

## ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Научная статья  
УДК 636.52/.58:636.083.1  
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-23-28



### Влияние неравномерности микроклимата в птичниках на респираторную систему сельскохозяйственной птицы

**Виктор Викторович Малородов, Надежда Геннадьевна Черепанова**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктор Викторович Малородов, malorodov@rgau-msha.ru

**Аннотация.** Дыхательная система птиц максимально приспособлена к высокой эффективности воздухообмена, необходимого для поддержания повышенного уровня обменных процессов. Слизь дыхательных путей играет важную роль в мукоцилиарном клиренсе. При нормальном состоянии дыхательной системы, без аллергических и воспалительных реакций увеличение количества слизи и структур, которые ее производят, может интерпретироваться как положительный факт, но слишком большое количество слизи может быть ответом на раздражение слизистой и способствует обструкции дыхательных путей. В результате двух исследований, повторяющих друг друга, подтверждена зависимость состояния стенки трахеи у бройлеров кросса Ross-308 от циркуляции воздуха в производственных помещениях. Обеспечение циркуляции воздушных потоков в залах выращивания птицы положительно влияет на гистологическую и гистохимическую структуру трахеи. В первом опыте об этом достоверно свидетельствует увеличение толщины эпителиального слоя в 1,3 раза (на 23,3%) и высоты ресничек в 3,1 раза (на 67,5%). Во втором опыте это подтверждается увеличением высоты эпителия на 40% и высоты слоя ресничек на 70%. Кроме того, гистологическая картина слизистой соответствует норме, отсутствуют нарушения целостности эпителия, реснички ровные, без деформаций и заломов. С обеспечением циркуляции воздушных потоков в закрытых помещениях в первом опыте толщина слизистой оболочки трахей уменьшается в 2,6 раза (на 61,9%), а толщина собственной пластинки – в 2,9 раза (на 65,4%). Во втором опыте такая закономерность в собственной пластинке не обнаружена, но деструктивные изменения слизистой оболочки трахеи, увеличение количества гликопротеидов и протеогликанов в опытных группах подтверждают влияние фактора вентиляции.

**Ключевые слова:** респираторная система, вентиляция, микроклимат, птичник, бройлер, трахея, слизистая оболочка, слизь дыхательных путей, деструктивные изменения слизистой оболочки трахей

**Для цитирования:** Малородов В.В., Черепанова Н.Г. Влияние неравномерности микроклимата в птичниках на респираторную систему сельскохозяйственной птицы // Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Биологические науки. 2023. № 1. С. 23–28. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-23-28>

© Малородов В.В., Черепанова Н.Г.

## ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article  
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-23-28

### Effect of Uneven Microclimates in Poultry Yards on the Respiratory System of Poultry

**Victor V. Malorodov, Nadezhda G. Cherepanova**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Viktor V. Malorodov, malorodov@rgau-msha.ru

**Abstract.** The respiratory system of birds is maximally adapted to the high efficiency of air exchange necessary to maintain an increased level of metabolic processes. The mucus of the respiratory tract plays an important role in mucociliary clearance, in the normal state of the respiratory system, without allergic and inflammatory reactions, an increase in the amount of mucus and the structures that produce it can be interpreted as a positive fact, but too much mucus can be a response to mucosal irritation and contributes to airway obstruction. As a result of two studies repeating each other, the dependence of the state of the tracheal wall in Ross-308 cross broilers on air circulation in industrial premises was confirmed. Ensuring the circulation of air flows in poultry rearing halls has a positive effect on the histological and histochemical structure of the trachea. In the first experiment, this is reliably evidenced by an increase in the thickness of the epithelial layer by 1.3 times (by 23.3%) and the height of the cilia by 3.1 times (by 67.5%). In the second experiment, this is confirmed by an increase in the height of the epithelium by 40% and the height of the cilia layer by 70%. In addition, the histological picture of the mucosa corresponds to the norm, there are no violations of the integrity of the epithelium, the cilia are smooth, without

deformations and creases. With the provision of air circulation in closed rooms in the first experiment, the thickness of the tracheal mucosa decreases by 2.6 times (by 61.9%), and its own plate by 2.9 times (by 65.4%). In the second experiment, no such pattern was found in the own plate, but destructive changes in the tracheal mucosa, an increase in the number of glycoproteins and proteoglycans in the experimental groups confirm the influence of the ventilation factor.

**Keywords:** respiratory system; ventilation; microclimate; poultry; broiler; trachea; mucous membrane; airway mucus; destructive changes of tracheal mucosa

**For citation:** Malorodov V.V., Cherepanova N.G. Effect of Uneven Microclimates in Poultry Yards on the Respiratory System of Poultry // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:23–28. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-23-28>

## Введение

В настоящее время ведутся исследования в области изучения морфогистологического строения и функционирования респираторной системы птиц [1, 2]. Дыхательная система птиц максимально приспособлена к высокому воздухообмену, необходимому для поддержания повышенного уровня обменных процессов. Она достаточно сложно устроена морфологически и имеет свои особенности [3].

Основные компоненты слизи, покрывающей эпителий дыхательных путей, продуцируются как бокаловидными клетками в пласте эпителия, так и в значительном количестве в экзоэпителиальных железах подслизистой [4]. У человека состав слизи достаточно хорошо изучен. Верхний слой представляет собой гель, а нижний (перилиарный) слой – это жидкость. Гель на 90–95% состоит из воды, в которой присутствуют сывороточные белки, липиды и иммуноглобулины, около 3–5% приходится на муцины [5]. Муцины слизи являются высокомолекулярными сульфатированными гликопротеинами, которые на 70–80% состоят из углеводов, содержат 20% белков и 1–2% сульфатов, связанных с олигосахарами [6]. Поскольку слизь дыхательных путей играет важную роль в мукоцилиарном клиренсе, при нормальном состоянии дыхательной системы, без аллергических и воспалительных реакций увеличение количества слизи и структур, которые ее производят, может интерпретироваться как положительный факт [15]. Но слишком большое количество слизи может быть ответом на раздражение слизистой и способствует обструкции дыхательных путей [7].

Некоторые авторы отмечают значительное влияние температуры и влажности на скорость мукоцилиарного транспорта. Отмечается, что при 5°C реснички в трахее цыплят практически неподвижны, а при увеличении температуры скорость переноса частиц повышалась в два раза на каждые 10°C. При температуре от 20 до 45°C биение ресничек выходит на плато и остается в одинаковом состоянии.

Henning A. в своей работе отмечает, что снижение температуры ниже 20°C и повышение выше 45°C приводило к достоверному снижению скорости переноса частиц в трахее эмбрионов цыплят в эксперименте *in vitro*. Эти же исследования показывают, что изменение влажности с 99 до 60% не влияет на мукоцилиарный клиренс, но снижение этого показателя ниже 20% оказывает негативное влияние на его функционирование [8].

В ряду других абиотических факторов, влияющих на состояние дыхательных путей, следует отметить кормление [16]. Недостаток в рационе птиц витамина А приводит к уменьшению количества бокаловидных клеток, что уменьшает количество муцина на поверхности эпителия и подавляет иммунитет путем снижения концентрации иммуноглобулинов IgA [9]. Избыток витамина А также ингибирует синтез и секрецию слизи в трахее у кур [10].

Влияние загрязняющих веществ как химической, так и физической природы, на неспецифический механизм защиты слизистых оболочек дыхательных путей остается до настоящего времени не до конца изученным. В то же время есть данные, свидетельствующие о том, что такие внешние факторы могут оказывать непосредственное разрушающее влияние на реснитчатый эпителий и нарушать активность мукоцилиарного клиренса [11].

Известно, что внутренние органы птиц в ответ на изменения параметров микроклимата [12, 17, 18] или кормления [16] отвечают изменениями, которые можно проследить в тканях дыхательных путей, используя гистологические и гистохимические методы исследования.

С учетом того, что параметры воздуха производственных помещений оказывают влияние на формирование и функционирование дыхательной системы сельскохозяйственной птицы и, следовательно, на показатели здоровья и продуктивные качества, актуальным является исследование влияния микроклимата с разной циркуляцией воздуха на трахеальную стенку птицы, выращиваемых в закрытых помещениях.

В представленной работе по результатам двух серий опытов впервые доказано, что дополнительная циркуляция воздуха в закрытых помещениях улучшает у цыплят-бройлеров состояние трахеальной стенки за счет увеличения толщины эпителиального слоя, высоты ресничек, количества гликопротеидов и протеогликанов в клетках эпителия.

Цель исследований – определение и подтверждение двумя повторными экспериментами гистологической и гистохимической структуры трахеальной стенки у бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) кросса Ross-308, содержащихся в вентилируемых помещениях и при отсутствии циркуляции воздуха.

## Методика исследований

Исследования выполнены в период 2021–2022 гг. на птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Р. Татарстан). Бройлеров выращивали в 5 группах, отличающихся циркуляцией воздуха в помещении (в группах 1 и 5 установлены циркуляционные вентиляторы, в группах 2, 3 и 4 они отсутствовали). В качестве показателей микроклимата изучали интенсивность воздухообмена. В промышленных птичниках (в каждой группе) одновременно выращивали 20 тыс. бройлеров с плотностью посадки 19,5 гол/м<sup>2</sup> производственной площади. Для гистологического исследования производился забор участков трахеи размером 1 см в средней части органа.

Образцы были получены от 35 бройлеров со средней живой массой 2500 г для каждой группы, отобранных методом пар-аналогов (7 цыплят от каждой группы). Для фиксации объектов использовался 10%-ный формалин. Образцы органов затем промывали водой, заливали в парафин, используя стандартные методики. Далее на ротационном микротоме KD-202A фирмы JINHUA KEDEE (производство КНР) изготавливались срезы тканей толщиной 5 мкм. Для морфометрических измерений и описания структуры органа срезы окрашивали гематоксилин-эозином согласно стандартным методикам. Микроскопию препаратов осуществляли с помощью светового микроскопа МИКМЕД-6 фирмы ООО «ЛОМО-МА» (Россия) с увеличением ( $15 \times 8$ ,  $15 \times 20$  и  $15 \times 40$ ).

При морфометрии стенки трахеи в 1 опыте измерялись следующие структуры: высота эпителия и ресничек; толщина собственной пластинки с подслизистой основой; толщина всей слизистой и подслизистой оболочек. В опыте 2 проводилось измерение высоты эпителия и ресничек, толщины собственной пластинки и толщины всей слизистой оболочек. При морфометрии структур учитывали рекомендации [13, 14], измерения проводили с помощью окуляр-микрометра. Далее относительные значения переводили в абсолютные с помощью объект-микрометра. Всего было сделано 105 измерений трахеи от группы. Проводились визуальная оценка и описание структур стенки трахеи. Фотографирование препаратов осуществлялось с помощью цифровой камеры MC-8.3C ООО «ЛОМО-МА» (Россия).

При проведении эксперимента соблюдали требования рекомендаций «Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching, 3d edition» (Federation of Animal Science Societies, 2010). Были приняты все меры, чтобы свести к минимуму страдания птиц и уменьшить число особей, подвергнутых эвтаназии.

Статистическую обработку проводили методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента в пакете Microsoft Excel 2010. Рассчитывали средние значения (M) и стандартные ошибки средних ( $\pm$ SEM). Различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,01$  для биологических значений.

## Результаты и их обсуждение

Морфометрия стенки трахеи цыплят в первом опыте, представленная в таблице 1, показала, что из всех групп у птицы в I опытной группе толщина слизистой оболочки и подслизистой основы была минимальной ( $147,2 \pm 3,3$  мкм), а в группе III – максимальной ( $404,7 \pm 9,4$  мкм). Достоверная разность обусловлена различиями в толщине собственной пластинки слизистой и в подслизистой оболочке. Они составляли соответственно  $129,1 \pm 3,1$  мкм в I группе и  $395,7 \pm 9,4$  мкм в III группе ( $p \leq 0,01$ ). Толщина эпителиального слоя трахеи была достоверно выше в I и V опытных группах в среднем на 14% в сравнении с II, III и IV контрольными группами ( $p \leq 0,01$ ). Высота ресничек в I и V группах была максимальной ( $4,3 \pm 0,1$  мкм), но достоверные различия наблюдались только в V группе. Минимальной высота ресничек была в III и IV группах – соответственно  $1,8 \pm 0,1$  и  $1,4 \pm 0,1$  мкм.

В опыте 2 измерение толщины подслизистой оболочки не проводилось и не учитывалось ввиду того, что ее показатели слабо изменялись между группами в обоих экспериментах. Это позволяет пренебречь измерениями подслизистой оболочки в наших исследованиях.

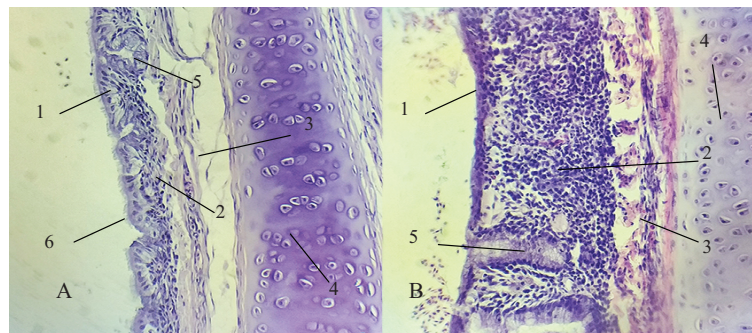
Результаты морфометрии стенки трахеи в опыте II показывают, что максимальная высота эпителия наблюдалась в I группе –  $21,3 \pm 5,8$  мкм, а высота ресничек – в V группе:  $4,6 \pm 1,3$  мкм соответственно. Минимальная высота эпителия была в III группе –  $15,2 \pm 5,0$  мкм, а высота слоя ресничек была минимальной в IV группе –  $1,7 \pm 1,2$  соответственно. Максимальная толщина собственной пластинки слизистой оболочки характерна для группы IV, составив  $59,0 \pm 40,7$  мкм. Минимальная толщина собственной пластинки слизистой и всей стенки наблюдалась в группе III ( $29,6 \pm 18,3$  мкм и  $47,6 \pm 16,9$  соответственно).

Исследование гистологической картины стенки трахеи двух экспериментов подтверждает, что трахея имеет типичное строение и состоит из слизистой, подслизистой фиброзно-хрящевой оболочек и адвентиции (рис. 1, 2). Эпителий, выстилающий слизистую, – многорядный мерцательный, среди клеток преобладают реснитчатые. В пласте эпителия встречаются бокаловидные клетки в соотношении с реснитчатыми примерно 1–10. Около базальной мембраны залегают невысокие камбиальные клетки. Мышечная пластинка в слизистой практически не выражена, поэтому граница собственной пластинки слизистой и подслизистой оболочек определяется только по структуре соединительной ткани. В собственной пластинке преобладает клеточный компонент, много клеток лейкоцитарного ряда, а в подслизистой оболочке скопления клеток встречаются редко, в соединительной ткани преобладает межклеточное вещество с волокнистым компонентом, встречаются



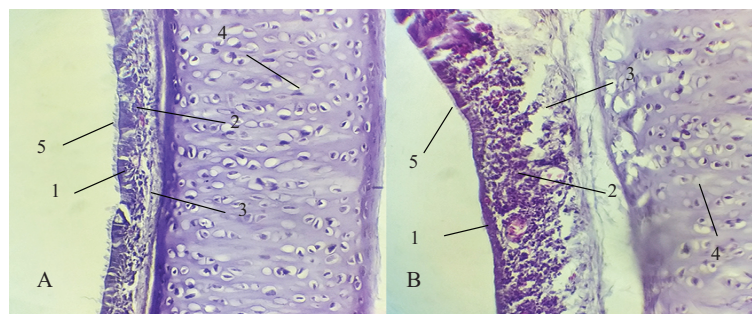
крупные сосуды. В собственной пластинке располагались простые трахеальные слизистые железы. Также нами обнаружены простые эндоепителиальные железы, которые положительно окрашиваются альциановым синим и ШИК-реакцией, что подтверждает данные *J.W. Bacha* и других исследователей [20]. Фиброзно-хрящевая оболочка представлена замкнутыми кольцами гиалинового хряща. На препарате просматриваются по два хрящевых кольца, как бы вставленных друг в друга. Это определяется морфологией данных колец, которые частично заходят друг за друга. Адвентиция представлена рыхлой соединительной тканью.

Недостаток воздухообмена может приводить к повышению загазованности и температуры. Как отмечает *Y. Zhou*, повышение концентрации аммиака приводит к воспалительной реакции в трахее бройлеров [19]. *A. Henning* отмечает, что повышение температуры вдыхаемого воздуха выше 40°C негативно сказывается на скорости мукоцилиарного транспорта. Гистохимические исследования подтверждают эти патологические изменения. В опыте 1 в III контрольной группе, в отличие от I и V опытных, наблюдались более активная ШИК-реакция и окраска альциановым синим пласта эпителия. В соединительной ткани III значительно больше выявлялось гликопротеинов, чем в опытных группах. В группах II и IV морфометрические, гистологические и гистохимические изменения были аналогичными изменениям в III группе, что еще раз подтверждает негативное влияние недостаточной вентиляции на дыхательную систему птицы. Гистохимическая картина в эксперименте 2 аналогична и подтверждает первый эксперимент. В III и IV контрольных группах наблюдались увеличение количества трахеальных желез и более сильное окрашивание альциановым синим, выявлялось больше ШИК – положительных полисахаридов в собственной пластинке, чем в контрольных группах. Увеличение количества слизи за счет увеличения количества желез может быть компенсаторным ответом на раздражение слизистой оболочки [7].



**Рис. 1.** Эксперимент 1. Гистологическое строение стенки трахеи у бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) кросса Ross-308 в V группе, содержащейся в вентилируемом помещении (А), и в III группе, содержащейся в помещении без циркуляции воздуха (В):

1 – эпителий; 2 – собственная пластинка слизистой оболочки; 3 – подслизистая оболочка; 4 – хрящ; 5 – трахеальные железы; 6 – реснички (окраска гематоксилин-эозином; увеличение 15 × 20)



**Рис. 2.** Эксперимент 2. Гистологическое строение стенки трахеи у бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) кросса Ross-308 в V группе, содержащейся в вентилируемом помещении (А), и в III группе, содержащейся в помещении без циркуляции воздуха (В):

1 – эпителий; 2 – собственная пластинка слизистой оболочки; 3 – подслизистая оболочка; 4 – хрящ; 5 – трахеальные железы; 6 – реснички (окраска гематоксилин-эозином; увеличение 15 × 20)

### Выводы

В результате двух исследований, повторяющих друг друга, мы подтвердили зависимость состояния стенки трахеи у бройлеров кросса Ross 308 от циркуляции воздуха в производственных помещениях. Обеспечение циркуляции воздушных потоков в залах выращивания птицы положительно влияет на гистологическую и гистохимическую структуру трахеи. В первом опыте об этом достоверно свидетельствует увеличение толщины эпителиального слоя в 1,3 раза (на 23,3%) и высоты ресничек в 3,1 раза (на 67,5%). Во втором опыте это подтверждается увеличением высоты эпителия на 40% и высоты слоя ресничек на 70%.

Кроме того, гистологическая картина слизистой соответствует норме, отсутствуют нарушения целостности эпителия, реснички ровные, без деформаций и заломов. С обеспечением циркуляции воздушных потоков в закрытых помещениях в первом опыте толщина слизистой оболочки трахеи уменьшается в 2,6 раза (на 61,9%), а толщина собственной пластинки – в 2,9 раза (на 65,4%). Во втором опыте такая закономерность в собственной пластинке не обнаружена, но деструктивные изменения слизистой оболочки трахеи, увеличение количества гликопротеидов и протеогликанов в опытных группах подтверждают влияние фактора вентиляции.

Недостаточность вентиляции увеличивает аэрозольную нагрузку на респираторную систему. Это выражается в уменьшении высоты эпителия, нарушении целостности ресничек, что приводит к метаплазии эпителия и нарушению мукоцилиарного транспорта. Деструктивные изменения в эпителии приводят к уменьшению количества бокаловидных клеток и компенсаторному увеличению количества трахеальных желез и выделяемой слизи, что подтверждается гистохимическими исследованиями.

### Список источников

1. *Carvalho O., Gonçalves C.* Comparative physiology of the respiratory system in the animal kingdom // *The Open Biology Journal*. – 2011. – V. 4. – Pp. 35–46. doi: 10.2174/1874196701104010035.
2. *Maina J.* Pivotal debates and controversies on the structure and function of the avian respiratory system: setting the record straight // *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* – 2017. – № 92 (3). – Pp. 1475–1504. doi: 0.1111/brv.12292.
3. *Duncker H.R.* Structure of the avian lung // *Respir Physiol.* – 1972. – № 14. – Pp. 4–63. doi: 10.1016/0034-5687(72)90016-3.
4. *Kim K.C., McCracken K., Lee B.C., Shin C.Y. et al.* Airway goblet cell mucin: its structure and regulation of secretion // *Eur Respir J.* – 1997. – № 10. – Pp. 2644–2649.
5. *Verdugo P.* Goblet cells secretion and mucogenesis // *Ann. Rev. Physiol.* – 1990. – V. 52. – Pp. 157–176. doi: 10.1146/annurev.ph.52.030190.001105.
6. *Fuloria M., Rubin B.* Evaluating the efficacy of mucoactive aerosol therapy // *Resp. Care.* – 2000. – V. 45 (7). – Pp. 868–873.
7. *Rose M., Nickola T.J., Voynow J.* Airway mucus obstruction: mucin glycoproteins, MUC gene regulation and goblet cell hyperplasia // *Am J Respir Cell Mol Biol.* – 2001. – № 25. – Pp. 533–537.
8. *Boek W.M., Romeijn S.G., Graamans K., Verhoef J., Merkus F., Huizing E.* Validation of animal experiments on ciliary function in vitro. I. The influence of substances used clinically // *Acta Oto-Laryngol.* – 1999. – № 119 (1). – Pp. 93–97. doi: 10.1080/00016489950182016.
9. *Fan X., Liu S., Liu G., Zhao J., Jiao H., Wang X., Song Z., Lin H.* Vitamin A Deficiency Impairs Mucin Expression and Suppresses the Mucosal Immune Function of the Respiratory Tract in Chicks // *PLoS One.* – 2015. – V. 10 (9). doi: 10.1371/journal.pone.0139131.
10. *Aydelotte M.* The effects of vitamin A and citral on epithelial differentiation in vitro. 1. The chick tracheal epithelium // *J Embryol Exp Morphol.* – 1963. – № 11. – Pp. 279–291.
11. *Kallapura G., Morgan M.J., Pumford N.R., Bielke L.R., Wolfenden A.D., Faulkner O.B. et al.* Evaluation of the respiratory route as a viable portal of entry for Salmonella in poultry via intratracheal challenge of Salmonella Enteritidis and Salmonella Typhimurium // *Poult Sci.* – 2014. – № 93. – Pp. 340–346. doi: 10.3382/ps.2013-03602.

### References

1. *Carvalho O., Gonçalves C.* Comparative physiology of the respiratory system in the animal kingdom. *The Open Biology Journal*. 2011; 4: 35–46. doi: 10.2174/1874196701104010035.
2. *Maina J.* Pivotal debates and controversies on the structure and function of the avian respiratory system: setting the record straight. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 2017; 92(3): 1475–1504. doi: 0.1111/brv.12292.
3. *Duncker H.* – *R.* Structure of the avian lung. *Respir Physiol*. 1972; 14: 4–63. doi: 10.1016/0034-5687(72)90016-3.
4. *Kim K.C., McCracken K., Lee B.C., Shin C.Y. et al.* Airway goblet cell mucin: its structure and regulation of secretion. *Eur. Respir. J.* 1997; 10: 2644–2649.
5. *Verdugo P.* Goblet cells secretion and mucogenesis. *Ann. Rev. Physiol*. 1990; 52: 157–176. doi: 10.1146/annurev.ph.52.030190.001105.
6. *Fuloria M., Rubin B.* Evaluating the efficacy of mucoactive aerosol therapy. *Resp. Care*. 2000; 45(7): 868–873.
7. *Rose M.C., Nickola T.J., Voynow J.* Airway mucus obstruction: mucin glycoproteins, MUC gene regulation and goblet cell hyperplasia. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2001; 25: 533–537.
8. *Boek W.M., Romeijn S.G., Graamans K., Verhoef J., Merkus F., Huizing E.* Validation of animal experiments on ciliary function in vitro. I. The influence of substances used clinically. *Acta Oto-Laryngol*. 1999; 119(1): 93–97. doi: 10.1080/00016489950182016.
9. *Fan X., Liu S., Liu G., Zhao J., Jiao H., Wang X., Song Z., Lin H.* Vitamin A Deficiency Impairs Mucin Expression and Suppresses the Mucosal Immune Function of the Respiratory Tract in Chicks. *PLoS One*. 2015; 10(9). doi: 10.1371/journal.pone.0139131.
10. *Aydelotte M.* The effects of vitamin A and citral on epithelial differentiation in vitro. 1. The chick tracheal epithelium. *J Embryol Exp Morphol*. 1963; 11: 279–291.
11. *Kallapura G., Morgan M.J., Pumford N.R., Bielke L.R., Wolfenden A.D., Faulkner O.B. et al.* Evaluation of the respiratory route as a viable portal of entry for Salmonella in poultry via intratracheal challenge of Salmonella Enteritidis and Salmonella Typhimurium. *Poult Sci*. 2014; 93: 340–346. doi: 10.3382/ps.2013-03602.

12. Минков В. Выращивание бройлеров: типовые проблемы и их решение // *Zhivotnovodstvo Rossii*. – 2018. – № 3. – Рр. 50–52.
13. Микроскопическая техника. Учебно-методич. Пособие / Сост. Саркисова Д.С., Перова Ю.П. – Москва. – 1996. – 544 с.
14. Maina J., Abdalla M.F., King A.S. Light microscopic morphometry of the lung of 19 avian species // *Acta Anat (Basel)*. – 1982. – № 112 (3). – Рр. 264–270. doi: 10.1159/000145519. PMID: 7102251.
15. Prosekova E.A., Panov V.P., Semak A.E. Development of goblet intestinal cells of broilers in case of introducing *Bacillus subtilis* spores into the diet // *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. – 2022. – V. 12. – № 3. – Рр. 333–338. doi:10.31407/ijeecs12.341.
16. Seryakova A., Prosekova E., Panov V. et al. The Effects of Feed Additive Containing Ellagitannins of Sweet Chestnut on the Intestinal Morphology in Broilers // *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*. – 2022. – Рр. 956–963. doi:10.1007/978-3-030-91405-9\_108.
17. Фисинин В.И., Салеева И.П., Османян А.К. и др. Гистоструктура трахеальной стенки у цыплят-бройлеров в зависимости от условий циркуляции воздуха в закрытых помещениях // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56, № 4. – С. 782–794. doi: 10.15389/agrobiology.2021.4.782rus.
18. Османян А.К., Малородов В.В., Черепанова Н.Г., Салеева И.П. Состояние реснитчатого эпителия трахеи бройлеров как индикатор воздухообмена в птичниках // *Птицеводство*. – 2020. – № 12. – С. 42–46. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-12-42-46.
19. Zhou Y., Liu Q.X., Li X.M., Ma D.D., Xing S., Feng J.H., Zhang M.H. Effects of ammonia exposure on growth performance and cytokines in the serum, trachea, and ileum of broilers // *Poult Sci*. – 2020. – V. 99 (5). – Рр. 2485–2493. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.063.
20. Waad S. Comparative histological study of trachea in guinea fowl and coot bird // *Basrah Journal of Veterinary research*. – 2015. – V. 14 (2). – Рр. 122–128.
21. Minkov V. Vyrashchivanie broylerov: tipovye problemy i ikh reshenie [Breeding broilers: typical problems and solutions]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2018; S3: 50–52 (In Rus.).
22. Sarkisova D.S., Perova Yu.P. Mikroskopicheskaya tekhnika. Uchebno-metodich. Posobie [Microscopic technique. Study guide]. Moscow, 1996: 544. (In Rus.).
23. Maina J.N., Abdalla M.F., King A.S. Light microscopic morphometry of the lung of 19 avian species. *Acta Anat (Basel)*. 1982; 112(3): 264–270. doi: 10.1159/000145519. PMID: 7102251.
24. Prosekova E.A., Panov V.P., Semak A.E. Development of goblet intestinal cells of broilers in case of introducing *Bacillus subtilis* spores into the diet. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022; 12 (3): 333–338. doi: 10.31407/ijeecs12.341.
25. Seryakova A., Prosekova E., Panov V. et al. The Effects of Feed Additive Containing Ellagitannins of Sweet Chestnut on the Intestinal Morphology in Broilers. *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*. 2022: 956–963. doi:10.1007/978-3-030-91405-9\_108.
26. Fisinin V.I., Saleeva I.P., Osmanyany A.K. et al. Gistostruktura trakheal'noy stenki u tsyplyat-broylerov v zavisimosti ot usloviy tsirkulyatsii vozduha v zakrytykh pomeshcheniyakh [Histostucture of the tracheal wall in broiler chickens as a function of indoor air circulation conditions]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2021; 56 (4): 782–794. doi: 10.15389/agrobiology.2021.4.782rus (In Rus.).
27. Osmanyany A.K., Malorodov V.V., Cherepanova N.G., Saleeva I.P. Sostoyanie resnitchatogo epiteliya trakhei broylerov kak indikator vozdukhooobmena v ptichnikakh [State of the ciliated epithelium of the broiler trachea as an indicator of air exchange in poultry houses]. *Ptitsevodstvo*. 2020; 12: 42–46. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-12-42-46 (In Rus.).
28. Zhou Y., Liu Q.X., Li X.M., Ma D.D., Xing S., Feng J.H., Zhang M.H. Effects of ammonia exposure on growth performance and cytokines in the serum, trachea, and ileum of broilers. *Poult Sci*. 2020; 99(5): 2485–2493. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.063.
29. Waad S. Comparative histological study of trachea in guinea fowl and coot bird. *Basrah Journal of Veterinary research*. 2015; 14(2): 122–128.

## Сведения об авторах

**Виктор Викторович Малородов**, доцент кафедры частной зоотехнии, канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; malorodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>.

**Надежда Геннадьевна Черепанова**, старший преподаватель кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; [ncherepanova@rgau-msha.ru](mailto:ncherepanova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>.

## About the authors

**Viktor V. Malorodov**, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: [malorodov@rgau-msha.ru](mailto:malorodov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>.

**Nadezhda G. Cherepanova**, senior lecturer of the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: [ncherepanova@rambler.ru](mailto:ncherepanova@rambler.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>.