & Chicken Products*. 2023; (1): 62–64 (In Russian). <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2023-25-1-62-64>

ABOUT THE AUTHORS

Mikhail Vladimirovich Belyakov

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Innovative technologies and technical means of feeding in animal husbandry
bmw20100@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia