

Микроскопические особенности компонентов опорно-двигательной системы у поросят при цирковиральной инфекции второго типа

П. В. Бурков¹, М. Б. Ребезов^{2,3✉}, М. А. Дерхо¹, П. Н. Щербаков¹, А. О. Дерхо¹

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

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

³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: rebezov@yandex.ru

Аннотация. Целью исследований было изучение гистопатологических изменений в сухожилиях, костно-сухожильных сочленениях и позвонках свиней при клинически выраженной форме цирковиральной инфекции. **Методы и методология.** Для гистопатологических исследований использованы образцы тканей опорно-двигательного аппарата. Они получены от свиней, подвергнутых эвтаназии с диагностической целью. Образцы тканей зафиксированы в 10 % нейтральном забуференном формалине, стандартно обработаны и залиты в парафиновый воск. Из образцов тканей изготовлены срезы толщиной 5 мкм на санном микротоме MC-2 (Россия), окрашены гематоксилином и эозином, исследованы при помощи микроскопа Leica DMRXA. Фотографии гистосрезов получены при помощи камеры Leica DFC 290. **Результаты.** Микроскопические исследования компонентов опорно-двигательного аппарата свиней показывают, что в сухожилиях, костно-сухожильных сочленениях и позвонках формируются патологические изменения, сопряженные с циркуляцией в их организме вируса ЦВС 2. Гистологическая картина исследованных образцов характеризуется наличием дегенеративно-дистрофических изменений. Они осложнены тендиномом за счет дегенеративных изменений сухожилий и вторичным тендинитом травматического генеза, о чем свидетельствуют мелкие кровоизлияния в перитендинии и поля макрофагальной инфильтрации сухожильных волокон. Изменения в тканях опорно-двигательного аппарата развиваются в результате отсутствия у свиней адекватного иммунного ответа на вакцинацию против ЦВС 2 и могут рассматриваться как одно из проявлений инфекции ЦВС 2 у свиней. **Научная новизна.** Впервые показано, что в патологический процесс при цирковиральной инфекции вовлекаются компоненты опорно-двигательного аппарата свиней (сухожилия, костно-сухожильные сочленения, позвонки), в которых дегенеративно-дистрофические изменения протекают по типу остеохондроза.

Ключевые слова: цирковиральная инфекция, поросята, гистопатология, сухожилия, костно-сухожильные сочленения, позвонки

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации научного проекта РНФ (соглашение № 22-16-20007 от 25.03.2022 г.).

Для цитирования: Бурков П. В., Ребезов М. Б., Дерхо М. А., Щербаков П. Н., Дерхо А. О. Микроскопические особенности компонентов опорно-двигательной системы у поросят при цирковиральной инфекции второго типа // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 07. С. 1060–1073. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-07-1060-1073>.

Дата поступления статьи: 21.05.2025, **дата рецензирования:** 05.06.2025, **дата принятия:** 11.06.2025.

Microscopic features of the components of the musculoskeletal system in piglets with type 2 circovirus infection

P. V. Burkov¹, M. B. Rebezov^{2,3}✉, M. A. Derkho¹, P. N. Shcherbakov¹, A. O. Derkho¹

¹ South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

² V. M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: rebezov@yandex.ru

Annotation. The purpose of the research was to study histopathological changes in tendons, bone-tendon joints and vertebrae of pigs with a clinically pronounced form of circovirus infection. **Methods and methodology.** Tissue samples of the musculoskeletal system were used for histopathological studies. They are obtained from pigs euthanized for diagnostic purposes. The tissue samples were fixed in 10 % neutral buffered formalin, treated as standard and embedded in paraffin wax. Sections with a thickness of 5 microns were made from tissue samples on a MS-2 sledge microtome (Russia), stained with hematoxylin and eosin, and examined using a Leica DMRXA microscope. The photos of the histological sections were obtained using a Leica DFC 290 camera. **Results.** Microscopic studies of the components of the musculoskeletal system of pigs show that pathological changes form in the tendons, bone-tendon joints and vertebrae associated with the circulation of the CVV2 virus in their body. The histological picture of the studied samples is characterized by the presence of degenerative and dystrophic changes. They are complicated by tendinosis due to degenerative changes in tendons and secondary tendonitis of traumatic origin, as evidenced by small hemorrhages in the peritendiniae and fields of macrophage infiltration of tendon fibers. Changes in the tissues of the musculoskeletal system develop as a result of the absence of an adequate immune response in pigs to vaccination against CVS 2 and can be considered as one of the manifestations of CVS 2 infection in pigs. **Scientific novelty.** For the first time, it has been shown that the pathological process of circovirus infection involves components of the musculoskeletal system of pigs (tendons, bone-tendon joints, vertebrae), in which degenerative-dystrophic changes occur according to the type of osteochondrosis.

Keywords: circovirus infection, piglets, histopathology, tendons, bone-tendon joints, vertebrae

Acknowledgements. The publication was prepared as part of the implementation of the scientific project of the Russian Science Foundation (Agreement No. 22-16-20007 dated 03/25/2022).

For citation: Burkov P. V., Rebezov M. B., Derkho M. A., Shcherbakov P. N., Derkho A. O. Microscopic features of the components of the musculoskeletal system in piglets with type 2 circovirus infection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (07): 1060–1073. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-07-1060-1073>. (In Russ.)

Date of paper submitted: 21.05.2025, **date of review:** 05.06.2025, **date of acceptance:** 11.06.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Цирковирусная инфекция второго типа инициирует развитие синдрома мультисистемного истощения в организме поросят после отъема [1–4]. Клинически он проявляется в виде комплекса патологических изменений в органах и тканях, среди которых причинно-следственная связь доказана для синдрома дерматита и нефропатии, пролиферативной и некротизирующей пневмонии, перинатального миокардита, врожденного тремора [5; 6]. Вирус ЦВС 2 для своей репликации в качестве целевых клеток использует в основном линию моноцитов/макрофагов и антигенпрезентирующих клеток, а также в меньшей степени эпителиальные клет-

ки (клетки почечных канальцев, бронхиальные и бронхиоллярные клетки, эндотелиальные клетки, гепатоциты и лимфоциты) [7–9].

В настоящее время ЦВС 2 рассматривается в качестве экономически значимого патогена в свиноводстве, присутствие которого в организме свиней сопровождается разнообразным спектром поражений в различных органах и тканях [8; 10]. У животных диагностируют различные клинические симптомы и патологические состояния, сопряженные с респираторными, желудочно-кишечными, репродуктивными и неврологическими заболеваниями [11]. При этом цирковирус обнаруживается в биоматериале свиней, не имеющих специфических

симптомов инфекции [5; 12; 13]. Это актуализирует исследования, ориентированные на оценку клинических и патологических изменений в организме животных при цирковирусной инфекции.

В работе [11] отмечено, что макроскопические изменения во внутренних органах поросят (сердце, почках, мозге, яичках, миндалинах) при цирковирусной инфекции не являются ярко выраженными. При этом в некоторых образцах печени, селезенки, легких, лимфоузлов брыжейки, ворот печени, подчелюстных и паховых выявляют наличие гиперемии, следов кровоизлияний и некроза, увеличение органов в размере.

Наиболее специфичны во внутренних органах поросят изменения на микроскопическом уровне [14]. По данным [11; 15–19], при анализе гистосрезов сердца наблюдали отечность кардиомиоцитов, которые в некоторых участках препаратов были некротизированы (фиброз миокарда), сердечная мышца была инфильтрована воспалительными клетками; печени – дегенерацию гепатоцитов, гиперемию и инфильтрацию воспалительными клетками; селезенки – отечность и расширенность трабекул, в белой пульпе признаки кровотечения, некроза лимфоцитов и снижения их количества; почек – легкий некроз эпителиальных клеток канальцев и гиперемию; легких – ателектаз, утолщение и инфильтрацию воспалительными клетками альвеолярной стенки, в некоторых областях органа – гиперемию и консолидацию; мозга – отек нервных клеток; яичках – некроз сперматогенного эпителия, интерстициальный отек и инфильтрацию воспалительных клеток; тонком кишечнике – подслизистый отек.

Гистопатологические изменения выявляются и в сосудистой системе животных, что обусловлено присутствием антигенов ЦВС 2 в эндотелиальных и воспалительных клетках стенок артерий, как результат облитерации кровеносных сосудов в областях гранулематозного и некротического лимфаденита. При вирусемии диагностируют признаки тяжелого диффузного сегментарного или циркулярного лимфогистиоцитарного и плазмоцитарного периаа-териита и эндартериита [20; 21].

Согласно данным [22; 23], у свиней с типичными клиническими признаками цирковирусной инфекции наибольшие изменения наблюдаются в лимфоидных органах, проявляющиеся как макроскопически, так и микроскопически. Например, в гистологической картине лимфоузлов (паховых, подвздошных, подчелюстных, шейных) выявляются пролиферативные процессы, включая гиперплазию клеток, особенно в кортикальном слое, увеличение размеров и числа вторичных лимфоидных фолликулов, рост пролиферативной активности лимфобластов, а также наличие лимфоцитов с пикнотическим ядром. В исследованиях [10; 24] отмечается, что гистологические изменения в органах поросят с синдромом мультисистемного истощения

являются результатом истощения лимфоидной ткани (лимфоцитов в фолликулярных и перифолликулярных областях лимфатических узлов), лимфогистиоцитарного или гранулематозного воспаления. В этих условиях происходит инфильтрация макрофагами, определяя увеличение их количества.

Имеются данные, что скелетные мышцы и костный мозг свиней при экспериментальном заражении содержат антиген цирковируса [25]. ЦВС 2, локализующийся преимущественно в мышцах задних и грудных конечностей, вызывает их некроз с микроскопическими признаками гранулематозного некротизирующего миозита [21]. В то же время исследования, в которых охарактеризованы изменения в компонентах опорно-двигательного аппарата свиней при цирковирусной инфекции, малочисленны, что и актуализирует тему данной работы.

Цель исследования предусматривала изучение гистопатологических изменений в образцах тканей опорно-двигательного аппарата свиней, цирковирусная инфекция у которых протекала с характерными клиническими признаками.

Методология и методы исследования (Methods)

Этическое заявление

Дизайн исследовательской части работы согласован и одобрен комитетом по биоэтике Южно-Уральского государственного аграрного университета (Челябинская область); согласован с ветеринарной службой ООО «Агрофирма Ариант» (Челябинская область). Образцы тканей поросят отбирались в рамках диагностического исследования в присутствии ветеринарных специалистов предприятия в условиях специализированного помещения, предназначенного для вскрытия трупов животных.

Дизайн исследования, животные

Экспериментальная часть работы выполнена на одном из свинокомплексов агрофирмы, технологический процесс которого ориентирован на получение продукции за счет выращивания товарного молодняка ($n = 4200...4500$ голов). Клинико-диагностическая работа выполнялась в период дорастивания поросят.

В условиях свинокомплекса в качестве меры профилактики цирковирусных заболеваний проводится плановая первичная вакцинация поросят при их отъеме от матерей. Для этих целей используется вакцина, действующим агентом которой является протективный антиген ORF2 PCV2.

Поросята в послеотъемный период выращиваются в условиях клеточного содержания. Каждая клетка оборудована автоматическими поилками и кормушками, доступ к которым для животных свободный. При организации кормления поросят на предприятии руководствуются рекомендациями Genesis, согласно которым формируются питательная ценность комбикормов и программа кормления.

В ходе клинико-диагностической работы, ежедневно проводимой в цехе дорастивания ветеринарными специалистами свиного комплекса, контролировался клинический статус поросят методом наблюдения. Данная работа была ориентирована на выявление специфических клинических признаков цирковирусной инфекции. Животных с характерной клиникой переводили в санитарный блок, брали у них кровь и исследовали методом ПЦР-РВ для подтверждения диагноза. Поросят, имеющих положительный лабораторный результат, с диагностической целью подвергали эвтаназии с соблюдением принципов гуманности, а затем производили забор образцов тканей опорно-двигательной системы для проведения микроскопических исследований.

Материал и протокол гистологических исследований

В качестве материала для гистопатологических исследований отбирали кусочки костной и хрящевой тканей, а также связок.

Кусочки тканей, размер которых составлял 1 см³, подвергали 24-часовой фиксации в 10-процентном растворе формалина. Далее их промывали проточной водой в течение 1 часа и заливали в парафин по следующей схеме:

- 1) последовательное обезживание образцов в 70-, 80- и 96-процентном спирте по 4 часа в каждом;
- 2) пересушивание в смеси спирта и хлороформа (1 : 1) 1 час, далее в хлороформе 2 часа;
- 3) нагревание в смеси хлороформа и парафина 1 час при температуре 37 °С;
- 4) пропитывание двумя порциями парафина при 56 °С по 45 минут и изготовление блоков. Кусочки костей перед заливкой в парафин подвергали декальцификации в 5-процентном растворе азотной кислоты.

Подготовленные образцы тканей использовали для получения гистологических срезов на санном микротоме МС-2 (Россия). Их толщина составляла 5 мкм.

Перед окраской срезы депарафинировали. Для этой цели их 2 минуты выдерживали в ксилоле. Его остатки со срезов удаляли при помощи 96-процентного этилового спирта (выдержка 2 минуты), а затем промывали дистиллированной водой.

Окраска гистосрезов проводилась гематоксилином и эозином по следующей схеме. Сначала на срез наносили каплю гематоксилина (выдержка 2–3 минуты). После промывки дистиллированной водой в течение 5–10 минут использовали каплю эозина (выдержка 1 минута) и вновь промывали дистиллятом. Далее гистосрезы обезживали в двух порциях 96-процентного спирта (выдержка по 1 минуте в каждой). Окончательное обезживание гистопрепаратов проводилось в 100-процентном спирте в течение 1 минуты. После этого окрашенные и обезвоженные срезы выдерживали 2 минуты в ксилоле для просветления. На заключительном

этапе окрашенный препарат помещался в бальзам и покрывался покровным стеклом.

Гистопатологические характеристики срезов выявляли, используя оптический автоматизированный микроскоп Leica DMRXA и различное увеличение. Фотографии гистосрезов получали при помощи камеры Leica DFC 290.

Результаты (Results)

По данным [2; 17], гистопатологические изменения в клетках внутренних органов свиней являются результатом подавления антигенами ЦВС 2 иммунитета хозяина.

При вскрытии поросят с клиническими признаками цирковирусной инфекции было выявлено генерализованное увеличение лимфатических узлов. При этом было отмечено увеличение размера легких и печени и наличие в них признаков воспаления как результат нарушения кровообращения, повреждения лимфоидной ткани, развития дистрофических и некротических изменений [1; 12]. Кроме этого, были выявлены повреждения костной, хрящевой тканей и связочного аппарата в виде переломов позвоночника, отрывов сухожилий от мест прикрепления к кости. Например, при осмотре вырезанного позвоночного столба были обнаружены выбухание пульпозного ядра межпозвоночного хряща и сами переломы, которые локализовались в области головки позвонка.

Ввиду доказанного многочисленными исследованиями поражений жизненно важных органов [19; 26; 27] нами было сделано предположение о влиянии хронического протекания цирковирусной инфекции на состояние тканей опорно-двигательной системы.

Микроскопические исследования гистопрепаратов сухожилий

В организме поросят, как и других животных, сухожилия играют важную роль, обеспечивая прикрепление мышц к костям и, как следствие, возможность движения в пространстве [28].

При этом сухожилия являются компонентом скелетной мышцы, характеризуются высокой прочностью, обусловленной присутствием в их составе коллагеновых волокон [29].

В работе [21] отмечено, что при цирковирусной инфекции выявлялись поражения скелетных мышц, что, соответственно, отражается и на состоянии сухожилий, которые являются их частью. Так, во всех гистопрепаратах сухожилий выявлялось наличие фрагментов плотной соединительной ткани. Внеклеточный матрикс был представлен параллельно лежащими пучками малоизвитых коллагеновых волокон, пространства между которыми (эндотендинии) заполнены тонкими прослойками рыхлой соединительной ткани (рис. 1, А, Б). В этих прослойках лежат собственные клетки сухожилия, имеющие отростчатую форму, базофильные ядра и узкий ободок цитоплазмы.

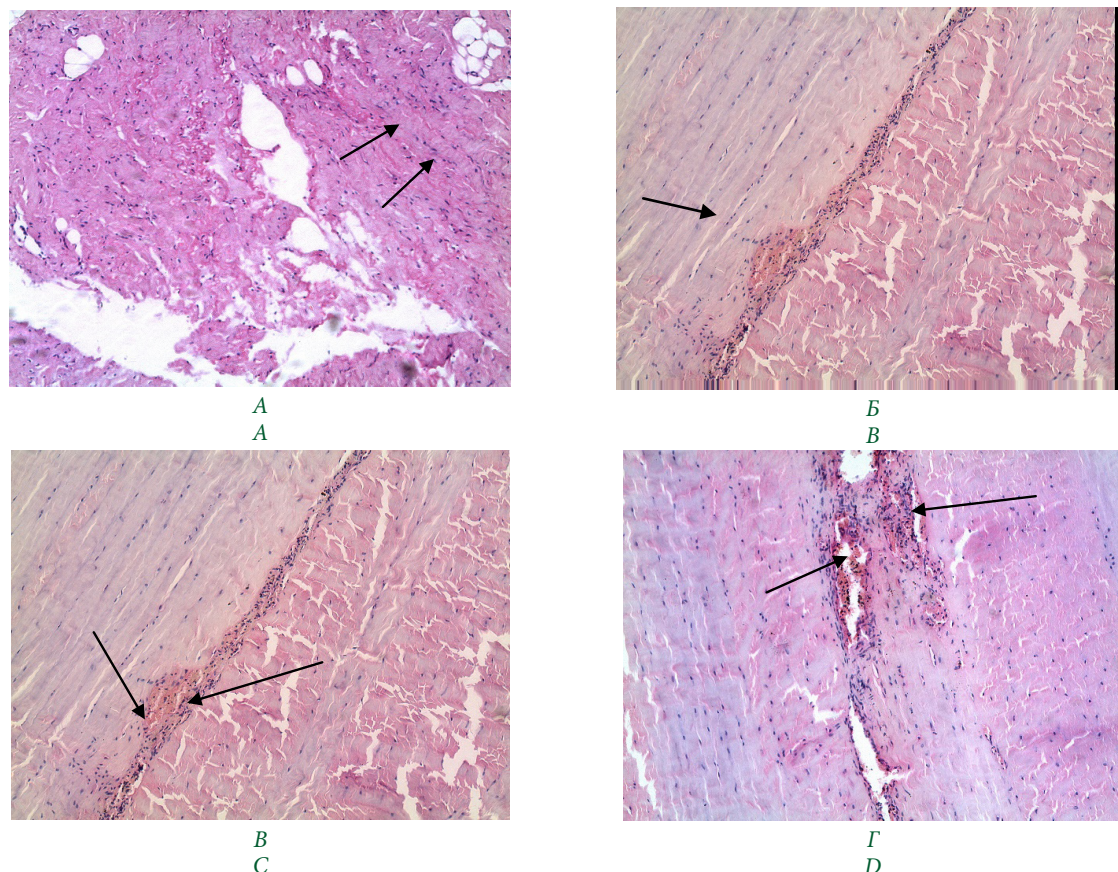


Рис. 1. Гистологическая картина в сухожилиях:

А – параллельно лежащие сухожильные пучки, состоящие из компактно упакованных малоизвитых коллагеновых волокон (стрелки) разделены прослойками эндотендиния (пунктирные стрелки), ув. $\times 100$; Б – фрагмент жировой ткани (стрелка), формирующей эпитедендий, ув. $\times 100$; В, Г – очаговое инфильтрирующее кровоизлияние (стрелки) в рыхлой соединительной ткани перитендиния, ув. $\times 100$. Окраска гематоксилином и эозином

Fig 1. Histological picture in tendons:

A – parallel tendon bundles consisting of compactly packed poorly developed collagen fibers (arrows) separated by layers of endotendinium (dotted arrows), magnification $\times 100$; B – fragment of fatty tissue (arrow) forming epitendinium, magnification $\times 100$; C, D – focal infiltrating hemorrhage (arrows) in the loose connective tissue of peritendinium, magnification $\times 100$.

Coloring by hematoxylin and eosin

Группы сухожильных пучков окружены более толстыми прослойками рыхлой соединительной ткани (перитендиний) с заключенными в них кровеносными сосудами (рис. 1, В, Г).

В нескольких препаратах в этих прослойках рыхлой соединительной ткани определяются очаговые инфильтрирующие кровоизлияния, не выходящие за пределы ткани перитендиния и состоящие из компактных масс частично гемолизированных эритроцитов с группировками клеток белой крови на их фоне (рис. 2, А).

На границе перитендиния и плотной оформленной соединительной ткани сухожилия виден формирующийся рыхлый клеточный вал (по типу перифокального). В клеточном составе преобладают нейтрофильные лейкоциты и лимфоциты (рис. 2, Б).

В плотной соединительной ткани сухожилия встречаются поля рыхлой инфильтрации макрофагами с центрально расположенными ядрами. Цитоплазма их заполнена вакуолями разного калибра (рис. 2, В, Г).

Микроскопические исследования гистопрепаратов костно-сухожильных соединений

Костно-сухожильное соединение представляет собой зону прикрепления сухожилия к кости. Под ним подразумевают место, в котором соединительнотканый компонент скелетных мышц – сухожилие (мягкий биоматериал) прикрепляется к твердому и жесткому биоматериалу кости. Оно предназначено для снижения поверхностного напряжения, обусловленного различиями в жесткости сухожилий и кости, представляет собой переходную ткань, называемую энтезисом. Она способна изменять свою структуру, состав и механические свойства [30].

При микроскопическом исследовании гистопрепаратов было выявлено, что в некоторых образцах исследуемой ткани присутствуют фрагменты костно-сухожильных соединений. Костная ткань представлена тонкими хаотично расположенными trabeculaми (рис. 3, А–Г), формирующими структуры ячеистого вида, характерные для губчатой костной ткани.

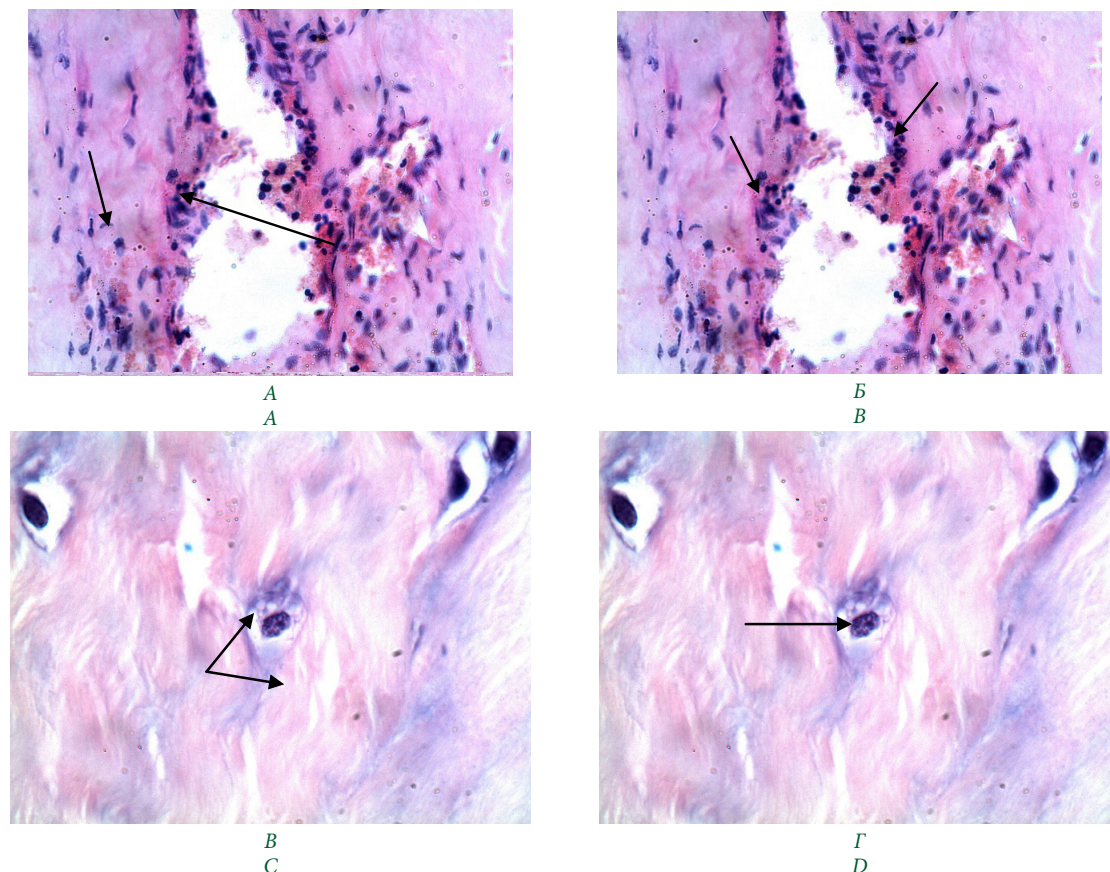


Рис. 2. Микроскопические повреждения сухожилий поросят:

А – группировки клеток белой крови (стрелки) на фоне компактных масс частично гемолизированных эритроцитов, ув. x400; Б – формирующийся нейтрофильно-лимфоцитарный демаркационный вал, ув. x400; В – макрофаги (стрелки) с вакуолизированной цитоплазмой в плотной оформленной соединительной ткани сухожилия, ув. x400; Г – там же, макрофаг (стрелка) с одной крупной и более мелкими вакуолями в цитоплазме, ув. x1000. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 2. Microscopic damage to piglet tendons:

A – groupings of white blood cells (arrows) against the background of compact masses of partially hemolyzed erythrocytes, magnification x400; B – forming neutrophilic lymphocytic demarcation shaft, magnification x400; C – macrophages (arrows) with vacuolized cytoplasm in the dense connective tissue of the tendon, magnification x400; D – in the same place, a macrophage (arrow) with one large and smaller vacuoles in the cytoplasm, magnification x1000.

Coloring by hematoxylin and eosin

Основное вещество трабекул с неравномерным восприятием основных красителей: зоны интенсивного окрашивания окружены более светлыми участками (рис. 3, Б, Г). Клеточный компонент представлен большим количеством округлых остеообластов с центрально расположенными гиперхромными ядрами (рис. 3, Б, Г).

В области контакта фрагментов плотной соединительной ткани сухожилий с костными трабекулами внеклеточный матрикс становится более однородным, соединительнотканые волокна располагаются хаотично, количество фибробластов значительно возрастает (рис. 3, А, В).

За счет этого каждая костная трабекула оказывается окруженной большим количеством фибробластов, интенсивно продуцирующих коллагеновые волокна (рис. 2, Б, Г).

Микроскопические исследования гистопрепаратов позвонков

В организме поросят позвонки представляют собой короткие, непарные и симметричные кости,

участвующие в формировании позвоночного столба. Позвонки в зависимости от отдела компенсируют силу тяжести животного в определенной части тела [31].

Гистосрезы костной ткани были получены после ее декальцинации в муравьиной кислоте. Костная ткань представлена хаотично расположенными костными трабекулами, формирующими губчатую кость. Ячейки губчатого вещества заполнены миелоидной тканью красного костного мозга (рис. 4, А). Переходная зона между костной тканью позвонка и волокнистым хрящем межпозвоночного диска представлена тонкой прослойкой гиалинового хряща (рис. 4, Б; 5, А).

В некоторых препаратах среди губчатой кости позвонков видны островки гиалинового хряща (рис. 5, Б, В, Г). Здесь в пограничных зонах видно формирование трабекул губчатой кости и ее ячеек, заполненных миелоидной тканью красного костного мозга (рис. 5, Г).

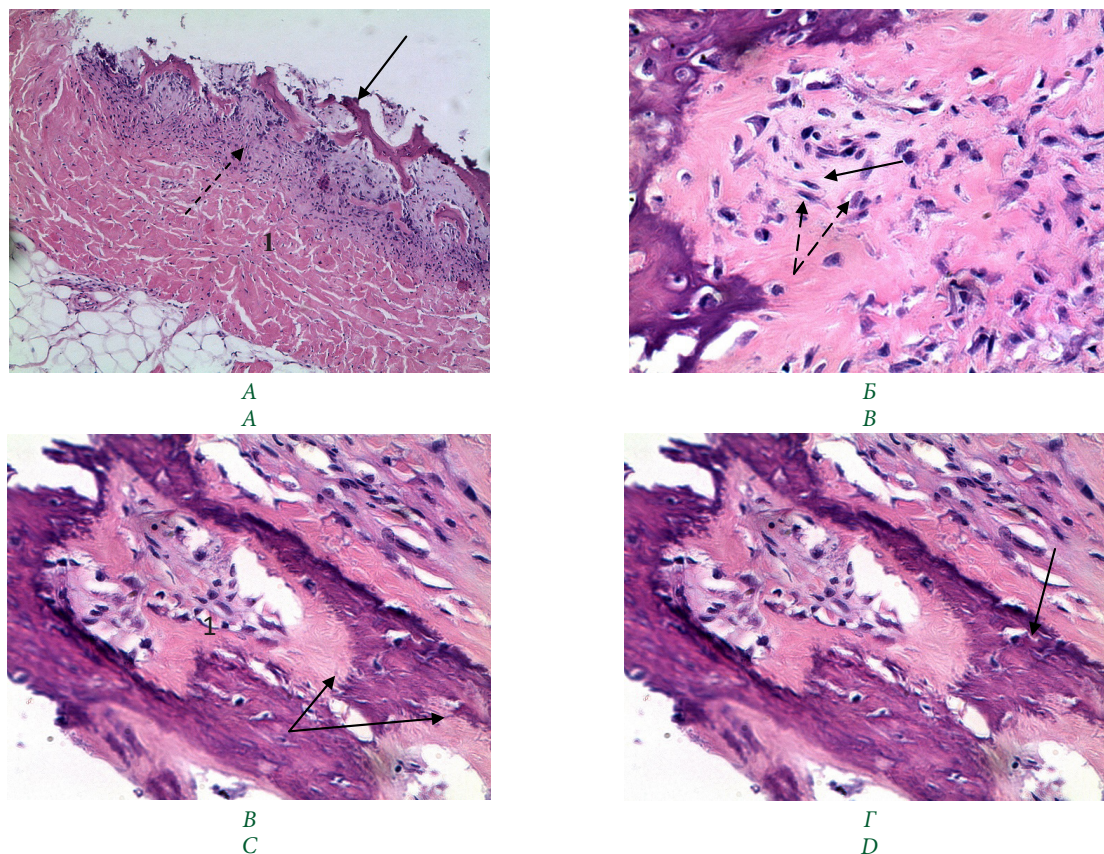


Рис. 3. Гистологическая картина в костно-сухожильных соединениях:

А – тонкие трабекулы (сплошная стрелка), формирующие губчатую кость, «вмурованы» в пласт активно пролиферирующей соединительной ткани (пунктирная стрелка), ув. x50; Б – юные фибробласты (пунктирные стрелки) синтезируют новые коллагеновые волокна и аморфное вещество, слабо воспринимающее красители (сплошная стрелка), ув. x400; В – пучки юных фибробластов и толстые коллагеновые волокна (стрелки) оплетают костную трабекулу, ув. x400; Г – костная трабекула (стрелка) с неоднородным восприятием гистологических красителей и большим количеством остеобластов, ув. x400. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 3. Histological picture in bone-tendon junctions:

A – thin trabeculae (solid arrow) forming spongy bone are “embedded” in a layer of actively proliferating connective tissue (dotted arrow), magnification x50; B – young fibroblasts (dotted arrows) synthesize new collagen fibers and amorphous substance, weakly perceiving dyes (solid arrow), magnification x400; C – bundles of young fibroblasts and thick collagen fibers (arrows) braid the bone trabecula, magnification x400; D – bone trabecula (arrow) with a heterogeneous perception of histological dyes and a large number of osteoblasts, magnification x400. Coloring by hematoxylin and eosin

Среди гистопрепаратов позвонков были выявлены срезы, в которых не определялась характерная микроскопическая картина костной ткани. Для них было характерно наличие двух листов плотной соединительной ткани, между которыми заключен фрагмент гиалинового хряща, инфильтрированный частично гемолизированными эритроцитами и клетками лимфоидного ряда (рис. 6, А, Б, В).

В окружающей соединительной ткани расположен плотный нейтрофильно-лимфоцитарный инфильтрат. Микроскопические особенности соответствуют картине остеохондроза. Это позволяет констатировать, что при цирковиральной инфекции в позвоночниках поросят развиваются изменения, ориентированные на дегенерацию межпозвоночных дисков.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В настоящее время доказано, что ЦВС 2 вызывает ряд серьезных заболеваний и синдромов у

свиней в условиях промышленных и фермерских предприятий, так как представляет угрозу для их здоровья и экономической эффективности производства [8; 11; 19].

Цирковиральная инфекция сопровождается формированием множественных клинических синдромов, что позволяет рассматривать ее как заболевание, ассоциированное с цирковирусом свиней [32]. Характерными клиническими признаками являются прогрессирующая потеря массы тела, диарея, респираторный дистресс, поражения кожи и лимфаденопатия как результат иммуносупрессивного действия вируса на органы иммуногенеза [1; 12]. Согласно исследованиям [20; 32], при поражении организма свиней вирусом ЦВС 2 развиваются патологические процессы в почках, тонком и толстом кишечнике, желудке, печени, легких, центральной нервной системе, сердце.

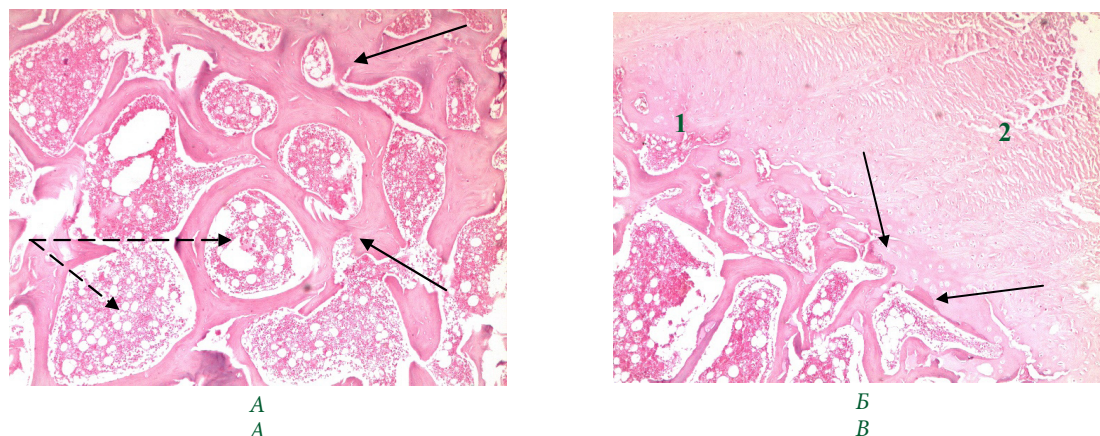


Рис. 4. Гистологическая картина в позвонках:

А – тонкие трабекулы (сплошные стрелки), формируют губчатую кость; миелоидная ткань красного костного мозга (пунктирные стрелки) в ячейках губчатой кости, ув. x50; Б – на границе между губчатой костью позвонка (1) и волокнистым хрящом межпозвонкового диска (2) видна тонкая прослойка гиалинового хряща (стрелки), ув. x100.

Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 4. Histological picture in the vertebrae: A – thin trabeculae (solid arrows), forming a spongy bone; red bone marrow myeloid tissue (dotted arrows) in the cells of the spongy bone, uv.x 50; B – on the border between the spongy bone of the vertebra (1) and the fibrous cartilage of the intervertebral disc (2), a thin layer of hyaline cartilage is visible (arrows), magnification X 100. Coloring by hematoxylin and eosin

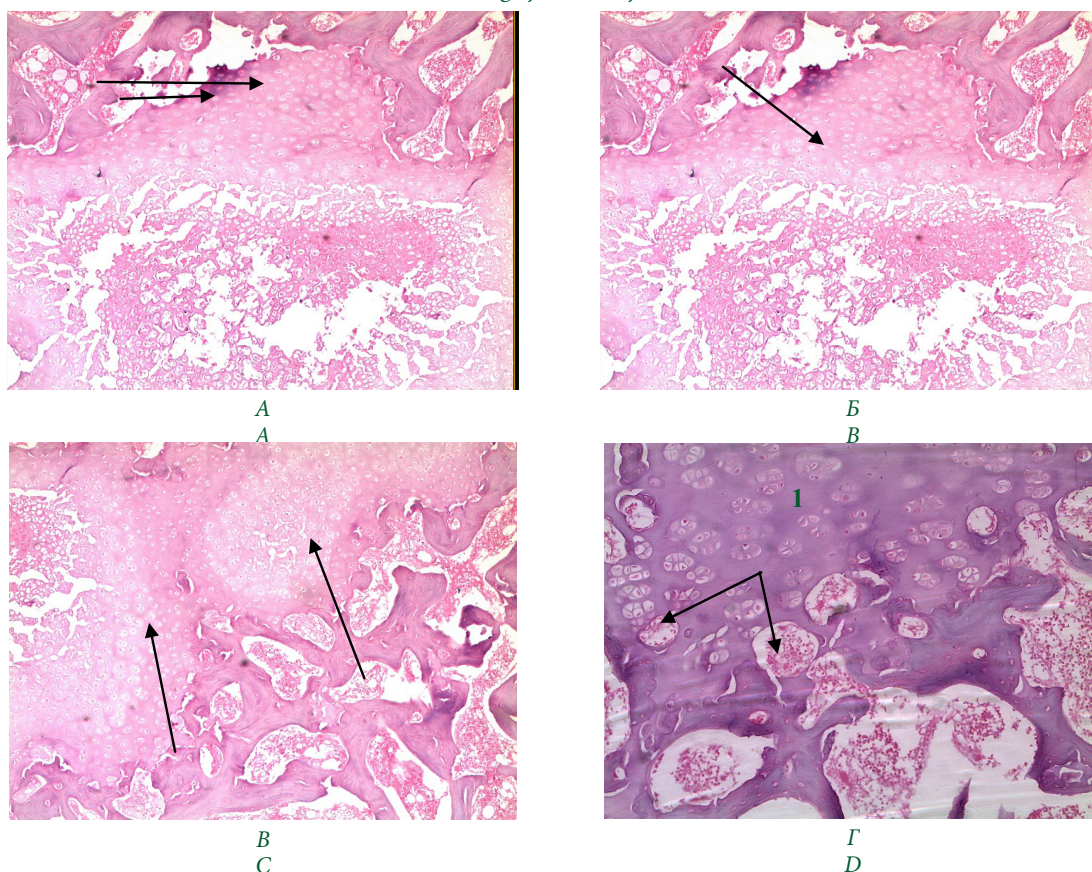


Рис. 5. Гистологическая картина в позвонках:

А – деталь фото (Б): прослойка гиалинового хряща (стрелка), ув. x400; Б, В – сохранившиеся участки гиалинового хряща (стрелки) среди губчатой кости позвонка, ув. x50; Г – деталь рисунка Д: процесс замещения гиалинового хряща (1) структурами губчатой кости, ячейки которой заполнены миелоидной тканью (стрелки), ув. x100.

Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 5. Histological picture in the vertebrae:

А – detail of the photo (B): layer of hyaline cartilage (arrow), magnification x400; B, C – preserved areas of hyaline cartilage (arrows) among the spongy bone of the vertebra, magnification x50; D – detail of Figure F: the process of replacing hyaline cartilage (1) with structures of spongy bone, the cells of which are filled with myeloid tissue (arrows), magnification x100.

Coloring by hematoxylin and eosin

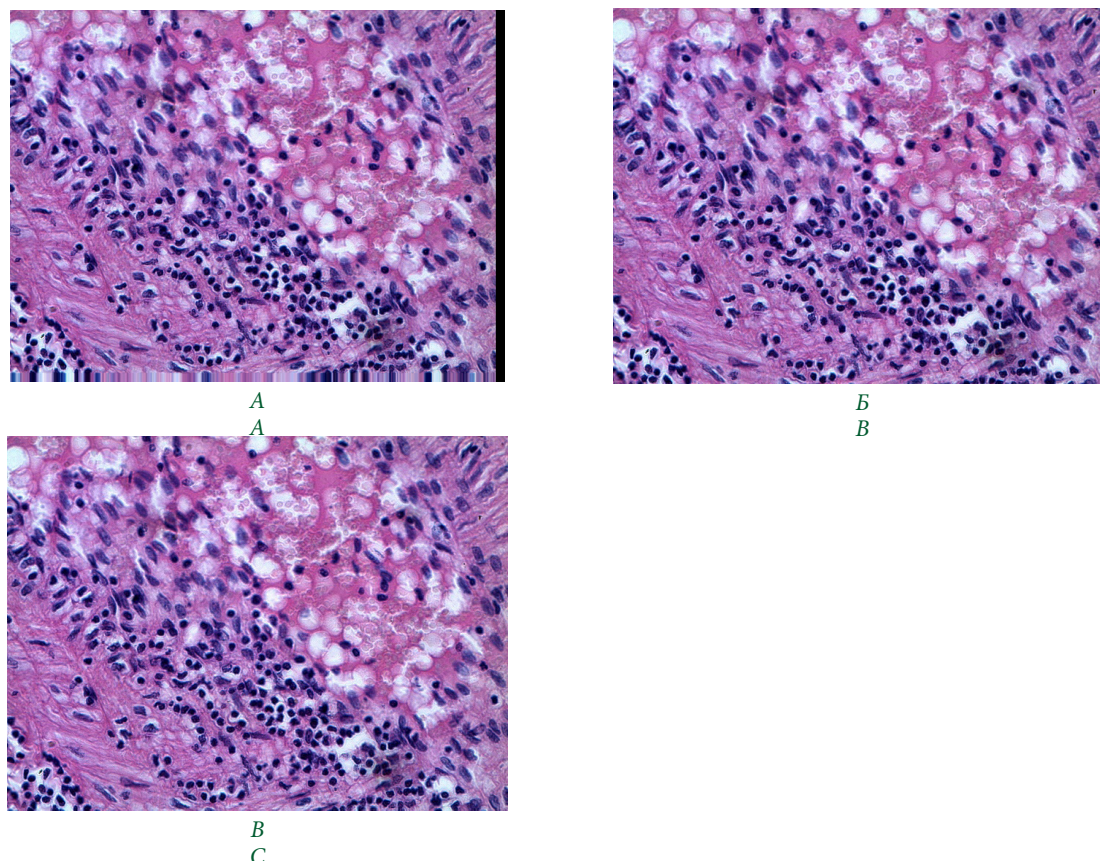


Рис. 6. Гистологическая картина в позвонках:

А, Б, В – в два листка плотной соединительной ткани, между которыми заключен фрагмент гиалинового хряща, ув. $\times 100$. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 6. Histological picture in the vertebrae:

A, B, C – two sheets of dense connective tissue, between which a fragment of hyaline cartilage, magnification $\times 100$, is enclosed. Coloring by hematoxylin and eosin

В работах [10; 22; 24] отмечено, что наибольшие характерные изменения при цирковиральной инфекции наблюдаются в лимфоидных органах на макро- и микроскопическом уровнях. Так, при исследовании гистосрезов лимфоидных органов выявляют лимфоидное истощение, инфильтрацию гистиоцитов и многоядерных гигантских клеток [33]. Однако в последние годы значительно расширился клинико-патологический охват цирковиральной инфекции, что следует из клинических, макроскопических и гистологических данных, приведенных в своих работах исследователями [11; 34; 35]. Они позволяют расширить представления о патогенезе вирусной инфекции, сформировать понимание клинических проявлений и уровня патогенности инфицированных свиней в промышленных условиях.

Основанием для выполнения наших исследований послужил факт выявления у свиней с цирковиральной инфекцией повреждений костной и хрящевой тканей, отрывов сухожилий от мест прикрепления к кости и переломов позвоночника. Это дало основание предположить, что в патогенез вирусной инфекции включаются и компоненты опорно-двигательного аппарата животных. К аналогичным выводам в своей работе пришел G. Konradt с соавто-

рами [21], описавший случаи тяжелого поражения скелетных мышц в ходе вспышки цирковиральной инфекции свиней на свиноводческих фермах. Клинически они проявлялись в виде мышечной слабости, скованной походки, парезов задних конечностей. На микроскопическом уровне изменения в скелетных мышцах соответствовали гранулематозному некротизирующему миозиту, который был многоочаговым, указывая этим самым на длительную вовлеченность миоцитов, которые включаются в патологический процесс.

В то же время авторы работы [36] связывают повреждение компонентов опорно-двигательного аппарата у свиней при цирковиральной болезни с повреждением центральной нервной системы. Однако в нашем эксперименте у поросят, подвергнутых эвтаназии с клинико-диагностической целью, не было выявлено неврологических клинических признаков, что указывает на развитие в сухожилиях, костно-сухожильных сочленениях и позвонках дегенеративно-дистрофических изменений в результате поражения клеток цирковиром (ЦВС 2). В то же время развитию повреждений тканей опорно-двигательного аппарата могут способствовать сосудистые повреждения, так как васкулит и флебит

являются отличительными признаками патогенеза цирковиральной инфекции [37; 38]. Аналогичный вывод в своей работе сформулировал А. С. Малоголовкин [39]. Он отмечал, что важнейшими гистопатологическими изменениями в тканях поросят при цирковиральной инфекции являются системные продуктивные воспаления кровеносных сосудов мелкого и среднего диаметра, а это создает базу для развития структурных и функциональных нарушений во многих системах и органах животных. Следовательно, сосудистые поражения могут оказывать прямое цитопатическое воздействие на клетки тканей опорно-двигательной системы, инициируя в них развитие дегенеративных изменений.

В работе [40] высказано предположение, что уровень макро- и микроскопических изменений в организме свиней сопряжен с формой (субклинической, клинической) инфекционного процесса, определяющей степень поражения в органах и тканях животных. Основываясь на данном утверждении, можно констатировать, что клинически протекающая цирковиральная инфекция у поросят товарного стада определяет вовлеченность в патологический процесс и компонентов опорно-двигательной системы. Возможно, важную роль в органной распространенности патологических изменений играет иммунологический статус стада, который сопря-

жен не только с технологическими условиями, но и невысокой эффективностью поствакцинального иммунитета. Поэтому и диагностируется ЦВС 2 у вакцинированных свиней.

Таким образом, результаты исследований показывают, что в организме свиней при цирковиральной инфекции формируются патологические изменения в компонентах опорно-двигательного аппарата, сопряженные с ЦВС 2. Гистологическая картина в сухожилиях, костно-сухожильных сочленениях и позвонках более всего соответствует дегенеративно-дистрофическим изменениям по типу остеохондроза, осложненного тенииозом и вторичным тендинитом (вероятнее всего, травматического генеза, о чем могут свидетельствовать мелкие кровоизлияния в перитендинии и поля макрофагальной инфильтрации сухожильных волокон как маркер хронической вялотекущей воспалительной реакции). Это также свидетельствует об отсутствии у свиней адекватного иммунного ответа на вакцинацию против ЦВС 2, что влияет на выработку в их организме вируснейтрализующих антител, специфичных к ЦВС 2. Следовательно, дегенеративно-дистрофические изменения в сухожилиях, костно-сухожильных сочленениях и позвонках следует рассматривать как еще одно проявление инфекции ЦВС 2 у свиней как результат развития иммунодефицитного состояния.

Библиографический список

1. Бурков П. В., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Щербаков П. Н., Дерхо А. О. Патоморфологические особенности внутренних органов поросят при цирковиральной инфекции // Вестник Омского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2024. № 4 (9). С. 98–111.
2. 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. No. 7 (3). Pp. 193–199. DOI: 10.21323/2414-438X-2022-7-3-193-199.
3. 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 антигенонаправленного действия // Аграрная наука. 2023. № 12. С. 58–66.
4. Segalés J., Rosell C., Domingo M. Pathological findings associated with naturally acquired porcine circovirus type 2 associated disease // Veterinary Microbiology. 2004. No. 98 (2). Pp. 137–149. DOI: 10.1016/j.vetmic.2003.10.006.
5. Бурков П. В., Щербаков П. Н., Дерхо М. А., Ребезов М. Б. Особенности формирования поствакцинального иммунитета против цирковиральной инфекции свиней и его коррекции // Аграрная наука. 2022. № 10. С. 32–37. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-32-37.
6. Harding J. C. The clinical expression and emergence of porcine circovirus 2 // Veterinary Microbiology. 2004. No. 98 (2). Pp. 131–135. DOI: 10.1016/j.vetmic.2003.10.013.
7. Бурков П. В., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Щербаков П. Н., Дерхо А. О. Экспериментальное исследование острой токсичности внутримышечной формы специфического иммунобиостимулятора – трансфер-фактор // Аграрная наука. 2024. № 1 (9). С. 40–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-40-47.
8. Бурков П. В., Ребезов М. Б., Дерхо М. А., Щербаков П. Н., Дерхо А. О. Иммунометаболические особенности формирования поствакцинального иммунитета против ЦВС-2 у свиноматок // Аграрная наука. 2024. № 7. С. 38–48. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-38-48.
9. Rosell C., Segalés J., Plana-Durán J., Balasch M., Rodríguez-Arriola G. M., Kennedy S., Allan G. M., McNeilly F., Latimer K. S., Domingo M. Pathological, immunohistochemical, and in-situ hybridization studies of natural cases of postweaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) in pigs // Journal of Comparative Pathology. 1999. No. 120 (1). Pp. 59–78. DOI: 10.1053/jcpa.1998.0258.

10. Palinski R., Piñeyro P., Shang P., Yuan F., Guo R., Fang Y., Byers E., Hause B. M. A Novel porcine circovirus distantly related to known circoviruses is associated with porcine dermatitis and nephropathy syndrome and reproductive failure // *Journal of Virology*. 2016. No. 91 (1). Article number e01879-16. DOI: 10.1128/JVI.01879-16.
11. Deng H., Zhu S., Zhu L., Jian Z., Zhou Y., Li F., Deng L., Deng J., Deng Y., Lai S., Xu Z. Histopathological changes and inflammatory response in Specific Pathogen-Free (SPF) with porcine circovirus type 3 infection // *Animals (Basel)*. 2023. No. 13 (3). Article number 530. DOI: 10.3390/ani13030530.
12. Бурков П. В., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Щербakov П. Н. Цирковирус как фактор, контролирующей эффективность беременности у свиноматок // *Аграрная наука*. 2023. № 1 (8). С. 27–35. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-27-35.
13. Zheng S., Wu X., Zhang L., Xin C., Liu Y., Shi J., Peng Z., Xu S., Fu F., Yu J., Sun W., Xu S., Li J., Wang J. The occurrence of porcine circovirus 3 without clinical infection signs in Shandong Province // *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017. No. 64 (5). Pp. 1337–1341. DOI: 10.1111/tbed.12667.
14. Burkov P. V., Shcherbakov P. N., Derkho M. A., Rebezov M. B., Stepanova K. V., Derkho A. O., An-sori A. Pathological features of the lungs and liver of piglets under conditions of constant vaccination of live-stock against circovirus infection // *Theory and Practice of Meat Processing*. 2023. No. 8 (1). Pp. 4–11. DOI: 10.21323/2414-438X-2023-8-1-4-11.
15. Стрельцова Я. Б. Патологические изменения лимфоидных тканей при цирковиральной инфекции свиней // *Ветеринария*. 2021. № 10. С. 26–28.
16. Phan T. G., Giannitti F., Rossow S., Marthaler D., Knutson T. P., Li L., Deng X., Resende T., Vannucci F., Delwart E. Detection of a novel circovirus PCV3 in pigs with cardiac and multi-systemic inflammation // *Virology Journal*. 2016. No. 13 (1). Article number 184. DOI: 10.1186/s12985-016-0642-z.
17. Toyama K., Hirai T., Sueyoshi M., Zhou Z., Niazi A.M., Kawaguchi N., Fuke N., Yamaguchi R. Histopathological findings of the nasopharynx-associated lymphoid tissue of pigs co-infected with porcine circovirus 2 and porcine reproductive and respiratory syndrome virus // *Journal of Veterinary Medical Science*. 2022. No. 84 (11). Pp. 1536–1542. DOI: 10.1292/jvms.22-0231.
18. Теребова С. В., Юйцзе Ф., Пэн Ч., Инин Ч., Фанюань Ю. Цирковирус-микоплазменная инфекция поросят в эксперименте // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2024. № 6 (207). С. 137–145. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-137-145.
19. Chen L., Deng L. S., Xu T., Lai S. Y., Ai Y. R., Zhu L., Xu Z. W. Rescue and characterization of PCV4 infectious clones: pathogenesis and immune response in piglets // *Frontiers in Microbiology*. 2024. No. 15. Article number 1443119. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1443119.
20. Opriessnig T., Janke B. H., Halbur P. G. Cardiovascular lesions in pigs naturally or experimentally infected with porcine circovirus type 2 // *Journal of Comparative Pathology*. 2006. No. 134 (1). Pp. 105–110. DOI: 10.1016/j.jcpa.2005.06.007.
21. Konradt G., Cruz R. A. S., Bassuino D. M., Bianchi M. V., de Andrade C. P., da Silva F. S., Driemeier D., Pavarini S. P. Granulomatous necrotizing myositis in swine affected by porcine circovirus disease // *Veterinary Pathology*. 2018. No. 55 (2). Pp. 268–272. DOI: 10.1177/0300985817736114.
22. Петрова О. Г., Донник И. М., Исаева А. Г., Крысенко Ю. Г. Патоморфологические признаки при цирковиральной инфекции свиней // *Аграрный вестник Урала*. 2013. № 12 (118). С. 35–41.
23. Стрельцова Я. Б. Влияние цирковируса свиней второго типа на основные популяции лимфоцитов и макрофагов в тканях бронхиальных лимфатических узлов инфицированных поросят-отъемышей // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2023. № 103. С. 247–252.
24. Becskei Z., Aleksić-Kovačević S., Rusvai M., Balka G., Jakab C., Petrović T., Knežević M. Distribution of porcine circovirus 2 cap antigen in the lymphoid tissue of pigs affected by postweaning multisystemic wasting syndrome // *Acta Veterinaria Hungarica*. 2010. No. 58 (4). Pp. 483–498. DOI: 10.1556/AVet.58.2010.4.9.
25. Opriessnig T., Patterson A. R., Meng X. J., Halbur P. G. Porcine circovirus type 2 in muscle and bone marrow is infectious and transmissible to naïve pigs by oral consumption // *Veterinary Microbiology*. 2009. No. 133 (1-2). Pp. 54–64. DOI: 10.1016/j.vetmic.2008.06.018.
26. Sato K., Shibahara T., Ishikawa Y., Kondo H., Kubo M., Kadota K. Evidence of porcine circovirus infection in pigs with wasting disease syndrome from 1985 to 1999 in Hokkaido, Japan // *Journal of Veterinary Medical Science*. 2000. No. 62. Pp. 627–633. DOI: 10.1292/jvms.62.627.
27. Harding J. C. S. 2007. Status of porcine circovirus diseases in western Canada // *Canadian Veterinary Journal*. 2007. No. 48. Pp. 267–268.
28. Mao W. F., Wu Y. F., Zhou Y. L., Tang J. B. A study of the anatomy and repair strengths of porcine flexor and extensor tendons: are they appropriate experimental models? // *Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2011. No. 36 (8). Pp. 663–669. DOI: 10.1177/1753193411414117.

29. Huang A. H., Galloway J. L. Current and emerging technologies for defining and validating tendon cell fate // *Journal of Orthopaedic Research*. 2023. No. 41 (10). Pp. 2082–2092. DOI: 10.1002/jor.25632.
30. Lui P. P. Y., Zhang, P., Chan, K. M., Qin L. Biology and augmentation of tendon-bone insertion repair // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2010. No. 5. Article number 59. DOI: 10.1186/1749-799X-5-59.
31. Горбунов В. Свињи: разведение, содержание и уход. Москва: Подворье (АСТ), 2011. 258 с.
32. Opriessnig T., Meng X. J., Halbur P. G. Porcine circovirus type 2 associated disease: update on current terminology, clinical manifestations, pathogenesis, diagnosis, and intervention strategies // *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2007. No. 19 (6). Pp. 591–615. DOI: 10.1177/104063870701900601.
33. Kim J., Chae C. Necrotising lymphadenitis associated with porcine circovirus type 2 in pigs // *Veterinary Record*. 2005. No. 156 (6). Pp. 177–178. DOI: 10.1136/vr.156.6.177.
34. Segalés J. Porcine circovirus type 2 (PCV2) infections: clinical signs, pathology and laboratory diagnosis // *Virus Research*. 2012. No. 164 (1-2). Pp. 10–19. DOI: 10.1016/j.virusres.2011.10.007.
35. Yang Y., Xu T., Wen J., Yang L., Lai S., Sun X., Xu Z., Zhu L. Prevalence and phylogenetic analysis of porcine circovirus type 2 (PCV2) and type 3 (PCV3) in the Southwest of China during 2020–2022 // *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. No. 9. Article number 1042792. DOI: 10.3389/fvets.2022.1042792.
36. Zlotowski P., Pavarini S. P., Bandinelli M. B., Langohr I. M., Driemeier D. Paralysis in pigs with spinal cord injury due to porcine circovirus type 2 (PCV-2) infection // *Veterinary Record*. 2013. No. 172 (24). DOI: 10.1136/vr.101409.
37. Langohr I. M., Stevenson G. W., Nelson E. A., Lenz S. D., HogenEsch H., Wei H., Pogranichniy R. M. Vascular lesions in pigs experimentally infected with porcine circovirus type 2 serogroup B // *Veterinary Pathology*. 2010. No. 47 (1). Pp. 140–147. DOI: 10.1177/0300985809352793.
38. Resendes A. R., Segalés J. Characterization of vascular lesions in pigs affected by porcine circovirus type 2-systemic disease // *Veterinary Pathology*. 2015. No. 52 (3). Pp. 497–504. DOI: 10.1177/0300985814540542.
39. Малоголовкин А. С. Проблема цирковирусных инфекций в патологии животных и человека // *Ветеринария и кормление*. 2008. № 2. С. 30–31.
40. Segalés J., Sibila M. Revisiting porcine circovirus disease diagnostic criteria in the current porcine circovirus 2 epidemiological context // *Veterinary Science*. 2022. No. 9 (3). Article number 110. DOI: 10.3390/vetsci9030110.

Об авторах:

Павел Валерьевич Бурков, кандидат ветеринарных наук, руководитель научно-исследовательского центра биотехнологии репродукции животных, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0001-7515-5670, AuthorID 282451. *E-mail: burcovpavel@mail.ru*

Максим Борисович Ребезов, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия; профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. *E-mail: rebezov@ya.ru*

Марина Аркадьевна Дерхо, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественно-научных дисциплин, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613. *E-mail: derkho2010@yandex.ru*

Павел Николаевич Щербakov, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры инфекционных болезней и ветеринарно-санитарной экспертизы, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0001-8685-4645, AuthorID 677525. *E-mail: scherbakov_pavel@mail.ru*

Арина Олеговна Дерхо, аспирант, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0002-1914-8721, AuthorID 1092200. *E-mail: arina_avrora@mail.ru*

References

1. Burkov P. V., Derkho M. A., Rebezov M. B., Shcherbakov P. N., Derkho A. O. Pathomorphological features of piglets' internal organs in case of circovirus infection. *Bulletin of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary Science and Animal Husbandry*. 2024; 4 (9): 98–111. (In Russ.)
2. 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. DOI: 10.21323/2414-438X-2022-7-3-193-199.
3. 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; (12): 58–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-58-66. (In Russ.)
4. Segalés J., Rosell C., Domingo M. Pathological findings associated with naturally acquired porcine circovirus type 2 associated disease. *Veterinary Microbiology*. 2004; 98 (2): 137–149. DOI: 10.1016/j.vetmic.2003.10.006.

5. 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. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-32-37. (In Russ.)
6. Harding J. C. The clinical expression and emergence of porcine circovirus 2. *Veterinary Microbiology*. 2004; 98 (2): 131–135. DOI: 10.1016/j.vetmic.2003.10.013.
7. Burkov P. V., Derkho M. A., Rebezov M. B., Shcherbakov P. N., Derkho A. O. Experimental study of acute toxicity of the intramuscular form of a specific immunobiostimulator – transfer factor. *Agrarian Science*. 2024; 1 (9): 40–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-40-47. (In Russ.)
8. Burkov P. V., Rebezov M. B., Derkho M. A., Shcherbakov P. N., Derkho A. O. Immunometabolic features of the formation of post-vaccination immunity against porcine circovirus type 2 in sows. *Agrarian Science*. 2024; (7): 38–48. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-38-48. (In Russ.)
9. Rosell C., Segalés J., Plana-Durán J., Balasch M., Rodríguez-Arriola G. M., Kennedy S., Allan G. M., McNeilly F., Latimer K. S., Domingo M. Pathological, immunohistochemical, and in-situ hybridization studies of natural cases of postweaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) in pigs. *Journal of Comparative Pathology*. 1999; 120 (1): 59–78. DOI: 10.1053/jcpa.1998.0258.
10. Palinski R., Piñeyro P., Shang P., Yuan F., Guo R., Fang Y., Byers E., Hause B. M. 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. DOI: 10.1128/JVI.01879-16.
11. Deng H., Zhu S., Zhu L., Jian Z., Zhou Y., Li F., Deng L., Deng J., Deng Y., Lai S., Xu Z. Histopathological changes and inflammatory response in Specific Pathogen-Free (SPF) with porcine circovirus type 3 infection. *Animals (Basel)*. 2023; 13 (3): 530. DOI: 10.3390/ani13030530.
12. 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; 1 (8): 27–35. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-27-35. (In Russ.)
13. Zheng S., Wu X., Zhang L., Xin C., Liu Y., Shi J., Peng Z., Xu S., Fu F., Yu J., Sun W., Xu S., Li J., Wang J. The occurrence of porcine circovirus 3 without clinical infection signs in Shandong Province. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017; 64 (5): 1337–1341. DOI: 10.1111/tbed.12667.
14. Burkov P. V., Shcherbakov P. N., Derkho M. A., Rebezov M. B., Stepanova K. V., Derkho A. O., An-sori A. 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. DOI: 10.21323/2414-438X-2023-8-1-4-11.
15. Streltsova Ya. B. Pathological changes in lymphoid tissues in porcine circovirus infection. *Veterinary Science*. 2021; 10: 26–28. (In Russ.)
16. Phan T. G., Giannitti F., Rossow S., Marthaler D., Knutson T. P., Li L., Deng X., Resende T., Vannucci F., Delwart E. Detection of a novel circovirus PCV3 in pigs with cardiac and multi-systemic inflammation. *Virology Journal*. 2016; 13 (1): 184. DOI: 10.1186/s12985-016-0642-z.
17. Toyama K., Hirai T., Sueyoshi M., Zhou Z., Niazi A. M., Kawaguchi N., Fuke N., Yamaguchi R. Histopathological findings of the nasopharynx-associated lymphoid tissue of pigs co-infected with porcine circovirus 2 and porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2022; 84 (11): 1536–1542. DOI: 10.1292/jvms.22-0231.
18. Terebova S. V., Fu Y., Chzhan P., Chzhan I., Yuy F. Circovirus-mycoplasma infection of piglets in the experiment. *Bulletin of KSAU*. 2024; 6: 137–145. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-137-145. (In Russ.)
19. Chen L., Deng L. S., Xu T., Lai S. Y., Ai Y. R., Zhu L., Xu Z. W. Rescue and characterization of PCV4 infectious clones: pathogenesis and immune response in piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 15: 1443119. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1443119.
20. Opriessnig T., Janke B. H., Halbur P. G. Cardiovascular lesions in pigs naturally or experimentally infected with porcine circovirus type 2. *Journal of Comparative Pathology*. 2006; 134 (1): 105–110. DOI: 10.1016/j.jcpa.2005.06.007.
21. Konradt G., Cruz R. A. S., Bassuino D. M., Bianchi M. V., de Andrade C. P., da Silva F. S., Driemeier D., Pavarini S. P. Granulomatous Necrotizing Myositis in Swine Affected by Porcine Circovirus Disease. *Veterinary Pathology*. 2018; 55 (2): 268–272. DOI: 10.1177/0300985817736114.
22. Petrova O. G., Donnik I. M., Isaeva A. G., Krysenko Yu. G. Pathomorphologic signs of circovirus infection of pigs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013; 12 (118): 35–41. (In Russ.)
23. Streltsova Ya. B. Effect of porcine circovirus type 2 on the main populations of lymphocytes and macrophages in the tissues of bronchial lymph nodes of infected weaned piglets. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2023; 103: 247–252. (In Russ.)

24. Becskei Z., Aleksić-Kovačević S., Rusvai M., Balka G., Jakab C., Petrović T., Knežević M. Distribution of porcine circovirus 2 cap antigen in the lymphoid tissue of pigs affected by postweaning multisystemic wasting syndrome. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2010; 58 (4): 483–498. DOI: 10.1556/AVet.58.2010.4.9.
25. Opriessnig T., Patterson A. R., Meng X. J., Halbur P. G. Porcine circovirus type 2 in muscle and bone marrow is infectious and transmissible to naïve pigs by oral consumption. *Veterinary Microbiology*. 2009; 133 (1-2): 54–64. DOI: 10.1016/j.vetmic.2008.06.018.
26. Sato K., Shibahara T., Ishikawa Y., Kondo H., Kubo M., Kadota K. Evidence of porcine circovirus infection in pigs with wasting disease syndrome from 1985 to 1999 in Hokkaido, Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2000; 62: 627–633. DOI: 10.1292/jvms.62.627.
27. Harding J. C. S. 2007. Status of porcine circovirus diseases in western Canada. *Canadian Veterinary Journal*. 2007; 48: 267–268.
28. Mao W. F., Wu Y. F., Zhou Y. L., Tang J. B. A study of the anatomy and repair strengths of porcine flexor and extensor tendons: are they appropriate experimental models? *Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2011; 36 (8): 663–669. DOI: 10.1177/1753193411414117.
29. Huang A. H., Galloway J. L. Current and emerging technologies for defining and validating tendon cell fate. *Journal of Orthopaedic Research*. 2023; 41 (10): 2082–2092. DOI: 10.1002/jor.25632.
30. Lui P. P. Y., Zhang, P., Chan, K. M., Qin L. Biology and augmentation of tendon-bone insertion repair. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2010; 5: 59. DOI: 10.1186/1749-799X-5-59.
31. Gorbunov V. *Pigs: breeding, maintenance and care*. Moscow: Podvorye (AST), 2011. 258 p. (In Russ.)
32. Opriessnig T., Meng X. J., Halbur P. G. Porcine circovirus type 2 associated disease: update on current terminology, clinical manifestations, pathogenesis, diagnosis, and intervention strategies. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2007; 19 (6): 591–615. DOI: 10.1177/104063870701900601.
33. Kim J., Chae C. Necrotising lymphadenitis associated with porcine circovirus type 2 in pigs. *Veterinary Record*. 2005; 156 (6): 177–178. DOI: 10.1136/vr.156.6.177.
34. Segalés J. Porcine circovirus type 2 (PCV2) infections: clinical signs, pathology and laboratory diagnosis. *Virus Research*. 2012; 164 (1-2): 10–19. DOI: 10.1016/j.virusres.2011.10.007.
35. Yang Y., Xu T., Wen J., Yang L., Lai S., Sun X., Xu Z., Zhu L. Prevalence and phylogenetic analysis of porcine circovirus type 2 (PCV2) and type 3 (PCV3) in the Southwest of China during 2020–2022. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9: 1042792. DOI: 10.3389/fvets.2022.1042792.
36. Zlotowski P., Pavarini S.P., Bandinelli M. B., Langohr I. M., Driemeier D. Paralysis in pigs with spinal cord injury due to porcine circovirus type 2 (PCV-2) infection. *Veterinary Record*. 2013; 172 (24). DOI: 10.1136/vr.101409.
37. Langohr I. M., Stevenson G. W., Nelson E. A., Lenz S. D., HogenEsch H., Wei H., Pogranichniy R. M. Vascular lesions in pigs experimentally infected with porcine circovirus type 2 serogroup B. *Veterinary Pathology*. 2010; 47 (1): 140–147. DOI: 10.1177/0300985809352793.
38. Resendes A. R., Segalés J. Characterization of vascular lesions in pigs affected by porcine circovirus type 2-systemic disease. *Veterinary Pathology*. 2015; 52 (3): 497–504. DOI: 10.1177/0300985814540542.
39. Malogolovkin A. S. The problem of circovirus infections in animal and human pathology. *Veterinary Science and Feeding*. 2008; 2: 30–31. (In Russ.)
40. Segalés J., Sibila M. Revisiting porcine circovirus disease diagnostic criteria in the current porcine circovirus 2 epidemiological context. *Veterinary Science*. 2022; 9 (3): 110. DOI: 10.3390/vetsci9030110.

Authors' information:

Pavel V. Burkov, candidate of veterinary sciences, head of the research center for animal reproduction biotechnology, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0001-7515-5670, AuthorID 282451. E-mail: burcovpavel@mail.ru

Maksim B. Rebezov, doctor of agricultural sciences, candidate of veterinary sciences, professor, Chief researcher, Gorbатов Scientific Center of Food Systems, Moscow, Russia; professor of the department of biotechnology and food products, department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. E-mail: rebezov@ya.ru

Marina A. Derkho, doctor of biological sciences, professor, head of the department of natural sciences, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613. E-mail: derkho2010@yandex.ru

Pavel N. Shcherbakov, doctor of veterinary science, professor, department of infectious diseases and veterinary-sanitary expertise, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0001-8685-4645, AuthorID 677525. E-mail: scherbakov_pavel@mail.ru

Arina O. Derkho, postgraduate, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0002-1914-8721, AuthorID 1092200. E-mail: arina_avrora@mail.ru