

П.В. Бурков<sup>1</sup>  
 М.А. Дерхо<sup>1</sup> ✉  
 М.Б. Ребезов<sup>2, 3</sup>  
 П.Н. Щербаков<sup>1</sup>  
 А.О. Дерхо<sup>1</sup>  
 К.В. Степанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ [derkho2010@yandex.ru](mailto:derkho2010@yandex.ru)

Поступила в редакцию:  
03.04.2023

Одобрена после рецензирования:  
15.11.2023

Принята к публикации:  
01.12.2023

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-58-66

Pavel V. Burkov<sup>1</sup>  
 Marina A. Derkho<sup>1</sup> ✉  
 Maksim B. Rebezov<sup>2, 3</sup>  
 Pavel N. Shcherbakov<sup>1</sup>  
 Arina O. Derkho<sup>1</sup>  
 Ksenia V. Stepanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

<sup>2</sup>V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ [derkho2010@yandex.ru](mailto:derkho2010@yandex.ru)

Received by the editorial office:  
03.04.2023

Accepted in revised:  
15.11.2023

Accepted for publication:  
01.12.2023

# Иммунологический статус свиноматок в ходе репродуктивного цикла и коррекция его состояния биостимулятором антигенаправленного действия

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Репродуктивная недостаточность свиноматок, ассоциированная с цирковирусной инфекцией, широко распространена в свиноводческих предприятиях. Поэтому решающее значение в формировании репродуктивного потенциала свиноматок имеет повышение эффективности иммунитета, формирующегося у животных в поствакцинальный период.

**Методы.** Работа выполнена на свиноматках, которых в конце подсосного периода при отъеме поросят (на 21-е сутки после родов) вакцинировали против ЦВС-2 вакциной «Ингельвак ЦиркоФЛЕКС» (Германия). В опытной группе вакцинацию сочетали с двукратным введением иммунобиостимулятора направленного действия «Трансфер Фактор» в дозе 5 мл на голову с интервалом 7 дней (второе введение «Трансфер Фактора» проводилось при вакцинации). Эффективность поствакцинального иммунитета оценивали по результатам иммунологических, зоотехнических и статистических исследований.

**Результаты.** Установлено, что формирование поствакцинального иммунитета у свиноматок контрольной группы происходит в условиях увеличения в крови концентрации иммуноглобулинов ( $\Sigma G + M + A$ ) в 1,25–1,59 раза за счет IgG и IgM, уменьшения абсолютного количества Т- и В-лимфоцитов на 11,84–15,51% и 14,12–17,51% при сохранении их процентной доли в общем пуле лимфоцитов, снижения уровня Т-хелперов на 34,27–36,47 на фоне прироста цитотоксических лимфоцитов и киллеров на 4,47–66,67%, что определяет выход поросят на один опорос в количестве 12,5 голов и мертворожденность на уровне 9,67%. Сочетание вакцинации с введением специфического иммунобиостимулятора направленного действия у свиноматок опытной группы определяет в поствакцинальный период; прирост концентрации иммуноглобулинов в крови на 24,93–71,56% за счет IgG; уменьшение количества Т-лимфоцитов на 19,50–23,76% на фоне увеличения В-лимфоцитов на 20,00–21,25%; сохранение абсолютного числа Т-хелперов и уменьшение количества цитотоксических лимфоцитов и киллеров в 2,14–3,00 раза, способствуя снижению мертворожденности на 3,24% и повышению выхода поросят на один опорос до 13,0 голов.

**Ключевые слова:** свиноматки, иммуноглобулины, иммунограмма, поствакцинальный иммунитет, цирковирус, репродуктивные потери

**Для цитирования:** Бурков П.В., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Щербаков П.Н., Дерхо А.О., Степанова К.В. Иммунологический статус свиноматок в ходе репродуктивного цикла и коррекция его состояния биостимулятором антигенаправленного действия. *Аграрная наука*. 2023; 377(12): 58–66. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-58-66>

© Бурков П.В., Дерхо М.А., Ребезов М.Б., Щербаков П.Н., Дерхо А.О., Степанова К.В.

# Immunological status of sows during the reproductive cycle and correction of its condition with an antigen-directed biostimulator

## ABSTRACT

**Relevance.** Reproductive insufficiency of sows associated with circovirus infection is widespread in pig breeding enterprises. Therefore, an increase in the effectiveness of immunity formed in animals during the post-vaccination period is of crucial importance in the formation of the reproductive potential of sows.

**Methods.** The work was performed on sows, which at the end of the suckling period during weaning of piglets (on the 21st day after delivery) were vaccinated against CVS-2 with the "Ingelvak Circoflex" vaccine (Germany). In the experimental group, vaccination was combined with a two-time administration of a targeted immunobiostimulator "Transfer Factor" at a dose of 5 ml per head with an interval of 7 days (the second administration of "Transfer Factor" was carried out during vaccination). The effectiveness of post-vaccination immunity was evaluated based on the results of immunological, zootechnical and statistical studies.

**Results.** It was found that the formation of post-vaccination immunity in control group sows occurs under conditions of an increase in the concentration of immunoglobulins in the blood ( $\Sigma G + M + A$ ) by 1.25–1.59 times due to IgG and IdM, a decrease in the absolute number of T- and B-lymphocytes by 11.84–15.51% and 14.12–17.51% while maintaining their percentage share in the total pool of lymphocytes, a decrease in the level of T-helpers by 34.27–36.47 against the background of an increase in cytotoxic lymphocytes and killers by 4.47–66.67%, which determines the yield of piglets per farrow in the amount of 12.5 heads and stillbirth at the level of 9.67%. The combination of vaccination with the introduction of a specific targeted immunobiostimulator in sows of the experimental group determines in the post-vaccination period; an increase in the concentration of immunoglobulins in the blood by 24.93–71.56% due to IgG; a decrease in the number of T-lymphocytes by 19.50–23.76% against the background of an increase in B-lymphocytes by 20.00–21.25%; preservation of the absolute number of T-helpers and reducing the number of cytotoxic lymphocytes and killers by 2.14–3.00 times, contributing to a 3.24% reduction in stillbirth and an increase in the yield of piglets per farrowing to 13.0 heads.

**Key words:** sows, immunoglobulins, immunogram, post-vaccination immunity, circovirus, reproductive diseases

**For citation:** Burkov P.V., Derkho M.A., Rebezov M.B., Shcherbakov P.N., Derkho A.O., Stepanova K.V. Immunological status of sows during the reproductive cycle and correction of its condition with an antigen-directed biostimulator. *Agrarian science*. 2023; 377(12): 58–66 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-58-66>

© Burkov P.V., Derkho M.A., Rebezov M.B., Shcherbakov P.N., Derkho A.O., Stepanova K.V.

## Введение/Introduction

Воспроизводство стада — одно из важнейших направлений деятельности современных свиноводческих предприятий, влияющих на экономическую эффективность его работы. Оно базируется на технологии получения поросят в планируемые сроки, что возможно при строгой регуляции репродуктивных функций свиноматок и воспроизводительного процесса в целом [1].

Свиноматки, используемые в товарном производстве, обладают повышенной репродуктивной способностью благодаря генетическим достижениям [2]. Однако увеличение размера помета повлияло не только на количество и вес поросят при рождении, но и на процесс их внутриутробного развития, что в последующем определяет показатели их роста и сохранности. В этих условиях поддержание иммунного статуса свиноматок важно не только для сохранения «собственного» здоровья, но и возможности получения здорового потомства.

Согласно данным [3], решающее значение в формировании репродуктивного потенциала свиноматок имеет достаточное потребление энергии и меньшее количество воздействующих на их организм инфекционных агентов. Поэтому важно в промышленной среде создать такие технологические условия, которые способствовали бы сохранению иммунного ответа организма свиноматок на воздействие антигенных агентов в различные сроки репродуктивного цикла [4]. При этом необходимо контролировать распространённость «факторных инфекций», которые инициируют нарушение воспроизводительных функций у свиноматок [5].

Одним из экономически важных вирусов в свиноводческих предприятиях является цирковирус ЦВС-2 [6, 7], заболеваемость животных которым контролирует (но не устраняет) вакцинация. Это определяется особенностью персистенции вируса в окружающей среде свиноводческих помещений и отсутствием «стерилизующего иммунитета» после вакцинации [8, 9]. По данным [10], частота положительных результатов на цирковирус значительно выше у свиноматок с репродуктивной недостаточностью, чем у здоровых, при этом более 60,60% абортированных плодов положительны по цирковирусу. Свиноматки с клиническими признаками цирковирусной инфекции не только имеют хронические репродуктивные проблемы, но и более низкий уровень оплодотворяемости и более высокий средний уровень смертности [11]. Типичным клиническим признаком репродуктивной недостаточности свиноматок, связанной с ЦВС-2, является наличие мертворожденных поросят в помете [12]. В работе [13]

констатируется, что наличие в помете свиноматок хотя бы одного мертворожденного поросенка сочетается с идентификацией в пробах их крови генома цирковируса. На тяжесть репродуктивной недостаточности влияет не только вирулентность штамма вируса, но и стадия беременности [14].

Поскольку репродуктивная недостаточность свиноматок, ассоциированная с цирковирусной инфекцией, широко распространена в свиноводческих предприятиях [15], целью исследования являлась оценка иммунного статуса свиноматок после вакцинации против ЦВС-2 в ходе последующего репродуктивного цикла, а также при коррекции его состояния за счет повышения эффективности иммунного ответа организма животных после вакцинации.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент выполнен в условиях товарного свиноплекарства ООО «Агрофирма Ариант» в 2022–2023 гг. (Челябинская обл., Россия), на котором технология производства свинины основана с учетом рекомендаций Genesis и региональных характеристик предприятия.

При планировании экспериментальной части работы учитывали полную технологическую схему использования свиноматок в условиях поточной системы воспроизводства, которая предусматривала холостой период, определяемый временем на синхронизацию и осеменение свиноматок, супоросный период, и подготовку к опоросу, а также опорос и лактационный период.

На предприятии используется короткий цикл воспроизводства, в котором период подсоса составляет 21 день, и время содержания свиноматок до осеменения после отъема (7–10 суток).

Питательность рациона кормления и перемещение животных по специализированным помещениям регулировались в соответствии с данной схемой. При этом для кормления свиноматок на предприятии используется жидкий корм (режим кормления — двухкратный). Животные имеют свободный доступ к автоматическим поилкам.

Свиноматок в холостой период и большую часть супоросного периода содержали групповым методом, а в последнюю треть супоросности, включая опорос и лактационный (подсосный) период — в индивидуальных боксах. За неделю до предполагаемой даты родов свиноматок переводили в сектор опороса.

В период проведения эксперимента общее поголовье свиноматок варьировало в пределах 196–202 голов и состояло из основных и проверяемых маток.

Дизайн экспериментальной части работы учитывал схему вакцинации животных против цирковирусной инфекции, которая проводилась в конце подсосного периода при отъеме поросят, то есть на 21-е сутки после родов. Для этих целей использовалась вакцина «Ингельвак ЦиркоФЛЕКС» (Германия). После вакцинации состояние свиноматок визуально контролировали на наличие побочных реакций в течение двух часов.

Исследовательская часть работы выполнена в два этапа (рис. 1).

Перед использованием препарат подвергался стандартной проверке на стерильность. «Трансфер Фактор» вводили свиноматкам двукратно с интервалом 7 дней

Рис. 1. Этапы научно-исследовательской работы

Fig. 1. Stages of research work



в дозе 5 мл на одну голову. Второе введение «Трансфер Фактора» сочетали с использованием вакцины против цирковируса.

Иммунный статус свиноматок характеризовали на основе исследования образцов крови, которые на каждом этапе эксперимента методом случайной выборки брали у 10 голов венепункцией краниальной полой вены в следующие сроки технологического цикла:

- 1) до первого введения «Трансфер Фактора» (14-е сутки после опороса);
- 2) в середине супоросности (57–59-е сутки беременности);
- 3) в конце беременности (до перевода в секцию опороса).

От каждой свиноматки брали по две пробирки крови, которые в термоконтейнере доставлялись в лабораторию HELIX (г. Челябинск, Россия). В образцах крови определяли концентрацию иммуноглобулинов А (IgA), G (IgG), М (IgM) иммунотурбидиметрическим методом на биохимическом анализаторе Gobas 6000 (Roche Diagnostics, Швейцария).

Методом проточной цитометрии в  $10^9$ /л и % определяли количество: Т-лимфоцитов (CD3 + CD19-); Т-хелперов/индукторов (CD3 + CD4 + CD45+); Т-цитотоксических лимфоцитов (Т-ЦТЛ) (CD3 + CD8 + CD45+); Т-лимфоцитов, экспрессирующих маркеры NK-клеток (Т-NK-клетки) (CD3 + CD56 + CD45+); истинных натуральных киллеров (NK-клетки) (CD3-CD56 + CD45+); NK-клеток, экспрессирующих альфа-цепь антигена CD8 (CD3-CD8 + CD45+) и В-лимфоциты (CD19 + CD3-).

Дополнительно были вычислены процентная доля незрелых Т-лимфоцитов (CD4 + CD8 + CD45+) и индекс  $CD3 + CD4+ / CD3 + CD8+$  (Т-хелперы/ЦТЛ).

В качестве индикатора эффективности вакцинации определены уровень мертворожденности поросят и выход поросят на один опорос у свиноматок опытной и контрольной групп [12, 16] (по данным статистической отчетности свинокомплекса).

Полученный цифровой материал подвергли статистической обработке, используя возможности пакета программы Excel 2010 (США). Результаты выражены в виде средних значений и средних значений стандартной ошибки. Значения вероятности  $< 0,05$  рассматривались как указывающие на значимость.

### Результаты и обсуждение /

#### Results and discussion

Имуноглобулины в организме свиноматок обеспечивают формирование и поддержание не только собственного иммунитета, но и защиту развивающихся плодов от антигенных раздражителей за счет эпителиохоориальной функции плаценты и эффективность колострального иммунитета у подсосных поросят [17–19].

В организме свиноматок развитие поствакцинального иммунного ответа к цирковирусной инфекции протекает на фоне прогрессирования беременности [20] и возрастания антигенной активности плода, а также прессинга факторов окружающей среды, что отражается на эффективности формируемого иммунитета. Соответственно, совокупность данных факторов влияет на изменчивость

имуноглобулинов в крови животных, формирующих гуморальные иммунологические механизмы в их организме. Поэтому вариабельность иммуноглобулинов G, М и А в крови свиноматок контрольной группы можно рассматривать как реакцию животных на вакцинацию в существующих условиях репродуктивного цикла.

Свиноматки контрольной и опытной групп на 14-е сутки после опороса не имели статистически значимых различий в концентрации иммуноглобулинов в крови (табл. 1). При этом в их совокупности преобладали иммуноглобулины класса G (73,32–73,74% от их общей суммы), определяя способность белков как защищать организм матери от воздействия различных антигенов, так и поддерживать «иммунный фон» секрета молочных желез в ходе лактации [21]. Согласно данным [22], большая часть иммуноглобулинов G молока — это сывороточные антитела, обладающие более высокой степенью усвоения в организме поросят.

Формирование поствакцинального иммунитета к цирковирусной инфекции у свиноматок протекало в условиях осеменения и последующего развития беременности. С одной стороны, вакцинация стимулировала адаптивный иммунный ответ организма, с другой — развитие плода, обладающего антигенной активностью, происходит только при иммунологической толерантности организма матери к антигенам плода. Поэтому состояние гуморального звена иммунитета, оцениваемого по концентрации иммуноглобулинов в крови матери, являлось «компромиссом» между данными иммунологическими процессами.

В середине супоросности у свиноматок контрольной группы, как результат циркуляции в крови поствакцинальных антител, достоверно возросло количество иммуноглобулинов G, М и А (по сравнению с подсосными животными) в 1,44, 2,02 и 2,14 раза (табл. 1). Однако в общей сумме иммуноглобулинов уменьшалась доля IgG (до 66,51%) и возрастала IgM (до 30,70%).

Совокупность полученных данных можно расценивать как способность организма супоросных свиноматок не только адекватно отвечать на антигенную стимуляцию плода и противовирусной вакцины, но и вырабатывать антитела, связывающие антигены вирусного и бактериального происхождения, воздействующие на их организм в существующей технологической среде, то есть иммуноглобулиновый профиль крови

Таблица 1. Концентрация иммуноглобулинов в крови свиноматок и их изменчивость в ходе репродуктивного цикла ( $n = 10$ ),  $X \pm Sx$

Table 1. The concentration of immunoglobulins in the blood of sows and their variability during the reproductive cycle ( $n = 10$ ),  $X \pm Sx$

Показатели	Сроки исследования крови в ходе репродуктивного цикла					
	14-е сутки после опороса		середина супоросности (57–59-е сутки беременности)		в конце беременности (до перевода в секцию опороса)	
	$X \pm Sx$	%	$X \pm Sx$	%	$X \pm Sx$	%
<b>Контрольная группа</b>						
Ig G, г/л	4,97 ± 0,16	73,74	7,15 ± 0,40* <sup>1</sup>	66,51	4,86 ± 0,14	57,78
Ig M, г/л	1,63 ± 0,09	24,18	3,30 ± 0,10* <sup>1</sup>	30,70	3,23 ± 0,11* <sup>1</sup>	38,41
Ig A, г/л	0,14 ± 0,01	2,08	0,30 ± 0,01* <sup>1</sup>	2,79	0,32 ± 0,02* <sup>1</sup>	3,81
$\Sigma G + M + A$ , г/л	6,74 ± 0,09	100,00	10,75 ± 0,17* <sup>1</sup>	100,00	8,41 ± 0,09* <sup>1</sup>	100,00
<b>Опытная группа</b>						
Ig G, г/л	5,44 ± 0,23	73,32	10,51 ± 0,27* <sup>1+2</sup>	82,56	7,58 ± 0,20* <sup>1+2</sup>	81,76
Ig M, г/л	1,81 ± 0,15	24,39	2,02 ± 0,06* <sup>2</sup>	15,87	1,53 ± 0,06* <sup>2</sup>	16,50
Ig A, г/л	0,17 ± 0,01	2,29	0,20 ± 0,01* <sup>2</sup>	1,57	0,16 ± 0,01* <sup>2</sup>	1,74
$\Sigma G + M + A$ , г/л	7,42 ± 0,13	100,00	12,73 ± 0,09* <sup>1+2</sup>	100,00	9,27 ± 0,09* <sup>1+2</sup>	100,00

Примечание: \*<sup>1</sup>  $p < 0,05$  по отношению к данным на 14-е сутки после опороса, \*<sup>2</sup>  $p < 0,05$  по отношению к контрольной группе

свиноматок свидетельствовал о протекании в их организме процессов по механизму первичного и вторично-иммунного ответа [23].

В конце беременности у свиноматок контрольной группы в условиях общего снижения количества иммуноглобулинов в крови до  $8,41 \pm 0,09$  г/л сохранялась тенденция изменений его классов, выявленная в середине супоросности (табл. 1). При этом уменьшалась концентрация IgG (до  $4,86 \pm 0,14$  г/л), составляя в общей сумме иммунных белков 57,78%, что, по данным [24], является, вероятно, результатом их перехода через плаценту в плод в данный срок беременности, а также увеличивались количество IgM и IgA, соответственно, до  $3,23 \pm 0,11$  г/л и  $0,32 \pm 0,02$  г/л и их доля в сумме иммуноглобулинов до 38,41% и 3,81%, отражая состояние иммунологических механизмов в барьерах слизистых оболочек в организме животных [25].

В опытной группе свиноматок, у которых вакцинация сочеталась с введением специфического иммунобиостимулятора направленного действия, динамика иммуноглобулинов (рис. 2) в поствакцинальный период имела следующие особенности:

Для проверки данных выводов была изучена изменчивость лимфоцитарного состава крови свиноматок контрольной и опытной групп.

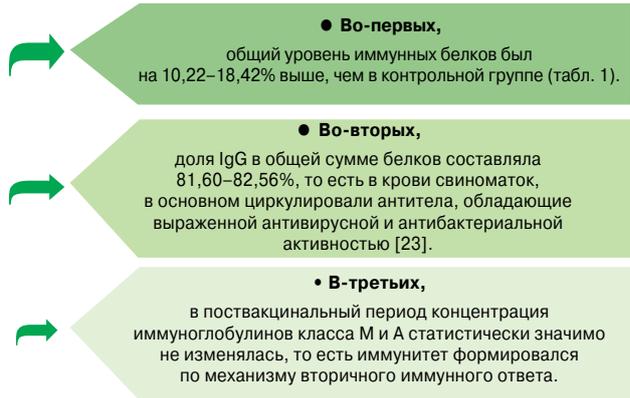
Как известно, лимфоциты являются специализированными клетками иммунной системы, способными быстро реагировать на сигналы чужеродных патогенов или воспалительных раздражителей. Среди них основными являются: 1) Т-лимфоциты, или Т-клетки («стражи» адаптивной иммунной системы), которые в ответ на антиген-специфические сигналы экспрессируют Т-клеточный рецептор (CD3), позволяя выявлять и устранять антигенную «угрозу» в организме животных; 2) В-лимфоциты, или В-клетки (факторы гуморальной иммунной системы), продуцирующие иммуноглобулины [26, 27]. При этом роль Т-лимфоцитов приоритетна в контроле состояния иммунной системы, а В-лимфоцитов — в секреции антител.

В настоящее время для дифференциации Т- и В-лимфоцитов используется метод проточной цитометрии, при котором Т-лимфоциты идентифицируются по экспрессии CD3, а В-лимфоциты — CD19-антигенов [27].

В стандартных технологических условиях лимфоцитарный профиль крови свиноматок опытной и контрольной групп на 14-е сутки после опороса не имел статистически значимых различий (табл. 2).

Так, лимфоциты в циркуляторном русле животных были представлены

**Рис. 2.** Особенности динамики иммуноглобулинов  
**Fig. 2.** Features of immunoglobulin dynamics

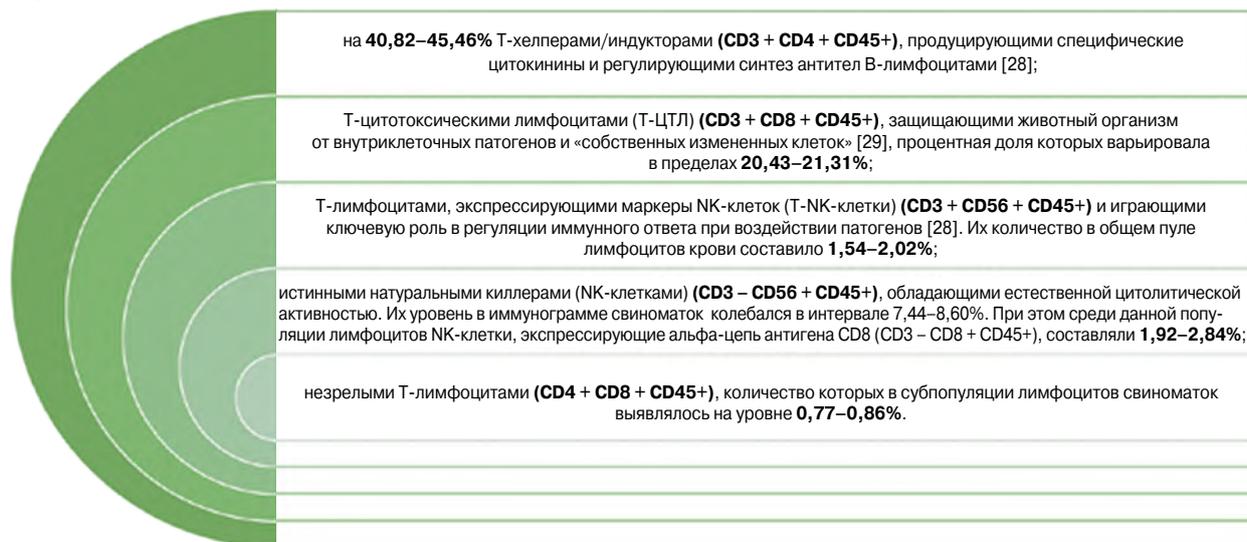


**Таблица 2.** Лимфоцитарный профиль крови свиноматок и его изменчивость в ходе репродуктивного цикла (n = 10), X ± Sx  
**Table 2.** Lymphocytic profile of sow blood and its variability during the reproductive cycle (n = 10), X ± Sx

Показатели иммунограммы	Сроки исследования крови в ходе репродуктивного цикла		
	14-е сутки после опороса	середина супоросности (57–59-е сутки беременности)	в конце беременности (до перевода в секцию опороса)
<b>Контрольная группа</b>			
Т-лимфоциты (CD3 + CD19-), 10 <sup>9</sup> /л	5,74 ± 0,17	5,06 ± 0,12	4,85 ± 0,17 <sup>1</sup>
Т-лимфоциты (CD3 + CD19-), %	73,68 ± 1,28	76,31 ± 1,40	76,25 ± 1,33
Т-хелперы/индукторы (CD3 + CD4 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	3,18 ± 0,18	2,09 ± 0,06* <sup>1</sup>	2,02 ± 0,18* <sup>1</sup>
Т-хелперы/индукторы (CD3 + CD4 + CD45+), %	40,82 ± 0,65	31,52 ± 0,37* <sup>1</sup>	31,76 ± 0,24* <sup>1</sup>
Т-цитотоксические лимфоциты (Т-ЦТЛ) (CD3 + CD8 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	1,66 ± 0,12	2,01 ± 0,13* <sup>1</sup>	1,90 ± 0,11* <sup>1</sup>
Т-цитотоксические лимфоциты (Т-ЦТЛ) (CD3 + CD8 + CD45+), %	21,31 ± 0,50	30,32 ± 0,15* <sup>1</sup>	29,87 ± 0,18* <sup>1</sup>
Незрелые Т-лимфоциты (CD4 + CD8 + CD45+), %	0,77 ± 0,09	0,56 ± 0,02* <sup>1</sup>	0,41 ± 0,01* <sup>1</sup>
Т-лимфоциты, экспрессирующие маркеры НК-клеток (Т-НК-клетки) (CD3 + CD56 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	0,12 ± 0,01	0,20 ± 0,02* <sup>1</sup>	0,20 ± 0,01* <sup>1</sup>
Т-лимфоциты, экспрессирующие маркеры НК-клеток (Т-НК-клетки) (CD3 + CD56 + CD45+), %	1,54 ± 0,03	3,02 ± 0,02* <sup>1</sup>	3,14 ± 0,03* <sup>1</sup>
Индекс CD3 + CD4+ / CD3 + CD8+ (Т-хелперы/ЦТЛ)	1,92 ± 0,04	1,09 ± 0,05* <sup>1</sup>	1,03 ± 0,06* <sup>1</sup>
Истинные натуральные киллеры (НК-клетки) (CD3-CD56 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	0,67 ± 0,03	0,70 ± 0,03	0,70 ± 0,03
Истинные натуральные киллеры (НК-клетки) (CD3-CD56 + CD45+), %	8,60 ± 0,24	10,55 ± 0,47	11,01 ± 0,24* <sup>1</sup>
НК-клетки, экспрессирующие альфа-цепь антигена CD8 (CD3-CD8 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	0,15 ± 0,01	0,21 ± 0,01* <sup>1</sup>	0,22 ± 0,01* <sup>1</sup>
НК-клетки, экспрессирующие альфа-цепь антигена CD8 (CD3-CD8 + CD45+), %	1,92 ± 0,03	3,16 ± 0,43* <sup>1</sup>	3,45 ± 0,10* <sup>1</sup>
В-лимфоциты (CD19 + CD3-), 10 <sup>9</sup> /л	1,77 ± 0,10	1,52 ± 0,16	1,46 ± 0,05
В-лимфоциты (CD19 + CD3-), %	22,72 ± 0,42	22,92 ± 0,90	22,96 ± 0,57
<b>Опытная группа</b>			
Т-лимфоциты (CD3 + CD19-), 10 <sup>9</sup> /л	5,64 ± 0,21	4,30 ± 0,21* <sup>1+2</sup>	4,54 ± 0,20* <sup>1+2</sup>
Т-лимфоциты (CD3 + CD19-), %	76,31 ± 0,38	67,29 ± 0,54* <sup>1+2</sup>	69,21 ± 0,43* <sup>1+2</sup>
Т-хелперы/индукторы (CD3 + CD4 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	3,36 ± 0,16	3,22 ± 0,18* <sup>2</sup>	3,48 ± 0,16* <sup>2</sup>
Т-хелперы/индукторы (CD3 + CD4 + CD45+), %	45,46 ± 0,36	50,39 ± 0,27* <sup>2</sup>	53,05 ± 1,06* <sup>1+2</sup>
Т-цитотоксические лимфоциты (Т-ЦТЛ) (CD3 + CD8 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	1,51 ± 0,12	0,66 ± 0,11* <sup>1+2</sup>	0,69 ± 0,12* <sup>1+2</sup>
Т-цитотоксические лимфоциты (Т-ЦТЛ) (CD3 + CD8 + CD45+), %	20,43 ± 1,04	10,32 ± 0,37* <sup>1+2</sup>	10,52 ± 0,92* <sup>1+2</sup>
Незрелые Т-лимфоциты (CD4 + CD8 + CD45+), %	0,86 ± 0,11	1,47 ± 0,06**	0,96 ± 0,07***
Т-лимфоциты, экспрессирующие маркеры НК-клеток (Т-НК-клетки) (CD3 + CD56 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	0,15 ± 0,02	0,07 ± 0,01* <sup>1+2</sup>	0,05 ± 0,01* <sup>1+2</sup>
Т-лимфоциты, экспрессирующие маркеры НК-клеток (Т-НК-клетки) (CD3 + CD56 + CD45+), %	2,02 ± 0,39	1,09 ± 0,03* <sup>1+2</sup>	0,76 ± 0,01* <sup>1+2</sup>
Индекс CD3 + CD4+ / CD3 + CD8+ (Т-хелперы/ЦТЛ)	2,23 ± 0,08	4,88 ± 0,23* <sup>1+2</sup>	5,04 ± 0,19* <sup>1+2</sup>
Истинные натуральные киллеры (НК-клетки) (CD3-CD56 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	0,55 ± 0,04	0,23 ± 0,05* <sup>1+2</sup>	0,25 ± 0,04* <sup>1+2</sup>
Истинные натуральные киллеры (НК-клетки) (CD3-CD56 + CD45+), %	7,44 ± 0,15	3,59 ± 0,46* <sup>1+2</sup>	3,81 ± 0,15* <sup>1+2</sup>
НК-клетки, экспрессирующие альфа-цепь антигена CD8 (CD3-CD8 + CD45+), 10 <sup>9</sup> /л	0,21 ± 0,02	0,13 ± 0,01* <sup>1+2</sup>	0,14 ± 0,02***
НК-клетки, экспрессирующие альфа-цепь антигена CD8 (CD3-CD8 + CD45+), %	2,84 ± 0,13	2,03 ± 0,06* <sup>1+2</sup>	2,13 ± 0,07* <sup>1+2</sup>
В-лимфоциты (CD19 + CD3-), 10 <sup>9</sup> /л	1,60 ± 0,06	1,92 ± 0,08* <sup>1+2</sup>	1,94 ± 0,05* <sup>1+2</sup>
В-лимфоциты (CD19 + CD3-), %	21,65 ± 0,32	30,05 ± 0,40* <sup>1*</sup>	29,57 ± 0,31* <sup>1+2</sup>

Примечание: \*<sup>1</sup> p < 0,05 по отношению к данным на 14-е сутки после опороса, \*<sup>2</sup> p < 0,05 по отношению к контрольной группе.

**Рис. 3.** Субпопуляция Т-лимфоцитов  
**Fig. 3.** Subpopulation of T lymphocytes



в основном Т-лимфоцитами, процентная доля которых составляла 73,68–76,31% (табл. 2). Количество В-лимфоцитов колебалось в интервале  $1,60 \pm 0,06 - 1,77 \pm 0,10 \cdot 10^9/\text{л}$  (21,65–22,72%). Субпопуляция Т-лимфоцитов как представителей адаптивной иммунной системы представлена на рисунке 3.

Таким образом, иммунный статус свиноматок в лактационный период до вакцинации поддерживался за счет функционирования лимфоцитов и их субпопуляций, обладающих специфическими свойствами и контролирующими состояние клеточного и гуморального иммунного ответа. Хотя Т-лимфоциты отвечают за синтез специфических цитокининов, а В-лимфоциты — за синтез иммуноглобулинов, выбор синтезируемых иммуноглобулинов и, соответственно, их уровень в крови сопряжены с секреторной активностью различных субпопуляций Т-лимфоцитов.

Динамические взаимодействия между В- и Т-клетками лежат в основе развития адаптивных гуморальных иммунных ответов — как в физиологических условиях, так и при вакцинации [30].

Уже было отмечено, что формирование поствакцинального иммунитета в организме свиноматок происходило на фоне прогрессирования беременности, что, соответственно, отражалось на общем количестве лимфоцитов в кровотоке и их клеточных субпопуляциях. Так, в крови свиноматок контрольной группы в середине супоросности (по сравнению с подсосным периодом) уменьшалось, хотя и недостоверно, абсолютное количество Т- и В-лимфоцитов на 11,84% и 14,12% соответственно. Однако их процентная доля в общем пуле лимфоцитов сохранялась (табл. 2), отражая способность организма животных как синтезировать антитела, так и реагировать на воздействие антигенов различной природы. В то же время наблюдалось снижение уровня и процентной доли Т-хелперов/индукторов (**CD3 + CD4 + CD45+**) на 34,27% и 22,78%.

Как известно, Т-хелперы состоят из клеточных субпопуляций, синтезирующих цитокинины с антагонистическими свойствами и за счет этого регулирующие соотношение реакций клеточного и гуморального иммунного ответа [31]. Нормальное развитие и функционирование плаценты возможны в условиях преобладающего синтеза цитокининов, активирующих В-лимфоциты. Поэтому уменьшение количества Т-хелперов на фоне прироста уровня Т-цитотоксических лимфоцитов (Т-ЦТЛ) (**CD3 +**

**CD8 + CD45+**), Т-лимфоцитов, экспрессирующих маркеры NK-клеток (Т-NK-клетки) (**CD3 + CD56 + CD45+**) и истинных натуральных киллеров (NK-клеток) (**CD3-CD56 + CD45+**) свидетельствует о нарушениях в формировании «гуморального иммунного ответа» в организме свиноматок, что, соответственно, отразится на нормальном развитии плодов.

Аналогичный лимфоцитарный профиль выявлялся у свиноматок контрольной группы и в конце беременности. Хотя процентная доля Т- и В-лимфоцитов в общем пуле клеток крови практически не отличалась от данных подсосных свиноматок, их абсолютное количество уменьшалось на 15,51% и 17,51% соответственно (табл. 2), создавая основу для убыли в кровотоке концентрации иммуноглобулинов (табл. 1). При этом уровень Т-хелперов/индукторов в иммунограмме крови свиноматок оставался на уровне 31,76%, а цитотоксических лимфоцитов и натуральных киллеров — возрастал (табл. 2).

Следовательно, формирование поствакцинального иммунитета к ЦВС-2 в организме свиноматок в ходе прогрессирования беременности определялось как иммунной толерантностью матери к плоду, так и активностью Т-хелперов, ориентированной на усиление цитотоксической активности лимфоцитов. Возможно, вирусные антигены, в том числе и плода, попадая в кровотоки свиноматок, стимулировали синтез цитотоксических лимфоцитов и NK-клеток [31], что отражалось как на эффективности поствакцинального иммунитета, так и на развитии плода.

Одной из причин повышения количества цитотоксических лимфоцитов в крови свиноматок может являться и то, что они обладают способностью защищать организм от инфекционных агентов, активируя процессы фагоцитоза [32]. При этом баланс субпопуляций Т-лимфоцитов, определяющий цитокиновый профиль организма, очень важен в формировании иммунного ответа и отличается пластичностью, соизмеримой с окружением клеток [33].

Условия вакцинации могут влиять на адаптивные иммунные реакции в организме супоросных свиноматок, определяя ее эффективность. Так, у животных опытной группы на фоне сочетания вакцинации с введением специфического иммунобиостимулятора направленного действия количество и процентная доля Т-лимфоцитов уменьшались (по сравнению с подсосным

периодом) на 19,50–23,76% и 9,30–11,82% соответственно (табл. 2). При этом уровень В-лимфоцитов, наоборот, возрастал на 20,00–21,25%, определяя секреторную активность клеток, а также прирост уровня иммуноглобулинов в крови свиноматок в поствакцинальный период.

Кроме этого, значимы были различия и в количественной выраженности субпопуляций Т-лимфоцитов — как по отношению к контрольной группе, так и к подсосному периоду (табл. 2). Хотя абсолютное количество Т-хелперов/индукторов (CD3 + CD4 + CD45+) в иммунограмме свиноматок в поствакцинальный период статистически значимо не изменялось, их процентная доля в общем пуле лимфоцитов кровотока возрастала (на 10,84–16,69%). Это происходило на фоне уменьшения количества Т-цитотоксических лимфоцитов (Т-ЦТЛ) (CD3 + CD8 + CD45+), Т-лимфоцитов, экспрессирующих маркеры NK-клеток (Т-NK-клетки) (CD3 + CD56 + CD45+) и истинных натуральных киллеров (NK-клеток) (CD3 – CD56 + CD45+) в 2,14–3,00 раза, свидетельствуя о приоритетности формирования клеточного иммунного ответа в организме животных. По данным [31], это обеспечивало возможность сохранения и «более физиологического» развития беременности.

К аналогичным выводам в своих исследованиях пришли [34]. Авторы отмечали, что в условиях переключения Th1-опосредованного клеточного ответа на Th2-опосредованный иммунный ответ создаются условия для нормального развития плода.

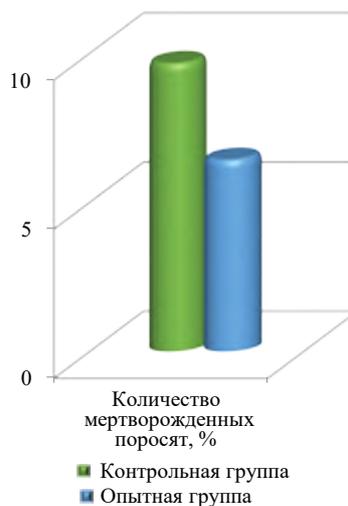
Таким образом, в опытной группе свиноматок прогрессирование беременности и формирование поствакцинального иммунитета протекали на фоне повышения процентной доли Т-хелперов, которые посредством синтеза специфических цитокининов активировали клеточно-опосредованные иммунные реакции [35], способствуя полноценному развитию плодов. Поэтому и снижался уровень цитотоксических лимфоцитов и естественных киллеров, способствуя функционированию фетоплацентарного комплекса.

Для проверки сделанных выводов сравнили свиноматок контрольной и опытной групп по выходу поросят с одного опороса и уровню мертворожденности в пометах. Данные параметры имеют наибольшее экономическое значение в промышленном свиноводстве, и, как было отмечено, при хронической циркуляции цирковирусной инфекции репродуктивные проблемы сопряжены именно с низкой оплодотворяемостью свиноматок и выживаемостью поросят в пометах [11, 13, 14, 36]. При этом основной причиной мертворожденности у свиноматок является трансплацентарное заражение плодов цирковирусом [12, 16]. Хотя регулярная вакцинация снижает количество репродуктивных потерь, но полностью не устраняет.

У свиноматок контрольной и опытной групп процент мертворожденности поросят в пометах составил, соответственно, 9,67% и 6,43% (рис. 4). Межгрупповые различия были равны 3,24%. Основываясь на том, что синдром мертворожденности в свиноводстве чаще всего связан с инфекциями, в том числе и ЦВС-2 [37], можно утверждать, что сочетание вакцинации против ЦВС-2 с

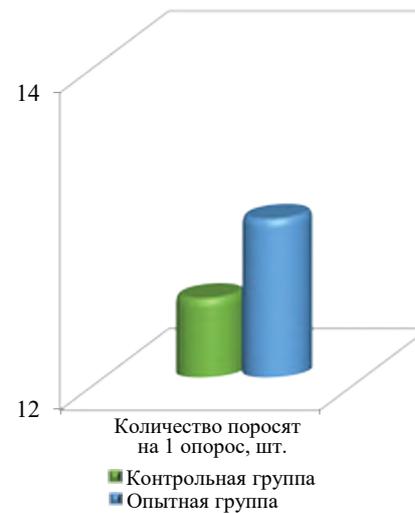
**Рис. 4.** Процентная доля мертворожденных поросят в пометах свиноматок опытной и контрольной групп

**Fig. 4.** Percentage of stillborn piglets in the litters of sows of the experimental and control groups



**Рис. 5.** Выход поросят на один опорос у свиноматок опытной и контрольной групп

**Fig. 5.** The output of piglets for 1 farrowing in sows of the experimental and control groups



введением «Трансфер Фактора» способствовало повышению эмбриональной выживаемости и жизнеспособности поросят.

Следующим важным экономическим показателем является размер помета. В условиях экспериментального свинокомплекса для получения товарного поголовья использовались генотипы свиноматок, обладающих потенциально высокой репродуктивной способностью. Поэтому в стандартных технологических условиях, несмотря на наличие мертворожденности, выход поросят на один опорос у свиноматок контрольной группы составил 12,5 голов (рис. 5).

В опытной группе животных при сочетании вакцинации с введением «Трансфер Фактора» снизились «инфекционное давление» и восприимчивость свиноматок к цирковирусу, что позволило повысить выход поросят на один опорос до 13,0 голов. Это дает основание утверждать: изменение «стратегии вакцинации» против ЦВС-2 повлияло на эпидемиологию инфекции, что отразилось на соответствующих экономических показателях.

#### Выводы/Conclusion

Исследования показали, что вакцинация свиноматок против ЦВС-2 влияет на иммунный статус животных в ходе репродуктивного цикла и количественную выраженность репродуктивных потерь.

Формирование поствакцинального иммунитета, протекающего на фоне осеменения животных, наступления и развития многоплодной беременности в стандартных технологических условиях свинокомплекса, сопровождается: увеличением в крови свиноматок общей концентрации иммуноглобулинов ( $\Sigma G + M + A$ ) в 1,25–1,59 раза в зависимости от срока супоросности за счет IgG и IgM; уменьшением абсолютного количества Т- и В-лимфоцитов на 11,84–15,51% и 14,12–17,51% при сохранении их процентной доли в общем пуле лимфоцитов; снижением уровня Т-хелперов на 34,27–36,47% на фоне прироста Т-цитотоксических лимфоцитов, Т-лимфоцитов, экспрессирующих маркеры NK-клеток и истинных натуральных киллеров на 4,47–66,67%, определяя выход поросят на один опорос в количестве 12,5 голов и мертворожденность на уровне 9,67%.

Коррекция иммунного статуса свиноматок путем сочетания вакцинации с введением специфического иммунобиостимулятора направленного действия определяет: прирост концентрации иммуноглобулинов в крови животных в поствакцинальный период на 24,93–71,56% за счет IgG; уменьшение количества Т-лимфоцитов на 19,50–23,76% на фоне увеличения В-лимфоцитов на

20,00–21,25%; сохранение абсолютного числа Т-хелперов в иммунограмме в условиях уменьшения количества Т-цитотоксических лимфоцитов, Т-лимфоцитов, экспрессирующих маркеры НК-клеток и истинных натуральных киллеров в 2,14–3,00 раза, способствуя снижению мертворожденности на 3,24% и повышению выхода поросят на один опорос до 13,0 голов.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы подготовлены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2021 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (соглашение от 25.03.2022 № 22-16-20007).

## FUNDING

The materials were prepared within the framework of the regional competition of the Russian Science Foundation in 2021 "Conducting foundation scientific research and search for scientific research by individual scientific groups" (Agreement of 25.03.2022 No. 22-16-20007).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрижак Т.А., Мартынюк И.Н., Сушко А.Б., Стрижак А.В., Старовойтова А.Н., Старовойтова Н.Н. Плановая репродукция стада свиней. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. Горки: БГСХА. 2022; 25(1): 47–53. <https://elibrary.ru/wyhaiv>
2. Hines E.A. *et al.* The impact of dietary supplementation of arginine during gestation in a commercial swine herd: II. Offspring performance. *Journal of Animal Science*. 2019; 97(9): 3626–3635. <https://doi.org/10.1093/jas/skz214>
3. Song H. *et al.* Effects of Dietary Monoglyceride and Diglyceride Supplementation on the Performance, Milk Composition, and Immune Status of Sows During Late Gestation and Lactation. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 714068. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.714068>
4. Liu Y. *et al.* Effects of dietary soluble or insoluble fiber intake in late gestation on litter performance, milk composition, immune function, and redox status of sows around parturition. *Journal of Animal Science*. 2020; 98(10): skaa303. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa303>
5. Бригадиров Ю.Н., Коцарев В.Н., Шапошников И.Т., Лобанов А.Э., Фалькова Ю.О. Некоторые показатели иммунобиохимического статуса свиноматок при воспалительных процессах в репродуктивных органах. *Российский ветеринарный журнал*. 2018; (1): 9–11. <https://elibrary.ru/ywcbco>
6. Бурков П.В., Щербиков П.Н., Дерkho М.А., Ребезов М.Б. Особенности формирования поствакцинального иммунитета против цирковирусной инфекции свиней и его коррекции. *Аграрная наука*. 2022; (10): 32–37. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-32-37>
7. Dvorak C.M., Lilla M.P., Baker S.R., Murtaugh M.P. Multiple routes of porcine circovirus type 2 transmission to piglets in the presence of maternal immunity. *Veterinary Microbiology*. 2013; 66(3–4): 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.06.011>
8. Burkov P.V. *et al.* Pathological features of the lungs and liver of piglets under conditions of constant vaccination of livestock against circovirus infection. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2023; 8(1): 4–11. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-4-11>
9. López-Lorenzo G. *et al.* Presence of Porcine Circovirus Type 2 in the Environment of Farm Facilities without Pigs in Long Term-Vaccinated Farrow-to-Wean Farms. *Animals*. 2022; 12(24): 3515. <https://doi.org/10.3390/ani12243515>
10. Mai J. *et al.* High Co-infection Status of Novel Porcine Parvovirus 7 With Porcine Circovirus 3 in Sows That Experienced Reproductive Failure. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 695553. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.695553>
11. Palinski R. *et al.* A Novel Porcine Circovirus Distantly Related to Known Circoviruses Is Associated with Porcine Dermatitis and Nephropathy Syndrome and Reproductive Failure. *Journal of Virology*. 2016; 91(1): e01879–16. <https://doi.org/10.1128/JVI.01879-16>
12. Oropeza-Moe M., Oropeza Delgado A.J., Framstad T. Porcine circovirus type 2 associated reproductive failure in a specific pathogen free (SPF) piglet producing herd in Norway: a case report. *Porcine Health Management*. 2017; 3: 25. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0072-3>
13. Tochetto C. *et al.* Investigation on porcine circovirus type 3 in serum of farrowing sows with stillbirths. *Microbial Pathogenesis*. 2020; 149: 104316. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104316>
14. Garcia-Morante B. *et al.* A novel subunit vaccine based on the viral protein 2 of porcine parvovirus: safety profile in bred pigs at different stages of the reproduction cycle and in offspring. *Heliyon*. 2019; 5(11): e02593. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02593>

## REFERENCES

1. Strizhak T.A., Martynyuk I.N., Sushko A.B., Strizhak A.V., Starovoitova A.N., Starovoitova N.N. Planned reproduction of a herd of pigs. *Actual problems of intensive development of animal husbandry*. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy. 2022; 25(1): 47–53 (In Russian). <https://elibrary.ru/wyhaiv>
2. Hines E.A. *et al.* The impact of dietary supplementation of arginine during gestation in a commercial swine herd: II. Offspring performance. *Journal of Animal Science*. 2019; 97(9): 3626–3635. <https://doi.org/10.1093/jas/skz214>
3. Song H. *et al.* Effects of Dietary Monoglyceride and Diglyceride Supplementation on the Performance, Milk Composition, and Immune Status of Sows During Late Gestation and Lactation. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 714068. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.714068>
4. Liu Y. *et al.* Effects of dietary soluble or insoluble fiber intake in late gestation on litter performance, milk composition, immune function, and redox status of sows around parturition. *Journal of Animal Science*. 2020; 98(10): skaa303. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa303>
5. Brigadirov Y.N., Kosarev V.N., Shaposhnikov I.T., Lobanov A.E., Falkova Yu.O. Some indicators of immunobiochemical status of sows in case of inflammatory processes in reproductive organs. *Russian Veterinary Journal*. 2018; (1): 9–11 (In Russian). <https://elibrary.ru/ywcbco>
6. Burkov P.V., Scherbakov P.N., Derkho M.A., Rebezov M.B. Aspects of the formation of post-vaccination immunity against porcine circovirus infection and its correction. *Agrarian science*. 2022; (10): 32–37 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-32-37>
7. Dvorak C.M., Lilla M.P., Baker S.R., Murtaugh M.P. Multiple routes of porcine circovirus type 2 transmission to piglets in the presence of maternal immunity. *Veterinary Microbiology*. 2013; 66(3–4): 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.06.011>
8. Burkov P.V. *et al.* Pathological features of the lungs and liver of piglets under conditions of constant vaccination of livestock against circovirus infection. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2023; 8(1): 4–11. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-4-11>
9. López-Lorenzo G. *et al.* Presence of Porcine Circovirus Type 2 in the Environment of Farm Facilities without Pigs in Long Term-Vaccinated Farrow-to-Wean Farms. *Animals*. 2022; 12(24): 3515. <https://doi.org/10.3390/ani12243515>
10. Mai J. *et al.* High Co-infection Status of Novel Porcine Parvovirus 7 With Porcine Circovirus 3 in Sows That Experienced Reproductive Failure. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 695553. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.695553>
11. Palinski R. *et al.* A Novel Porcine Circovirus Distantly Related to Known Circoviruses Is Associated with Porcine Dermatitis and Nephropathy Syndrome and Reproductive Failure. *Journal of Virology*. 2016; 91(1): e01879–16. <https://doi.org/10.1128/JVI.01879-16>
12. Oropeza-Moe M., Oropeza Delgado A.J., Framstad T. Porcine circovirus type 2 associated reproductive failure in a specific pathogen free (SPF) piglet producing herd in Norway: a case report. *Porcine Health Management*. 2017; 3: 25. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0072-3>
13. Tochetto C. *et al.* Investigation on porcine circovirus type 3 in serum of farrowing sows with stillbirths. *Microbial Pathogenesis*. 2020; 149: 104316. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104316>
14. Garcia-Morante B. *et al.* A novel subunit vaccine based on the viral protein 2 of porcine parvovirus: safety profile in bred pigs at different stages of the reproduction cycle and in offspring. *Heliyon*. 2019; 5(11): e02593. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02593>

15. Derkho M.A., Burkov P.V., Shcherbakov P.N., Rebezov M.B., Stepanova K.V., Ansori A.M. Contribution of some immunological and metabolic factors to formation of piglets' post-vaccination immunity. *Theory and practice of meat processing*. 2022; 7(3): 193–199. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-3-193-199>
16. Reif J. *et al.* Reproductive failure in an Austrian piglet-producing farm due to porcine circovirus genotype 2d. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2022; 70(2): 149–155. <https://doi.org/10.1556/004.2022.00010>
17. Ouyang K. *et al.* Evaluation of humoral immune status in porcine epidemic diarrhoea virus (PEDV) infected sows under field conditions. *Veterinary Research*. 2015; 46: 140. <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0285-x>
18. Czyżewska-Dors E., Wierzchosławski K., Pomorska-Mól M. Serum concentrations of immunoglobulins and cortisol around parturition in clinically healthy sows and sows with postpartum dysgalactia syndrome (PDS). *Journal of Veterinary Research*. 2022; 66(2): 245–250. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2022-0034>
19. Maciag S.S. *et al.* On the influence of the source of porcine colostrum in the development of early immune ontogeny in piglets. *Scientific Reports*. 2022; 12: 15630. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20082-1>
20. Бурков П.В., Дерkho М.А., Ребезов М.Б., Щербakov П.Н. Цирковирус как фактор, контролирующий эффективность беременности у свиноматок. *Аграрная наука*. 2023; (8): 27–35. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-27-35>
21. Peng X. *et al.* Live yeast supplementation during late gestation and lactation affects reproductive performance, colostrum and milk composition, blood biochemical and immunological parameters of sows. *Animal Nutrition*. 2020; 6(3): 288–292. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.03.001>
22. Salmon H., Berri M., Gerdt V., Meurens F. Humoral and cellular factors of maternal immunity in swine. *Developmental & Comparative Immunology*. 2009; 33(3): 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2008.07.007>
23. Супрун Е.Н. Динамика иммунного ответа. *Аллергология и иммунология в педиатрии*. 2014; (2): 35–40. <https://elibrary.ru/wxbocr>
24. Segura M., Martínez-Miró S., López M.J., Madrid J., Hernández F. Effect of Parity on Reproductive Performance and Composition of Sow Colostrum during First 24 h Postpartum. *Animals*. 2020; 10(10): 1853. <https://doi.org/10.3390/ani10101853>
25. Turula H., Wobus C.E. The Role of the Polymeric Immunoglobulin Receptor and Secretory Immunoglobulins during Mucosal Infection and Immunity. *Viruses*. 2018; 10(5): 237. <https://doi.org/10.3390/v10050237>
26. Pearce E.L., Poffenberger M.C., Chang C.-H., Jones R.G. Fueling Immunity: Insights into Metabolism and Lymphocyte Function. *Science*. 2013; 342(6155): 1242454. <https://doi.org/10.1126/science.1242454>
27. Kono M., Takagi Y., Kawauchi S., Wada A., Morikawa T., Funakoshi K. Non-activated T- and B-lymphocytes become morphologically distinguishable after detergent treatment. *Cytometry Part A*. 2013; 83A(4): 396–402. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.22262>
28. Del Zotto G. *et al.* Comprehensive Phenotyping of Peripheral Blood T-Lymphocytes in Healthy Mice. *Cytometry Part A*. 2021; 99(3): 243–250. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24246>
29. Кудрявцев И.В. *и др.* Фенотипическая характеристика цитотоксических Т-лимфоцитов: регуляторные и эффекторные молекулы. *Медицинская иммунология*. 2018; 20(2): 227–240. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-2018-2-227-240>
30. Tangye S.G., Brink R., Goodnow C.C., Phan T.G. SnapShot: Interactions between B-Cells and T-Cells. *Cell*. 2015; 162(4): 926–926.e1. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.07.055>
31. Соколов Д.И., Селютин А.В., Лесничия М.В., Аржанова О.Н., Сельков С.А. Субпопуляционный состав лимфоцитов периферической крови беременных женщин с гестозом. *Журнал акушерства и женских болезней*. 2007; 56(4): 17–23. <https://elibrary.ru/ijjurl>
32. Abu-Raya B., Michalski C., Sadarangani M., Lavoie P.M. Maternal Immunological Adaptation During Normal Pregnancy. *Frontiers in Immunology*. 2020; 11: 575197. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.575197>
33. Sujino T., Kanai T. Development, Competition and Plasticity of the T-lymph cells in inflammatory bowel disease. *Japanese Journal of Clinical Immunology*. 2012; 35(5): 399–411 (на япон. яз.). <https://doi.org/10.2177/jsci.35.399>
34. Grün V., Schmucker S., Schalk C., Flauger B., Stefanski V. Characterization of the adaptive immune response following immunization in pregnant sows (*Sus scrofa*) kept in two different housing systems. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(8): 3388–3397. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7531>
35. Schalk C., Pfaffinger B., Schmucker S., Weiler U., Stefanski V. Pregnancy-Associated Alterations of Peripheral Blood Immune Cell Numbers in Domestic Sows Are Modified by Social Rank. *Animals*. 2019; 9(3): 112. <https://doi.org/10.3390/ani9030112>
36. Sharma R., Saikumar G. Porcine parvovirus- and porcine circovirus 2-associated reproductive failure and neonatal mortality in crossbred Indian pigs. *Tropical Animal Health and Production*. 2010; 42(3): 515–522. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9454-0>
37. Eddicks M. *et al.* Examination on the Occurrence of Coinfections in Diagnostic Transmittals in Cases of Stillbirth, Mummification, Embryonic Death, and Infertility (SMEDI) Syndrome in Germany. *Microorganisms*. 2023; 11(7): 1675. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071675>
15. Derkho M.A., Burkov P.V., Shcherbakov P.N., Rebezov M.B., Stepanova K.V., Ansori A.M. Contribution of some immunological and metabolic factors to formation of piglets' post-vaccination immunity. *Theory and practice of meat processing*. 2022; 7(3): 193–199. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-3-193-199>
16. Reif J. *et al.* Reproductive failure in an Austrian piglet-producing farm due to porcine circovirus genotype 2d. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2022; 70(2): 149–155. <https://doi.org/10.1556/004.2022.00010>
17. Ouyang K. *et al.* Evaluation of humoral immune status in porcine epidemic diarrhoea virus (PEDV) infected sows under field conditions. *Veterinary Research*. 2015; 46: 140. <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0285-x>
18. Czyżewska-Dors E., Wierzchosławski K., Pomorska-Mól M. Serum concentrations of immunoglobulins and cortisol around parturition in clinically healthy sows and sows with postpartum dysgalactia syndrome (PDS). *Journal of Veterinary Research*. 2022; 66(2): 245–250. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2022-0034>
19. Maciag S.S. *et al.* On the influence of the source of porcine colostrum in the development of early immune ontogeny in piglets. *Scientific Reports*. 2022; 12: 15630. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20082-1>
20. Burkov P.V., Derkho M.A., Rebezov M.B., Scherbakov P.N. Circovirus as a factor controlling the effectiveness of pregnancy in sows. *Agrarian science*. 2023; (8): 27–35 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-27-35>
21. Peng X. *et al.* Live yeast supplementation during late gestation and lactation affects reproductive performance, colostrum and milk composition, blood biochemical and immunological parameters of sows. *Animal Nutrition*. 2020; 6(3): 288–292. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.03.001>
22. Salmon H., Berri M., Gerdt V., Meurens F. Humoral and cellular factors of maternal immunity in swine. *Developmental & Comparative Immunology*. 2009; 33(3): 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2008.07.007>
23. Супрун Е.Н. Dynamics of the immune response. *Allergology and Immunology in Pediatrics*. 2014; (2): 35–40 (In Russian). <https://elibrary.ru/wxbocr>
24. Segura M., Martínez-Miró S., López M.J., Madrid J., Hernández F. Effect of Parity on Reproductive Performance and Composition of Sow Colostrum during First 24 h Postpartum. *Animals*. 2020; 10(10): 1853. <https://doi.org/10.3390/ani10101853>
25. Turula H., Wobus C.E. The Role of the Polymeric Immunoglobulin Receptor and Secretory Immunoglobulins during Mucosal Infection and Immunity. *Viruses*. 2018; 10(5): 237. <https://doi.org/10.3390/v10050237>
26. Pearce E.L., Poffenberger M.C., Chang C.-H., Jones R.G. Fueling Immunity: Insights into Metabolism and Lymphocyte Function. *Science*. 2013; 342(6155): 1242454. <https://doi.org/10.1126/science.1242454>
27. Kono M., Takagi Y., Kawauchi S., Wada A., Morikawa T., Funakoshi K. Non-activated T- and B-lymphocytes become morphologically distinguishable after detergent treatment. *Cytometry Part A*. 2013; 83A(4): 396–402. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.22262>
28. Del Zotto G. *et al.* Comprehensive Phenotyping of Peripheral Blood T-Lymphocytes in Healthy Mice. *Cytometry Part A*. 2021; 99(3): 243–250. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24246>
29. Kudryatsev I.V. *et al.* Phenotypic characterisation of peripheral blood cytotoxic T-lymphocytes: regulatory and effector molecules. *Medical Immunology (Russia)*. 2018; 20(2): 227–240 (In Russian). <https://doi.org/10.15789/1563-0625-2018-2-227-240>
30. Tangye S.G., Brink R., Goodnow C.C., Phan T.G. SnapShot: Interactions between B-Cells and T-Cells. *Cell*. 2015; 162(4): 926–926.e1. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.07.055>
31. Sokolov D.I., Selyutin A.V., Lesnichija M.V., Arzhanova O.N., Selkov S.A. Subpopulation profile of peripheral blood lymphocytes in normal and preeclampsia pregnancy. *Journal of obstetrics and women's diseases*. 2007; 56(4): 17–23 (In Russian). <https://elibrary.ru/ijjurl>
32. Abu-Raya B., Michalski C., Sadarangani M., Lavoie P.M. Maternal Immunological Adaptation During Normal Pregnancy. *Frontiers in Immunology*. 2020; 11: 575197. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.575197>
33. Sujino T., Kanai T. Development, Competition and Plasticity of the T-lymph cells in inflammatory bowel disease. *Japanese Journal of Clinical Immunology*. 2012; 35(5): 399–411 (In Japanese). <https://doi.org/10.2177/jsci.35.399>
34. Grün V., Schmucker S., Schalk C., Flauger B., Stefanski V. Characterization of the adaptive immune response following immunization in pregnant sows (*Sus scrofa*) kept in two different housing systems. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(8): 3388–3397. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7531>
35. Schalk C., Pfaffinger B., Schmucker S., Weiler U., Stefanski V. Pregnancy-Associated Alterations of Peripheral Blood Immune Cell Numbers in Domestic Sows Are Modified by Social Rank. *Animals*. 2019; 9(3): 112. <https://doi.org/10.3390/ani9030112>
36. Sharma R., Saikumar G. Porcine parvovirus- and porcine circovirus 2-associated reproductive failure and neonatal mortality in crossbred Indian pigs. *Tropical Animal Health and Production*. 2010; 42(3): 515–522. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9454-0>
37. Eddicks M. *et al.* Examination on the Occurrence of Coinfections in Diagnostic Transmittals in Cases of Stillbirth, Mummification, Embryonic Death, and Infertility (SMEDI) Syndrome in Germany. *Microorganisms*. 2023; 11(7): 1675. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071675>

## ОБ АВТОРАХ

**Павел Валерьевич Бурков<sup>1</sup>**

кандидат ветеринарных наук, руководитель  
Научно-исследовательского центра биотехнологии  
репродукции животных  
burcovpavel@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7515-5670>

**Марина Аркадьевна Дерkho<sup>1</sup>**

доктор биологических наук, заведующая кафедрой  
естественно-научных дисциплин  
derkho2010@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

**Максим Борисович Ребезов<sup>2, 3</sup>**

- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник<sup>2</sup>;
- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов<sup>3</sup>

rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

**Павел Николаевич Щербakov<sup>1</sup>**

доктор ветеринарных наук, профессор кафедры инфекционных  
болезней и ветеринарно-санитарной экспертизы  
scherbakov\_pavel@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8685-4645>

**Арина Олеговна Дерkho<sup>1</sup>**

студент  
arina\_avrora@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1914-8721>

**Ксения Вадимовна Степанова<sup>1</sup>**

кандидат биологических наук, доцент кафедры инфекционных  
болезней и ветеринарно-санитарной экспертизы  
deratizator@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3916-004X>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет,  
ул. им. Ю.А. Гагарина, 13, Троицк, Челябинская обл., 457100,  
Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр пищевых систем  
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,  
ул. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет,  
ул. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Pavel Valerievich Burkov<sup>1</sup>**

Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Research Center  
for Animal Reproduction Biotechnology  
burcovpavel@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7515-5670>

**Marina Arkadyevna Derkho<sup>1</sup>**

Doctor of Biological Sciences, Head of the Department  
of Natural Sciences  
derkho2010@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

**Maksim Borisovich Rebezov<sup>2, 3</sup>**

- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher<sup>2</sup>;
- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products<sup>3</sup>

rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

**Pavel Nikolaevich Shcherbakov<sup>1</sup>**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of  
Infectious Diseases and Veterinary and Sanitary Expertise  
scherbakov\_pavel@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8685-4645>

**Arina Olegovna Derkho<sup>1</sup>**

Student  
arina\_avrora@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1914-8721>

**Ksenia Vadimovna Stepanova<sup>1</sup>**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor  
of the Department of Infectious Diseases and Veterinary  
and Sanitary Expertise  
deratizator@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3916-004X>

<sup>1</sup>South Ural State Agrarian University,  
13 Gagarin Str., Troitsk, Chelyabinsk region, 457100, Russia

<sup>2</sup>V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems  
of the Russian Academy of Sciences,  
26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

<sup>3</sup>Ural State Agrarian University,  
42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia