

УДК 636.5:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-103-1-20

Оценка действия ультрадисперсного оксида кремния на организм цыплят-бройлеров

С.А. Мирошников, А.С. Мустафина, И.З. Губайдуллина

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

Аннотация. Пористый ультрадисперсный оксид кремния (УДЧ SiO₂) получил широкое применение в самых различных областях биологии, медицины и сельского хозяйства. Препараты УДЧ SiO₂ представляют определённый интерес и для применения в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы, что связано с функциями кремния как условно эссенциального микроэлемента.

Для эксперимента было отобрано 120 голов цыплят-бройлеров кросса «Арбор-Айкрес» семисуточного возраста, которые методом аналогов были сформированы в 4 группы (n=30). В ходе эксперимента цыплята контрольной группы получали основной рацион, птице опытных групп дополнительно вводили ультрадисперсный оксид кремния в различной дозировке (100-300 мг/кг корма).

В ходе исследования было установлено, что ультрадисперсный кремний способствует увеличению в кровяном русле количества эритроцитов, тромбоцитов, снижает содержание белых клеток крови, повышает концентрацию гемоглобина и белка крови.

Скармливание ультрадисперсного оксида кремния позволило получить максимальный продуктивный эффект по разнице в живой массе на 14 сутки учётного периода в 6,69 %. В ходе исследований установлен факт повышения конверсии корма подопытной птицей при включении в рацион препарата УДЧ SiO₂.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, ультрадисперсный кремний, морфология и биохимия крови, продуктивность цыплят, потребление корма.

UDC 636.5:577.17

Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens

Sergey A Miroshnikov, Alexandra S Mustafina, Ilmira Z Gubaidullina

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Summary. Porous ultrafine silicon oxide (SiO₂ UFP) has been widely used in various fields of biology, medicine, and agriculture. SiO₂ UFP preparations are of particular interest for use in feeding farm animals and birds, which is associated with the functions of silicon as conditionally essential microelement.

For the experiment, 120 heads of 7-day broilers of “Arbor-Acres” crosses were selected, they were divided into 4 groups by the method of analogues (n = 30). During the experiment, chickens of the control group received basic diet; birds from the experimental groups were additionally injected with ultrafine silicon oxide in various dosages (100-300 mg / kg of feed).

During the study, it was found that ultrafine silicon contributes to an increase in the number of red blood cells, platelets in the bloodstream, reduces the content of white blood cells, and increases the concentration of hemoglobin and blood protein.

Feeding ultrafine silicon oxide allowed us to obtain the maximum productive effect in terms of difference in live weight on day 14 of the accounting period of 6.69%. In the course of the research, the fact of increasing feed conversion was established after SiO₂ UFP preparation was included in the diet.

Key words: broiler chickens, ultrafine silicon, blood morphology and biochemistry, chicken productivity, feed consumption.

Введение.

Пористый ультрадисперсный кремний (УДЧ SiO₂) как наноструктурированная система в последние годы получил широкое применение в самых различных областях биологии, медицины и

сельского хозяйства, включая биосенсинг, биомедицинскую визуализацию, для формирования тканевого каркаса, доставки лекарственных средств, иммуностимуляции и др. Столь значительный перечень применений обусловлен несколькими ключевыми особенностями УДЧ SiO₂, включая уникальную биосовместимость (Tang M et al., 2018), возможность модификации поверхности частиц (Barnes TJ et al., 2013; Salonen J and Mäkilä E, 2018), крайне низкую токсичность (Murugadoss S et al., 2017), термостабильность и иммуногенность по отношению к вирусным вакцинам (Wang G et al., 2015; Wang G et al., 2016) и др.

Помимо прочего, препараты УДЧ SiO₂ представляют определённый интерес для применения в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы. Кремний как один из условно-эссенциальных микроэлементов в последние годы привлекает всё большее внимание учёных и практиков на фоне беспрецедентного повышения генетического потенциала современных пород и кроссов животных и птицы. В связи с чем необходимо формировать рационы животных из всё более широкого числа микронутриентов (Буянкин Н.Ф., 2011; Лебедев С.В. и др., 2006; Лебедев С.В., 2009; Мирошников С.А. и др., 2006).

Основной функцией кремния является участие в промежуточном обмене как катализатора, в качестве элемента связи, обеспечивающего нормализацию течения жизненно важных процессов в клетках (Еремин С.В., 2016).

В настоящее время в качестве источника кремния в кормлении животных применяются кремнийорганические соединения (Воронков М.Г. и Кузнецов И.Г., 1984). Между тем, как следует из результатов ранее проведённых исследований, ультрадисперсные препараты микроэлементов зачастую не уступают, а не редко и превосходят по эффективности своих органических аналогов (Сизова Е.А., 2017), что позволяет рассматривать их в качестве перспективных препаратов микроэлементов, в том числе для покрытия потребностей организма животного в кремнии.

Цель исследования.

Изучить влияние ультрадисперсного оксида кремния на биохимические показатели организма и продуктивность цыплят-бройлеров для последующего создания препарата микроэлементов.

Материалы и методы исследования

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Арбор-Айкрес».

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были проведены в соответствии с инструкциями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследования были приняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения испытываемых образцов.

Схема эксперимента. Для проведения экспериментального исследования было отобрано 120 голов цыплят-бройлеров 7-суточного возраста. Группы были сформированы по принципу параналогов (n=30).

Во время эксперимента, проведённого в условиях экспериментально-биологической клиники (виварий) Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФНЦ БСТ РАН) цыплята содержали в клеточных батареях со свободным доступом к воде и корму. Содержание, плотность посадки, температурный и световой режимы, влажность воздуха, фронт кормления и поения соответствовали рекомендациям ВНИТИП (Фисинин В.И. и др., 2003; Егорова И.А. и др., 1992). Кормление опытной птицы проводилось два раза в сутки, учёт поедаемости – ежесуточно. Цыплята контрольной группы на протяжении 35 дней эксперимента получали основной рацион, а птице опытных групп в период учётного периода (14-42 сутки) дополнительно вводили ультрадисперсный оксид кремния SiO₂ (УДЧ): I опытной группе – в дозе 100 мг/кг корма, II опытной – 200 мг/кг, III опытной – 300 мг/кг. Дозировки 100-300 мг/кг корма выбраны с учётом проведённого анализа литературных данных, в которых отражён положительный эффект влияния

кремния на ростовые и биохимические показатели цыплят-бройлеров (Подобед Л.И., 2014; Подобед Л.И., 2016).

УДЧ оксида кремния представляет собой белый аморфный рассыпчатый порошок без специфического запаха. Массовая доля кремния составляет не менее 99,8 % по массе, хлора – не более 0,2 %, гидродинамический диаметр – 388 ± 117 нм, удельная поверхность – $109 \text{ м}^2/\text{г}$, Z-потенциал – $27 \pm 0,1$ мВ. Произведён методом плазмохимического синтеза (ООО «Плазмотерм», г. Москва).

Комбикорм готовили методом ступенчатого смешивания, УДЧ вводили после 45 мин диспергирования препарата в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т («НПП Академприбор», Россия) (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 45 мин).

Рост птицы изучали на основании данных еженедельного индивидуального взвешивания, утром до кормления. Декапитации птицы производили на 28 и 42 сутки. Образцы крови для гематологических исследований отбирали в вакуумные пробирки с антикоагулянтом, для биохимических исследований – в вакуумные пробирки с активатором свёртывания при постановке птицы на опыт, в середине и конце эксперимента.

Оборудование и технические средства. Исследования по оценке составов биосубстратов производились с использованием материально-технической базы ЦКП ФНЦ БСТ РАН. Морфологические показатели крови определяли в условиях Испытательного центра ЦКП ФНЦ БСТ РАН с помощью автоматического гематологического анализатора URIT-2900 Vet Plus (URIT Medial Electronic Co., Китай), биохимические показатели – с помощью автоматического биохимического анализатора CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии («ДИАКОН-ДС», Россия; «Randox Laboratories Ltd», Великобритания).

Статистическая обработка. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Данные представлены в виде: среднее (M) \pm стандартная ошибка среднего (m). Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования

Живая масса цыплят в I опытной группе после недельной дачи препарата УДЧ оксида кремния была выше контрольных значений на 2,52 %, во II опытной – на 3,39 %, в III опытной – на 5,79 % (рис. 1).

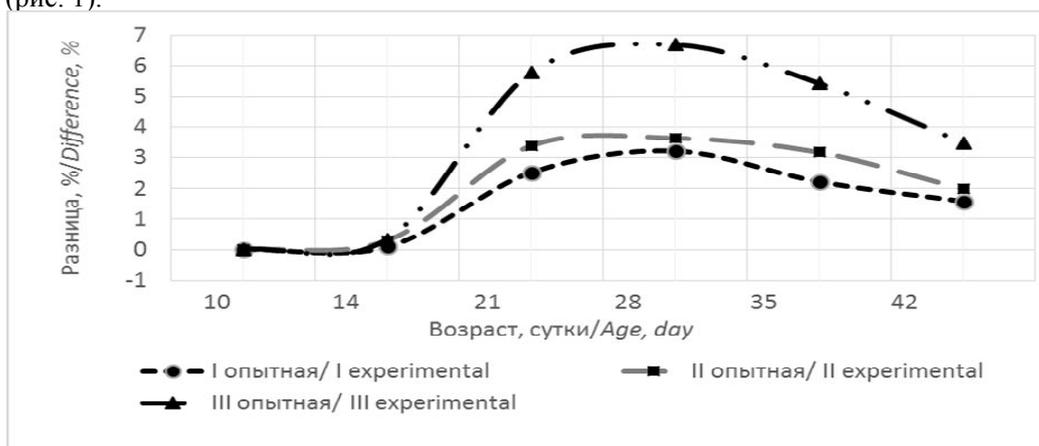


Рис. 1 – Изменение разницы (%) живой массы цыплят-бройлеров контрольной и опытных групп

Figure 1 - Change of difference (%) of live weight of broiler chickens of control and experimental groups

Максимальный продуктивный эффект как разница в живой массе 6,69 % отмечался на 14 сутки основного учётного периода между контрольной и III опытной группами. Скармливание ультрадисперсного оксида кремния способствовало снижению потребления корма за весь период эксперимента в I опытной группе на 0,96 %, в III опытной – на 2,11 %, а во II опытной отмечено увеличение на 2,00 % (табл. 1).

Таблица 1. Эффективность применения УДЧ оксида кремния при выращивании цыплят-бройлеров

Table 1. Efficiency of use of ultrafine silicon oxide in broiler chickens

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная/ control	I опытная/ I experimental	II опытная/ II experimental	III опытная/ III experimental
Стартовый комбикорм, г/гол. / Starting feed, g / head	1513	1485	1552	1494
Ростовой комбикорм, г/гол. / Growth feed, g / head	2044	2038	2076	1988
Всего за эксперимент, г/гол. / Total for experiment, g / head	3557	3523	3628	3482
Затраты корма на 1 кг прироста живой массы, кг / The cost of feed per 1 kg of growth live weight, kg	2,00	1,94	1,99	1,88

Расход корма на прирост 1 кг живой массы уменьшился в I опытной группе на 3,00 %, во II опытной – на 0,50 %, в III опытной – на 6,00 % по сравнению с аналогичными значениями контрольной группы.

Скармливание ультрадисперсных частиц SiO₂ в течение 14 суток учётного периода сопровождалось увеличением количества эритроцитов в кровяном русле на 4,74-7,95 % по сравнению с содержанием в крови цыплят контрольной группы (рис. 2), а к окончанию эксперимента эти значения незначительно снизились и составляли 4,38-7,80 %.

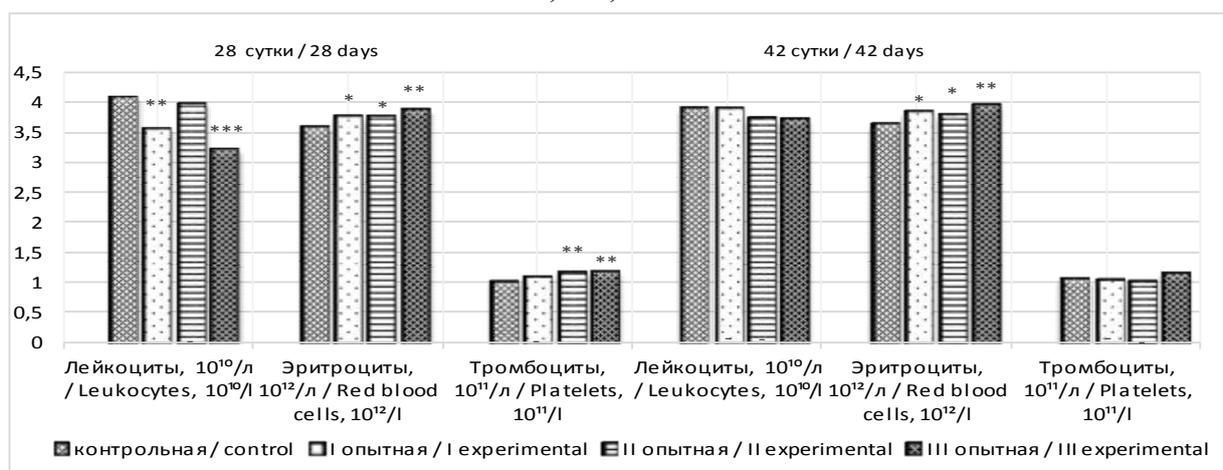


Рис. 2 – Основные морфологические показатели крови опытной птицы

Figure 2 - Main morphological parameters of blood of experimental bird's

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01; *** – P≤0,001 в сравнении с контрольной группой

Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01; *** – P≤0.001 comparison with control group

Количество лейкоцитов в крови птицы к середине эксперимента незначительно увеличилось для контрольной, I и II опытных групп, в то время как в крови цыплят III опытной группы наблюдалось снижение числа лейкоцитов. К концу эксперимента этот показатель стабилизировался и приблизился к значениям нормы. По-видимому, более высокая концентрация ультрадисперсного кремния в рационах цыплят-бройлеров положительно повлияла на иммунитет.

В ходе эксперимента нами отмечено увеличение количества тромбоцитов в крови цыплят к возрасту 28 дней более чем в два раза. Затем, к концу эксперимента, наблюдается снижение этого показателя всех опытных групп на 2,13-12,21 %, в то время как в крови цыплят контрольной группы наблюдается увеличение этого показателя на 5,53 % в сравнении с началом эксперимента.

В ходе исследований нами отмечено увеличение содержания гемоглобина в крови цыплят по сравнению с началом эксперимента. Но к окончанию учётного периода в I и II опытных группах уровень гемоглобина снизился на 4,78-5,06 %, а в III опытной группе увеличился на 12,0 % ($P < 0,05$) по сравнению с аналогичным значением в контрольной группе (рис. 3).

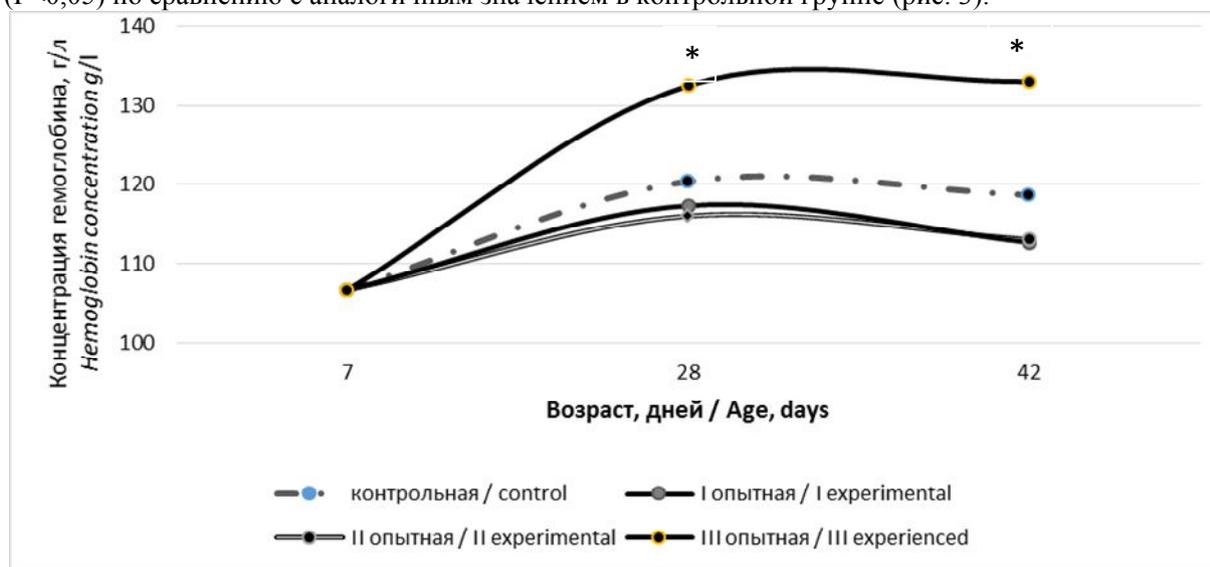


Рис. 3 – Динамика изменения содержания гемоглобина в крови цыплят-бройлеров
Figure 3 – Dynamics of changes in hemoglobin content in the blood of broiler chickens

Примечание: * – $P \leq 0,05$ в сравнении с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0.05$ comparison with control group

По результатам исследования биохимических показателей сыворотки крови цыплят-бройлеров было выявлено положительное влияние ультрадисперсного оксида кремния на содержание общего белка в крови цыплят опытных групп (рис. 4). В 4-недельном возрасте отмечено достоверное увеличение концентрации белка в сыворотке крови III опытной группы на 5,40 % ($P \leq 0,05$). По количеству альбуминовой фракции кровь цыплят опытных групп также превосходит кровь птицы контрольной группы, а для II и III опытных групп отмечено его достоверное увеличение на 10,50 % ($P \leq 0,01$) и 13,10 % ($P \leq 0,01$) соответственно. К 6-недельному возрасту общий белок крови цыплят увеличивается во всех группах на 1,80-8,42 %, а альбуминовая фракция – на 2,35-8,16 % по сравнению с 4-недельным. К концу эксперимента содержание общего белка в крови цыплят опытных групп увеличилось на 0,71-11,58 % по сравнению с белком крови цыплят контрольной группы, а содержание альбуминовой фракции возросло только в крови цыплят II и III опытных групп на 7,5 и 16,28 % соответственно, причём для III опытной группы это увеличение достоверно ($P \leq 0,05$).

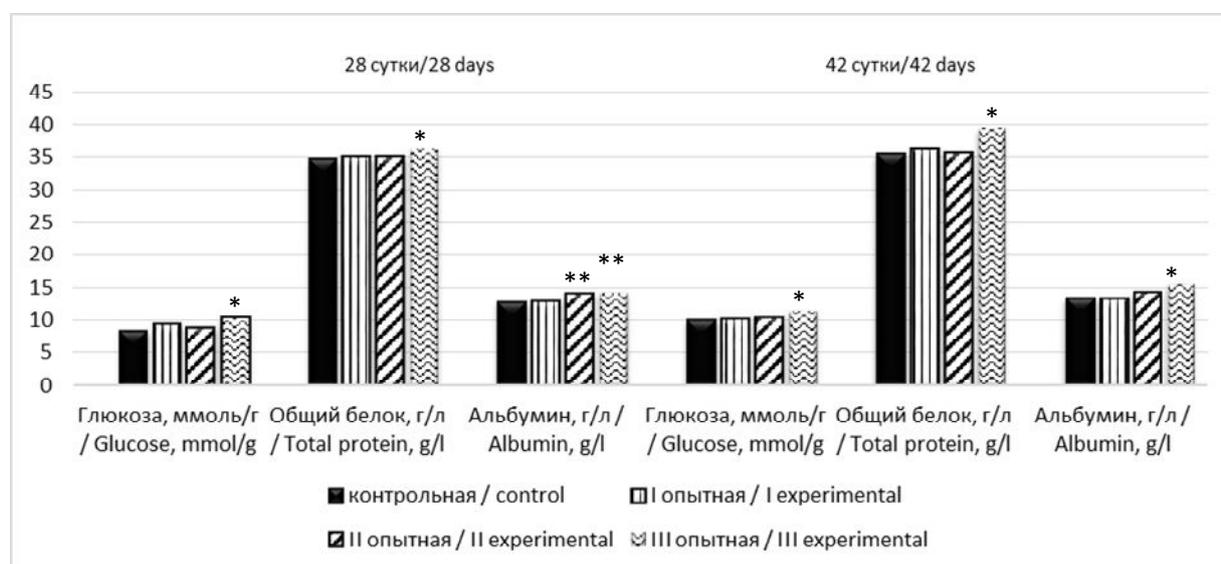


Рис. 4 – Биохимические показатели крови исследуемых цыплят-бройлеров
Figure 4 - Biochemical blood parameters of broiler chickens

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ в сравнении с контрольной группой
 Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$ comparison with control group

В крови бройлеров опытных групп после 14 дней с начала дачи ультрадисперсного оксида кремния уровень глюкозы увеличился на 8,04-23,65 %, а к концу эксперимента уровень глюкозы в крови цыплят III опытной группы был достоверно выше на 15 % ($P \leq 0,05$) аналогичного значения этого показателя в крови цыплят контрольной группы.

Обсуждение полученных результатов

Полученные в эксперименте данные о ростостимулирующем эффекте ультрадисперсной формы кремния согласуются с результатами других исследователей, описывающих ростостимулирующие эффекты препаратов различных ультраразмерных металлов-микроэлементов, в том числе и по сравнению с традиционными источниками микроэлементов (Сизова Е.А. и др., 2016а, 2016б). При этом следует отметить, что выраженное продуктивное действие препарата было получено на фоне высокой интенсивности роста цыплят-бройлеров, что принципиально нельзя объяснить только высокой биодоступностью микроэлементов из наноразмерных источников (Сизова Е.А., 2017) или биологической ролью кремния как микроэлемента (Кононенко С.И. и др., 2015; Лобанов К.Н. и др., 2016). Повышенная продуктивность на фоне скармливания ультрадисперсного препарата, по мнению авторов, определяется иным механизмом действия УДЧ на организм животных, описанным ранее, в том числе за счёт повышенного обмена аргинина и синтеза оксида азота (Miroshnikov SA et al., 2015). Возможно, что эти эффекты определили факт повышения концентрации общего белка в сыворотке крови. При этом к окончанию эксперимента (42-е сут) статистически значимые различия с контролем наблюдаются только в III опытной группе – 11,58 % ($P \leq 0,05$), что предполагает положительное влияние используемой добавки на белковый обмен. Это имело место на фоне увеличения содержания альбуминовой фракции на 16,28 % ($P \leq 0,05$).

Как следует из полученных результатов, высокая интенсивность роста опытной птицы поддерживалась соответствующим повышением интенсивности окислительно-восстановительных реакций. Свидетельством чего является закономерное повышение количества эритроцитов (Tierney J et al., 2004), причём наиболее значительно – в группе, получавшей максимальные в эксперименте дозировки препарата. Количество эритроцитов является важным гематологическим показателем,

определяющим способностью транспорта веществ, представляя существенное значение в поддержании гомеостаза (Ромашенко С.В. и др., 2012). Эритроциты высоко функциональны ввиду необходимости обеспечения высоких темпов роста (Фролова Л.В. и др., 2013).

Наукой накоплен значительный багаж знаний о влиянии ультрадисперсных частиц кремния на морфологию и цитологию крови (Andreeva ER et al., 2013; Azimipour S et al., 2018). Так, Kozelskaya AI с соавторами (2016) описана трансформация дискоцитов в эхиноциты и сфероциты, вызванная наночастицами оксида кремния, при отсутствии выраженного влияния на физиологические характеристики клеток.

Необходимо отметить, что УДЧ оксида кремния активно взаимодействуют с гемоглобином (Hb) с образованием гидрофобных остатков без формирования стойких изменений во вторичной его структуре. При этом интенсивность данного взаимодействия напрямую коррелирует с температурой (Sabziparvar N et al., 2018). Как следует из полученных нами результатов, концентрация гемоглобина на фоне скармливания УДЧ на протяжении всего исследуемого периода была выше, чем в контроле.

Ядродержащие тромбоциты присутствуют в крови птицы, и выполняемые ими функции сходны с тромбоцитами животных (Meseguer J et al., 2002). Помимо функционирования в процессе свёртывания крови, тромбоциты обладают целым рядом уникальных свойств, в том числе по способности оказывать воздействие на бактерии и вирусы (Noisakran S et al, 2009; Paul MSt et al., 2012). Антимикробная активность проявляется как одним тромбоцитом, так и агрегатами тромбоцитов (Kemono H et al, 1986). Активированный тромбоцит изменяет свою дискоидную форму на «неправильную», что сопровождается активизацией энергетических процессов и метаболизма белков внутри тромбоцитов. Гранулы тромбоцитов содержат бактерицидные соединения, такие как кислая фосфатаза, пероксидаза, катионные белки и протеолитические ферменты (Tang YQ et al, 2002).

Концентрация белых клеток крови изменяется и зависит от состояния организма. По ней можно судить о напряжённости стрессовой реакции. Ранее уже показано выраженное иммуностимулирующее действие ультрадисперсных препаратов кремния, в частности, на модели человеческих моноцит и лимфоцитах продемонстрирована способность УДЧ индуцировать очень высокую скорость иммуноактивации за счёт усиления экспрессии поверхностных маркеров MDDCs, индуцируя пролиферацию Т-клеток, а также секрецию интерлейкинов (Shahbazi MA et al., 2014). Схожие результаты при относительно меньших дозировках показаны в исследованиях R Xing с соавторами (2016). Однако известно, что лимфоциты, обработанные УДЧ SiO₂, отличаются сниженной жизнеспособностью (Sabziparvar N et al., 2018).

Благодаря углеводам организм поддерживает протекание важных обменных процессов в теле животных и птиц и является связующим звеном между энергетической и пластической функциями. В желудочно-кишечный тракт углеводы поступают в виде различных сахаридов корма. Из пищеварительного тракта в кровь углеводы всасываются в виде моносахаридов, в основном в виде глюкозы (Ермолина С.А. и др., 2014; Лебедев С.В. и др., 2019). В связи с чем факт нарастания концентрации глюкозы в сыворотке крови птицы III опытной группы к 6-недельному возрасту на 15,0 % ($P \leq 0,05$), относительно контроля, можно рассматривать как позитивное действие препарата на метаболизм в организме птицы.

Выводы.

Скармливание ультрадисперсного оксида кремния цыплятам-бройлерам оказывает влияние на морфологический и биохимический составы крови птицы и проявляет незначительное ростостимулирующее действие. Наиболее выраженный продуктивный эффект наблюдается при скармливании цыплятам-бройлерам оксида кремния в ультрадисперсном виде в дозировке 300 мг/кг корма. При этом конверсия корма повышается на величину до 6,00 %.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005)

Литература

1. Биологические эффекты, связанные с поступлением в организм цыплят-бройлеров наночастиц хрома в разной дозировке / С.В. Лебедев, И.А. Гавриш, И.З. Губайдуллина, С.В. Шабунин. *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 4. С. 820-831. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng [Lebedev SV, Gavrish IA, Gubajdullina IZ, Shabunin SV. Effects caused by different doses of dietary chromium nanoparticles fed to broiler chickens Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2019;54(4):820-831. (In Russ)]. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng
2. Буянкин Н.Ф. Применение кремнийорганических соединений // *Птицеводство*. 2011. № 2. С. 34-35. [Buyankin NF. Organosilicon compounds in poultry diets. Ptitsevodstvo. 2011;2:34-35. (In Russ)].
3. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Кремний в живой природе. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1984. 157 с. [Voronkov MG, Kuznetsov IG. Kremnii v zhivoi prirode. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd., 1984:157 p. (In Russ)].
4. Диоксид кремния в кормлении цыплят мясного направления продуктивности / С.И. Кононенко, И.Р. Тлецерук, В.А. Овсепьян, Д.А. Юрин // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2015. Т. 52 № 3. С. 62-67. [Kononenko SI, Tletseruk IR, Ovsepyan VA, Yurin DA. Silicon Dioxide in the Meat Chickens' Feeding. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2015;52(3):62-67. (In Russ)].
5. Еремин С.В. Влияние новой кремнийсодержащей кормовой добавки «Набикат» на продуктивность, обмен веществ и резистентность организма цыплят-бройлеров: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2016. 22 с. [Eremin SV. Vliyanie novoi kremniisoderzhashchei kormovoi dobavki «Nabikat» na produktivnost', obmen veshchestv i rezistentnost' organizma tsyplyat-broilerov: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. Volgograd, 2016:22 p. (In Russ)].
6. Ермолина С.А., Булдакова К.В., Созинов В.А. Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при применении альгасола // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 9. С. 34-37. [Ermolina SA, Buldakova KV, Sozinov VA. Blood biochemical parameters broiler chickens in applying algasola. Advances in Current Natural Sciences. 2014;9:34-37. (In Russ)].
7. К методике формирования однородных групп животных по элементному статусу / С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, О.В. Кван, Ш.Г. Рахматуллин // *Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение Биоэлементология*. 2006. № 2S(52). С. 45-46. [Miroshnikov SA, Lebedev SV, Khvan OV, Rakhmatullin ShG. On the method of forming homogeneous groups of animals by element status. Vestnik of the Orenburg State University. Prilozhenie Bioelementologiya. 2006;2S(52):45-46 (In Russ)].
8. Кишкун А.А. Клиническая лабораторная диагностика: учеб. пособие для мед. сестёр. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 720 с. [Kishkun AA. Klinicheskaya laboratornaya diagnostika: ucheb. posobie dlya med. sester. Moscow: GEOTAR-Media; 2012:720 p. (In Russ)].
9. Кормление сельскохозяйственной птицы / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова и др. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2004. 375 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, et al. Kormlenie sel'skhozajstvennoj pticy. Sergiev Posad: VNITIP; 2004:375 p. (In Russ)].
10. Кремнийсодержащий препарат «Черказ» в рационах птицы / К.Н. Лобанов, В.С. Сушков, В.А. Бабушкин, Т.Р. Трофимов и др. // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2016. № 2. С. 64-70. [Lobanov KN, Sushkov VS, Babushkin VA, Trofimov TR, et al. Silicon drug "Charkas" in poultry diets. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2016;2:64-70. (In Russ)].
11. Лебедев С.В. Особенности влияния дополнительного введения в рацион кур-несушек микроэлементов Cd, I, Se и Zn на макроэлементный состав яиц // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2009. № 12(106). С. 96-98. [Lebedev SV. Peculiarities of influence of Cd, I, Se and Zn microelements additional introduction into hens-layers ration on the macroelementary structure of eggs. Vestnik of the Orenburg State University. 2009;12(106):96-98 (In Russ)].

12. Лебедев С.В., Барышева Е.С., Малышева Н.В. Степень накопления и особенности взаимодействия токсичных и эссенциальных элементов в организме лабораторных животных (экспериментальные исследования) // Вестник Оренбургского государственного университета. Prilozhenie Bioelementologiya. 2006. № 2S(52). С. 33-35. [Lebedev SV, Barysheva ES, Malysheva NV. Degree of accumulation and peculiarities of toxic and essential elements interaction in organism of laboratory animals (experimental researches). Vestnik of the Orenburg State University. Prilozhenie Bioelementologiya. 2006;2S(52):33-35. (*In Russ*)].

13. Методические рекомендации по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы / И.А. Егорова, Т.М. Околелова, В.И. Ермакова и др. / под общ. ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова. Сергиев Посад: ВНИТИП, 1992. 24 с. [Egorova IA, Okolelova TM, Ermakova VI et al. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu nauchnykh issledovaniy po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy. Fisinin VI, Egorov IA, editors. Sergiev Posad: VNITIP; 1992:24 p. (*In Russ*)].

14. Морфо-биохимические показатели крови у бройлеров при коррекции рациона солями и наночастицами Cu / Е.А. Сизова, В.Л. Королёв, Ш.А. Макаев, Е.П. Мирошникова, В.А. Шахов // Сельскохозяйственная биология. 2016а. Т. 51. №. 6. С. 903-911. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.903eng [Sizova EA, Korolev VL, Makaev ShA, Miroshnikova EP, Shakhov VA. Morphological and biochemical blood parameters in broilers at correction with dietary copper salts and nanoparticles. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2016a;51(6):903-911. (*In Russ*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.903eng

15. О перспективности нанопрепаратов на основе сплавов микроэлементов-антагонистов (на примере Fe и Co) / Е.А. Сизова, С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, А.В. Кудашева, Н.И. Рябов // Сельскохозяйственная биология. 2016б. Т. 51. № 4. С. 553-562. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng [Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudasheva AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2016б;51(4):553-562. (*In Russ*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng

16. Подобед Л.И. Влияние кремния на организм птицы // Годівля. 2014. № 7 (140). С. 11-14. [Podobed LI. Vliyanie kremniya na organizm ptitsy. Godivlya. 2014;7(140):11-14. (*In Russ*)].

17. Подобед Л.И. Как избавиться от артритов у бройлеров и ремонтного молодняка птицы // Птицеводство. 2016. № 2. С. 50-53. [Podobed LI. Kak izbavit'sya ot artritov u broilerov i remontnogo molodnyaka ptitsy. Ptitsevodstvo. 2016;2:50-53. (*In Russ*)].

18. Ромащенко С.В., Шантыз А.Ю., Шантыз А.Х. Морфологические изменения щитовидной железы бройлеров под действием йодсодержащих добавок // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 38. С. 141-144. [Romashchenko SV, Shantyz AYU, Shantyz AKh. Morphological changes in broilers thyroid under of iodine-containing additives action. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2012;38:141-144. (*In Russ*)].

19. Сизова Е.А. Обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в питании ультрадисперсных препаратов-микроэлементов: дис. ... д-ра биол. наук. Оренбург, 2017. 344 с. [Sizova EA. Obmen veshchestv i produktivnost' tsyplyat-broilerov pri ispol'zovanii v pitanii ul'tradispersnykh preparatov-mikroelementov [dissertation] Orenburg; 2017:344 p. (*In Russ*)].

20. Функциональная активность щитовидной железы и продуктивность гусей владимирской глинистой породы при использовании йодказеина / Л.В. Фролова, В.В. Пронин, М.А. Романова, С.П. Фисенко, М.С. Дюмин // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 2. С. 42-43. [Frolova LV, Pronin VV, Romanova MV, Fisenko SP, Dyumin MS. Functional activity of thyroid gland and productivity of geese vladimir argillaceous rock when using iodcasein. Achievements of Science and Technology of AICis. 2013;2:42-43. (*In Russ*)].

21. Andreeva ER, Rudimov EG, Gornostaeva AN, Beklemyshev VI, Makhonin II, Maugeri UO, Buravkova LB. In vitro study of interactions between silicon-containing nanoparticles and human peripheral blood leukocytes. Bull Exp Biol Med. 2013;155(3):396-398. doi: <https://doi.org/10.1007/s10517-013-2161-x>

22. Azimipour S, Ghaedi S, Mehrabi Z, Ghasemzadeh SA, Heshmati M, Barikrow N, Attar F, Falahati M. Heme degradation and iron release of hemoglobin and oxidative stress of lymphocyte cells in the presence of silica nanoparticles. *J Biol Macromol*. 2018;118(PtA):800-807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2018.06.128>
23. Barnes TJ, Jarvis KL, Prestidge CA. Recent advances in porous silicon technology for drug delivery. *Ther Deliv*. 2013;4(7):811-23. doi: <https://doi.org/10.4155/tde.13.52>
24. Kemona H, Andrzejewska A, Prokopowicz J, Nowak H, Mantur M. Phagocytic activity of human blood platelets examined by electron microscopy. *Folia Haematologica*. 1986;113(5):696-702.
25. Kozelskaya AI, Panin AV, Khlusov IA, Mokrushnikov PV, Zaitsev BN, Kuzmenko DI, Vasyukov GY. Morphological changes of the red blood cells treated with metal oxide nanoparticles. *Toxicol In Vitro*. 2016; 37:34-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.08.012>
26. Meseguer J, Esteban MM, Rodriguez A. Are thrombocytes and platelets true phagocytes? *Microsc Res Tech*. 2002;57(6):491-497. doi: <https://doi.org/10.1002/jemt.10102>
27. Miroschnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroschnikova EP, Levahin VI. Comparative assessment of effect of copper nano- and microparticles in chicken. *Oriental Journal of Chemistry*. 2015; 31(4):2327-2336. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/310461>
28. Murugadoss S, Lison D, Godderis L, Brule S Van Den, Mast J, Brassinne F, Sebaihi N, Hoet PH. Toxicology of nanoparticles: an update. *Arch Toxicol*. 2017;91:2967-3010. doi: <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1993-y>
29. Noisakran S, Gibbons RV, Songprakhon P et al. Detection of dengue virus in platelets isolated from dengue patients. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*. 2009;40(2):253-262.
30. Paul MSt, Paolucci S, Barjesteh N, Wood RD, Schat KA, Sharif S. Characterization of chicken thrombocyte responses to Toll-like receptor ligands. *PLoS One*. 2012;7(8):e43381. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043381>
31. Sabziparvar N, Saeedi Y, Nouri M, Najafi Bozorgi AS, Alizadeh E, Attar F, Akhtari K, Mousavi SE, Falahati M. Investigating the Interaction of Silicon Dioxide Nanoparticles with Human Hemoglobin and Lymphocyte Cells by Biophysical, Computational, and Cellular Studies. *J Phys Chem B*. 2018;122(15):4278-4288. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.8b00193>
32. Salonen J, Mäkilä E. Thermally carbonized porous silicon and its recent applications. *Adv Mater*. 2018;30(24):e1703819. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201703819>
33. Shahbazi MA, Fernández TD, Mäkilä EM, Guével X Le, Mayorga C, Kaasalainen MH, Salonen JJ, Hirvonen JT, Santos HA. Surface chemistry dependent immunostimulative potential of porous silicon nanoplateforms. *Biomaterials*. 2014;35(33):9224-9235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.07.050>
34. Tang M, Ji X, Xu H, Zhang L, Jiang A, Song B, Su Y, He Y. Photostable and biocompatible fluorescent silicon nanoparticles-based theranostic probes for simultaneous imaging and treatment of ocular neovascularization. *Anal Chem*. 2018;90(13):8188-8195. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b01580>
35. Tang YQ, Yeaman MR, Selsted ME Antimicrobial peptides from human platelets. *Infection and Immunity*. 2002;70(12):6524-6533. doi: 10.1128/iai.70.12.6524-6533.2002
36. Tierney J, Gowing H, Sinderen D Van, Flynn S, Stanley L, McHardy N, Hallahan S, Mulcahy G. In vitro inhibition of *Eimeria tenella* invasion by indigenous chicken *Lactobacillus* species. *Veterinary Parasitology*. 2004;122(3):171-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.05.001>
37. Wang G, Zhou H, Nian QG, Yang Y, Qin CF, Tang R. Robust vaccine formulation produced by assembling a hybrid coating of polyethyleneimine–silica. *Chem Sci*. 2016;7(3):1753-1759. doi: <https://doi.org/10.1039/C5SC03847B>
38. Wang G, Wang HJ, Zhou H, Nian QG, Song Z, Deng YQ, Wang X, Zhu SY, Li XF, Qin CF, Tang R. Hydrated silica exterior produced by biomimetic silicification confers viral vaccine heat-resistance. *ACS Nano*. 2015;9(1):799-808. doi: <https://doi.org/10.1021/nn5063276>
39. Xing R, Li KL, Zhou YF, Su YY, Yan SQ, Zhang KL, Wu SC, Sima YH, Zhang KQ, He Y, Xu SQ. Impact of fluorescent silicon nanoparticles on circulating hemolymph and hematopoiesis in an invertebrate model organism. *Chemosphere*. 2016;159:628-637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.057>

40. Miroshnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroshnikova EP, Levahin VI. Comparative assessment of effect of cooper nano- and microparticles in chicken. *Orient J Chem.* 2015;31(4):2327-2336. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/310461>

References

1. Lebedev SV, Gavrish IA, Gubajdullina IZ, Shabunin SV. Effects caused by different doses of dietary chromium nanoparticles fed to broiler chickens Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2019;54(4):820-831. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.820eng
2. Buyankin NF. Organosilicon compounds in poultry diets. *Poultry Farming.* 2011;2:34-35.
3. Voronkov MG, Kuznetsov IG. Silicon in wildlife. Novosibirsk: Science. Sib. Dep.; 1984. 157 p.
4. Kononenko SI, Tletseruk IR, Ovsepyan VA, Yurin DA. Silicon Dioxide in the Meat Chickens' Feeding. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University.* 2015;52(3):62-67.
5. Eremin SV. The effect of new silicon-containing feed additive "Nabikat" on the productivity, metabolism and body resistance of broiler chickens: Abstract. dis. ... Cand. Agr. Sciences. Volgograd, 2016.22 p.
6. Ermolina SA, Buldakova KV, Sozinov VA. Blood biochemical parameters broiler chickens in applying algal. *Advances in Current Natural Sciences.* 2014;9:34-37.
7. Miroshnikov SA, Lebedev SV, Khvan OV, Rakhmatullin ShG. On the method of forming homogeneous groups of animals by element status. *Vestnik of the Orenburg State University. Bioelementology application.* 2006;2S(52):45-46.
8. Kishkun AA. Clinical laboratory diagnostics: manual for nurses. Moscow: GEOTAR-Media; 2012. 720 p.
9. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, et al. Feeding poultry. Sergiev Posad: VNITIP; 2004: 375 p.
10. Lobanov KN, Sushkov VS, Babushkin VA, Trofimov TR, et al. Silicon drug "Charkas" in poultry diets. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University.* 2016;2:64-70.
11. Lebedev SV. Peculiarities of influence of Cd, I, Se and Zn microelements additional introduction into hens-layers ration on the macroelementary structure of eggs. *Vestnik of the Orenburg State University.* 2009;12(106):96-98.
12. Lebedev SV, Barysheva ES, Malysheva NV. Degree of accumulation and peculiarities of toxic and essential elements interaction in organism of laboratory animals (experimental researches). *Vestnik of the Orenburg State University. Bioelementology application.* 2006;2S(52):33-35.
13. Egorova IA, Okolelova TM, Ermakova VI, et al. Methodological recommendations for scientific research on feeding poultry. under ed. Fisinin VI, Egorova IA. Sergiev Posad: VNITIP; 1992. 24 p.
14. Sizova EA, Korolev VL, Makaev ShA, Miroshnikova EP, Shakhov VA. Morphological and biochemical blood parameters in broilers at correction with dietary copper salts and nanoparticles. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology].* 2016a;51(6):903-911. doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.903eng
15. Sizova EA, Miroshnikov SA, Lebedev SV, Kudasheva AV, Ryabov NI. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology].* 2016b;51(4):553-562. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.553eng
16. Podobed LI. The effect of silicon on the body of a bird. *Godil.* 2014;7 (140):11-14.
17. Podobed LI. How to get rid of arthritis in broilers and replacement young poultry. *Poultry.* 2016;2;50-53.
18. Romashchenko SV, Shantyz AYU, Shantyz AKh. Morphological changes in broilers thyroid under of iodine-containing additives action. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2012;38:141-144.
19. Sizova EA. Metabolism and productivity of broiler chickens after using ultrafine micronutrient preparations in food (dissertation). Orenburg, 2017. 344 p.

20. Frolova LV, Pronin VV, Romanova MV, Fisenko SP, Dyumin MS. Functional activity of thyroid gland and productivity of geese vladimir argillaceous rock when using iodocasein. *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2013;2:42-43.
21. Andreeva ER, Rudimov EG, Gornostaeva AN, Beklemyshev VI, Makhonin II, Maugeri UO, Buravkova LB. In vitro study of interactions between silicon-containing nanoparticles and human peripheral blood leukocytes. *Bull Exp Biol Med*. 2013;155(3):396-398. doi: <https://doi.org/10.1007/s10517-013-2161-x>
22. Azimipour S, Ghaedi S, Mehrabi Z, Ghasemzadeh SA, Heshmati M, Barikrow N, Attar F, Falahati M. Heme degradation and iron release of hemoglobin and oxidative stress of lymphocyte cells in the presence of silica nanoparticles. *J Biol Macromol*. 2018;118(PtA):800-807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2018.06.128>
23. Barnes TJ, Jarvis KL, Prestidge CA. Recent advances in porous silicon technology for drug delivery. *Ther Deliv*. 2013;4(7):811-23. doi: <https://doi.org/10.4155/tde.13.52>
24. Kemoná H, Andrzejewska A, Prokopowicz J, Nowak H, Mantur M. Phagocytic activity of human blood platelets examined by electron microscopy. *Folia Haematologica*. 1986;113(5):696-702.
25. Kozelskaya AI, Panin AV, Khlusov IA, Mokrushnikov PV, Zaitsev BN, Kuzmenko DI, Vasyukov GY. Morphological changes of the red blood cells treated with metal oxide nanoparticles. *Toxicol In Vitro*. 2016; 37:34-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.08.012>
26. Meseguer J, Esteban MM, Rodriguez A. Are thrombocytes and platelets true phagocytes? *Microsc Res Tech*. 2002;57(6):491-497. doi: <https://doi.org/10.1002/jemt.10102>
27. Miroschnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroschnikova EP, Levahin VI. Comparative assessment of effect of cooper nano- and microparticles in chicken. *Oriental Journal of Chemistry*. 2015; 31(4):2327-2336. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/310461>
28. Murugadoss S, Lison D, Godderis L, Brule S Van Den, Mast J, Brassinne F, Sebaihi N, Hoet PH. Toxicology of nanoparticles: an update. *Arch Toxicol*. 2017;91:2967-3010. doi: <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1993-y>
29. Noisakran S, Gibbons RV, Songprakhon P et al. Detection of dengue virus in platelets isolated from dengue patients. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*. 2009;40(2):253-262
30. Paul MSt, Paolucci S, Barjesteh N, Wood RD, Schat KA, Sharif S. Characterization of chicken thrombocyte responses to Toll-like receptor ligands. *PLoS One*. 2012;7(8):e43381. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043381>
31. Sabziparvar N, Saeedi Y, Nouri M, Najafi Bozorgi AS, Alizadeh E, Attar F, Akhtari K, Mousavi SE, Falahati M. Investigating the Interaction of Silicon Dioxide Nanoparticles with Human Hemoglobin and Lymphocyte Cells by Biophysical, Computational, and Cellular Studies. *J Phys Chem B*. 2018;122(15):4278-4288. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.8b00193>
32. Salonen J, Mäkilä E. Thermally carbonized porous silicon and its recent applications. *Adv Mater*. 2018;30(24):e1703819. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201703819>
33. Shahbazi MA, Fernández TD, Mäkilä EM, Guével X Le, Mayorga C, Kaasalainen MH, Salonen JJ, Hirvonen JT, Santos HA. Surface chemistry dependent immunostimulative potential of porous silicon nanoplatfoms. *Biomaterials*. 2014;35(33):9224-9235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.07.050>
34. Tang M, Ji X, Xu H, Zhang L, Jiang A, Song B, Su Y, He Y. Photostable and Biocompatible Fluorescent Silicon Nanoparticles-Based Theranostic Probes for Simultaneous Imaging and Treatment of Ocular Neovascularization. *Anal Chem*. 2018;90(13):8188-8195. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b01580>
35. Tang YQ, Yeaman MR, Selsted ME Antimicrobial peptides from human platelets. *Infection and Immunity*. 2002;70(12):6524-6533. doi: 10.1128/iai.70.12.6524-6533.2002
36. Tierney J, Gowing H, Sinderen D Van, Flynn S, Stanley L, McHardy N, Hallahan S, Mulcahy G. In vitro inhibition of *Eimeria tenella* invasion by indigenous chicken *Lactobacillus* species. *Veterinary Parasitology*. 2004;122(3):171-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.05.001>
37. Wang G, Zhou H, Nian QG, Yang Y, Qin CF, Tang R. Robust vaccine formulation produced by assembling a hybrid coating of polyethyleneimine-silica. *Chem Sci*. 2016;7(3):1753-1759. doi: <https://doi.org/10.1039/C5SC03847B>

38. Wang G, Wang HJ, Zhou H, Nian QG, Song Z, Deng YQ, Wang X, Zhu SY, Li XF, Qin CF, Tang R. Hydrated silica exterior produced by biomimetic silicification confers viral vaccine heat-resistance. *ACS Nano*. 2015;9(1):799-808. doi: <https://doi.org/10.1021/nn5063276>

39. Xing R, Li KL, Zhou YF, Su YY, Yan SQ, Zhang KL, Wu SC, Sima YH, Zhang KQ, He Y, Xu SQ. Impact of fluorescent silicon nanoparticles on circulating hemolymph and hematopoiesis in an invertebrate model organism. *Chemosphere*. 2016;159:628-637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.057>

40. Miroshnikov SA, Yausheva EV, Sizova EA, Miroshnikova EP, Levahin VI. Comparative assessment of effect of cooper nano- and microparticles in chicken. *Orient J Chem*. 2015;31(4):2327-2336. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/310461>

Мирошников Сергей Александрович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-70, e-mail: vniims.or@mail.ru

Мустафина Александра Сергеевна, специалист Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-340-21-10, e-mail: vshivkovaas@mail.ru

Губайдуллина Ильмира Закиевна, младший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-843-10-69, e-mail: gubaidullinae@mail.ru

Поступила в редакцию 28 февраля 2020 г.; принята после решения редколлегии 16 марта 2020 г.; опубликована 31 марта 2020 г. / Received: 28 February 2020; Accepted: 16 March 2020; Published: 31 March 2020