

ПРИМЕНЕНИЕ ГОНАДОТРОПИНОВ НА САМКАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВИДОВ С КРУГЛОГОДИЧНЫМ И СЕЗОННЫМ ТИПОМ ВОСПРОИЗВОДСТВА

¹Д.В. Попов, ²В.Ю. Бабенков, ¹Т.Т. Глазко, ¹Г.Ю. Косовский

¹ФГБНУ Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства им. В.А. Афанасьева, гпт. Родники Московской обл., Россия

²Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия

E-mail: popov.bio@gmail.com

Для цитирования: Применение гонадотропинов на самках сельскохозяйственных видов с круглогодичным и сезонным типом воспроизводства / Д.В. Попов, В.Ю. Бабенков, Т.Т. Глазко, Г.Ю. Косовский // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 1(74). – С. 194–214. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-74-1-194-214.

Ключевые слова: коровы-доноры эмбрионов, крольчихи, американская норка, гонадотропины, суперовуляция, фолликулы, фолликулогенез, эмбрионы.

Реферат. В работе определяли эффективность индукции суперовуляции и фолликулогенеза у самок сельскохозяйственных видов с мало- и многоплодным типом беременности, а также с сезонным и круглогодичным проявлением эструса, различными режимами введения препарата ФСГ-супер. Впервые проведены исследования по применению гипофизарных гонадотропинов на самках с различным типом воспроизводства с целью индукции суперовуляции, фолликулогенеза и овуляции в различные сезоны года. Индукцию суперовуляции проводили у коров-доноров эмбрионов специализированных и аборигенных пород и различного направления продуктивности в течение года при одинаковых условиях содержания. Индукцию фолликулогенеза проводили у самок домашнего кролика при содержании в шедрах и виварии в течение года и у самок американской норки при содержании в шедрах и виварии как в сезон воспроизводства, так и вне сезона половой активности. При использовании однократных режимов введения препарата ФСГ-супер в сочетании с пролонгаторами поливиниловый спирт и полиэтиленгликоль ответная реакция коров-доноров эмбрионов и самок кролика более эффективна по сравнению с классическим протоколом с многократными инъекциями. Также выявлено, что коровы аборигенной калмыцкой породы реагируют на введение гонадотропинов с целью индукции суперовуляции только в период их воспроизводства летом и ранней осенью. Крольчихи в течение года давали стабильный положительный эффект на введение гонадотропинов при содержании в виварии, тогда как при содержании в шедрах в некоторые месяцы уровень ответной реакции снижался. Самки американской норки при содержании в условиях виварии реагировали на введение препарата ФСГ-супер как в сезон воспроизводства, так и вне сезона половой активности, в отличие от животных, содержащихся в шедрах. Установлено, что эффективность гонадотропной стимуляции самок с целью индукции суперовуляции зависит от режима введения препарата и факторов окружающей среды. Введение норкам ФСГ-супер с пролонгаторами и содержание в условиях виварии способствует преодолению факторов сезонной изменчивости воспроизводства, что может быть существенным для разработок методов эмбриотрансплантации у животных с сезонным типом размножения с желательными фенотипическими характеристиками.

USE OF GONADOTROPINS ON FEMALES OF AGRICULTURAL SPECIES WITH YEAR-ROUND AND SEASONAL TYPE OF REPRODUCTION

¹D.V. Popov, ²W.Yu. Babenkov, ¹T.T. Glazko, ¹G.Yu. Kosovsky

¹Afanas'ev Research Institute of Fur-Bearing Animal Breeding and Rabbit Breeding, gpt. Rodniki, Moscow region, Russia

²Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, Russia

E-mail: popov.bio@gmail.com.

Keywords: embryo donor cows, rabbits, American mink, gonadotropins, superovulation, follicles, folliculogenesis, embryos.

Abstract. *In this work we determined the efficiency of induction of superovulation and folliculogenesis in females of agricultural species with low- and multiple-fetal type of pregnancy, as well as with seasonal and year-round manifestation of estrus, by different modes of FSH-super preparation administration. For the first time studies on the use of pituitary gonadotropins on females with different types of reproduction for the induction of superovulation, folliculogenesis and ovulation in different seasons of the year were conducted. Superovulation induction was performed in embryo donor cows of specialized and aboriginal breeds and different directions of productivity during the year under the same housing conditions. Induction of folliculogenesis was carried out in female domestic rabbits when kept in shelters and vivariums during the year and in female American mink when kept in shelters and vivariums, both in the season of reproduction and outside the season of sexual activity. When using single injection regimens of FSH-super in combination with prolongers polyvinyl alcohol and polyethylene glycol, the response of embryo donor cows and female rabbits is more effective compared to the classical protocol with multiple injections. It was also revealed that cows of the aboriginal Kalmyk breed respond to the administration of gonadotropins for superovulation induction only during their reproductive period in summer and early fall. Rabbits during the year gave a stable positive effect on the introduction of gonadotropins when kept in the vivarium, while the level of response decreased in some months when kept in shelters. Female American minks under vivarium conditions responded to the administration of FSH-super both in the season of reproduction and outside the season of sexual activity, in contrast to animals kept in shelters. It was found that the effectiveness of gonadotropic stimulation of females for the purpose of superovulation induction depends on the mode of drug administration and environmental factors. Administration of FSH-super with prolongers to mink and keeping in vivarium conditions contributes to overcoming the factors of seasonal variability of reproduction, which may be essential for the development of embryotransplantation methods in animals with seasonal type of reproduction with desirable phenotypic characteristics.*

Применение различных гонадотропинов в животноводстве является одним из основных инструментов для направленной регуляции физиологических процессов репродуктивной системы самок и самцов. Обычно с этой целью используются гормональные препараты, содержащие следующие гормоны: гонадотропин-рилизинг-гормон (ГнРГ), фолликулостимулирующий гормон (ФСГ) и лютеинизирующий гормон (ЛГ), а также препараты лютеолитического действия, содержащие аналоги простагландина F2 α [1]. В организме эти гормоны действуют на уровне гипоталамо-гипофизарно-гонадной оси и по принципу эндокринной связи оказывают свое физиологическое влияние на органы мишени. Так, выработавшийся в гипоталамусе ГнРГ оказывает свое воздействие на гипофиз, который, в свою очередь, выделяет ФСГ и ЛГ, которые окажут воздействие на гонады и регуляцию процессов, связанных с фолликулогенезом и овуляцией или сперматогенезом [2–4]. Стоит отметить, что синтез и выделение этих гормонов в организме не постоянны и при модуляции этих процессов следует учитывать как внутренние (механизм обратной связи с гонадами), так и внешние факторы (фотопериод, феромоны, питание и метаболический статус), определяющие амплитуду и частоту пиков их концентрации. Кроме того, известно, что у большинства млекопитающих содержание в гипофизе ЛГ до десяти раз выше, чем содержание ФСГ, что также имеет значение при экзогенном введении этих гонадотропинов [3–5].

Препараты, содержащие гонадотропные гормоны, в животноводстве используют в различных программах по воспроизводству. По своему происхождению данные препараты делятся на содержащие гонадотропины гипофизарного происхождения ФСГ-супер (ООО «АГРОБИОМЕД», Россия), Pluset (Laboratorios Calier, S.A., Испания), полученные из гипофиза свиней, и сывороточные Фоллимаг (ЗАО «Мосагrogen», Россия), Фоллигон (Intervet International B.V., Нидерланды), полученные из сыворотки жеребых кобыл (ГСЖК). Как правило, эти препараты используют в основном с целью индукции фолликулогенеза, овуляции, а также для терапевтической коррекции некоторых дисфункций яичников. Кроме того, введение высоких доз самкам экзогенного ФСГ побуждает множественный рост фолликулов, не типичный для малоплодных видов млекопитающих, а введение ЛГ – их овуляцию, что успешно используется при получении эмбрионов животных методом *in vivo*. Применение гипофизарных гонадотропинов для индукции суперовуляции у самок-доноров эмбрионов предпочтительнее сывороточных гонадотропинов тем, что длительное воздействие высоких доз ГСЖК может оказать отрицательное влияние на овуляцию, вызвать образование второй фолликулярной волны, что приведет к негативным проявлениям в яичниках в виде поликистозов, фолликулярных кист и т.д. [5]. Это обусловлено долгим периодом распада и выведения из организма ГСЖК, в то время как препараты с гипофизарными гонадотропинами

действуют в организме до 4–6 ч. Такой быстрый период элиминации гипофизарных гонадотропинов определяет протоколы их применения самкам для индукции суперовуляции, заключающиеся в многократном дробном введении на протяжении 3–4 дней, что вносит свои неудобства. В России с целью индукции суперовуляции в основном используют препарат ФСГ-супер. Данный препарат гипофизарного происхождения высокой степени очистки и имеет оптимальное соотношение для животных ФСГ 1 000–1 500 ед. / ЛГ 1 ед. [6].

Для того чтобы избежать многократных инъекций, разработаны протоколы однократного введения данных препаратов с применением различных пролонгаторов [7–9]. Так, в нашей стране впервые были проведены исследования с целью повышения эффективности процедуры индукции суперовуляции однократной инъекцией препарата ФСГ-супер в сочетании с пролонгатором поливиниловый спирт (ПВС) на калмыцкой породе крупного рогатого скота [10]. Известно, что крупный рогатый скот калмыцкой породы мясного направления продуктивности имеет высокие адаптивные характеристики, неприхотлив к условиям содержания, имеет свои генетические особенности [11] и обладает выраженной сезонностью воспроизводства. В то же время другими исследователями была показана эффективность использования в качестве пролонгатора полиэтиленгликоль (ПЭГ) при индукции суперовуляции препаратом ФСГ-супер, как на коровах–донорах эмбрионов других пород, так и на самках различных видов животных [12, 13].

В промышленных целях в мире в 2021 г. было получено методом *in vivo* 386 374 и методом *in vitro* 1 521 018 эмбрионов крупного рогатого скота, эмбрионов овец методом *in vivo* – 41 183 и методом *in vitro* – 626, эмбрионов лошадей методом *in vivo* – 25 475 и методом *in vitro* – 11 619, эмбрионов коз методом *in vivo* – 11 193 и методом *in vitro* – 6 355. Как видно из этих данных, основным сельскохозяйственным видом в индустриальном получении эмбрионов сельскохозяйственных животных остается крупный рогатый скот. Это обусловлено не только коммерческими факторами, но и в какой-то степени уровнем научных разработок методов и подходов репродуктивных биотехнологий для данного вида. В то же время необходимость и актуальность применения этих технологий на других видах сельскохозяйственных животных с учетом биологических особенностей вида (полиэстричность, сезонность,

многоплодие) определяется объективными факторами, такими как сокращение биоразнообразия, коммерческая целесообразность, интенсификация хозяйственной деятельности и т.д. [14–16]. Кроме того, возникновение пандемий и появление зооантропонозной передачи инфекции приводит к прекращению деятельности целых отраслей животноводства и полной элиминации из зоокультуры некоторых видов [17, 18]. Таким образом, для сохранения и увеличения эффективной численности видов особенно значимыми подходами репродуктивной биотехнологии становятся такие этапы и методы, как гормональная регуляция фолликулогенеза и овуляции, получение эмбрионов млекопитающих методами *in vivo* и *in vitro*, трансплантация эмбрионов самкам-реципиентам, а также криоконсервация гамет и эмбрионов с целью их банкирования и сохранения генетических ресурсов. Кроме того, как отмечалось выше, одной из проблем при индукции суперовуляции у самок–доноров эмбрионов с использованием гипофизарных гонадотропинов является необходимость многократных дробных инъекций гормональных препаратов. А такие проявления, как сезонная половая активность у отдельных видов, и/или пород сельскохозяйственных животных также остается ограничивающим фактором применения репродуктивных биотехнологий. Таким образом, разработка протоколов и режимов введения гонадотропных препаратов с учетом видоспецифичных биологических особенностей и сокращением числа инъекций является актуальной задачей. В этой связи в настоящей работе выполнены исследования эффективности различных протоколов введения препарата ФСГ-супер для индукции суперовуляции, фолликулогенеза и овуляции на самках некоторых сельскохозяйственных видов, отличающихся по физиологии воспроизводства проявлением сезонности, эстральной цикличностью, количеством плодов, принадлежащих к разным отрядам (крупный рогатый скот – *Bos taurus*, домашний кролик – *Oryctolagus cuniculus* и Американская норка *Neogale vison*).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Животные

В качестве модельных объектов использовали самок ($n = 582$) следующих сельскохозяйственных видов и пород:

Крупный рогатый скот *Bos Taurus*, породы: айрширская, красная горбатовская, абердин-ангусская, калмыцкая.

Домашний кролик *Oryctolagus cuniculus*, породы: советская шиншилла, белый великан, калифорнийская.

Американская норка *Neogale vison*, окрас: серебристо-голубая, черно-коричневая.

Препараты

Для индукции фолликулогенеза и овуляции применяли препараты ФСГ-супер, эстрофан,

хорионический гонадотропин человека (ХГЧ), Сурфагон.

Протоколы введения препаратов

Крупный рогатый скот *Bos Taurus*

Для определения эффективности применения препарата ФСГ-супер на коровах-донорах эмбрионов были проведены процедуры индукции суперовуляции по следующим протоколам (табл. 1)

Таблица 1

Протоколы введения гормональных препаратов коровам-донорам для индукции суперовуляции Protocols for administration of hormonal preparations to donor cows for induction of superovulation

День исследования	Протокол I	Протокол II	Протокол III
	Классический протокол индукции СО препаратом ФСГ-супер	Однократная инъекция ФСГ-супер с ПВС	Однократная инъекция ФСГ-супер с ПЭГ
0-й день	Выявление в охоте	Выявление в охоте	Выявление в охоте
10-й день	Инъекция ФСГ-супер У*: 250 МЕ в/м В*: 250 МЕ в/м	Инъекция ФСГ-супер + ПВС У: 1000 МЕ п/к	Инъекция ФСГ-супер + ПЭГ У: 1000 МЕ п/к
11-й день	Инъекция ФСГ-супер У: 150 МЕ в/м; В: 150 МЕ в/м	—	—
12-й день	Инъекции ФСГ-супер; эстрофан У: 100 МЕ в/м; 2мл в/м В: 100 МЕ в/м; 2мл в/м	Инъекции эстрофан У: 2мл в/м В: 2мл в/м	Инъекции эстрофан У: 2мл в/м В: 2мл в/м
14–15-й день	Искусственное осеменение	Искусственное осеменение	Искусственное осеменение
21-й день	Вымывание эмбрионов	Вымывание эмбрионов	Вымывание эмбрионов

* У – утро, В – вечер.

По представленным в табл. 1 протоколам были обработаны следующие животные:

1. Коровы айрширской породы (обработки проводили в течение года в условиях молочно-товарной фермы с привязным содержанием): протокол I ($n = 44$), протокол II ($n = 53$), протокол III ($n = 47$);

2. Коровы красной горбатовской породы (обработки проводили в течение года в условиях молочно-товарной фермы с привязным содержанием): протокол I ($n = 17$), протокол II ($n = 18$), протокол III ($n = 15$);

3. Коровы абердин-ангусской породы (обработки проводили в течение года в условиях пастбища и кормовой площадки): протокол I ($n = 15$), протокол II ($n = 19$), протокол III ($n = 14$);

4. Коровы калмыцкой породы (обработки проводили в период апрель–октябрь в условиях пастбищного содержания): протокол I ($n = 15$), протокол II ($n = 19$), протокол III ($n = 14$).

На 21-й день каждого исследования проводили процедуру вымывания эмбрионов по методике, представленной в следующих работах [19].

Домашний кролик *Oryctolagus cuniculus*

Для определения эффективности применения препарата ФСГ-супер на крольчихах-донорах эмбрионов были проведены процедуры индукции фолликулогенеза и овуляции по следующим протоколам (табл. 2)

Таблица 2

Протоколы введения гормональных препаратов крольчихам-донорам для индукции фолликулогенеза и овуляции
Protocols for administration of hormonal preparations to donor rabbits for induction of folliculogenesis and ovulation

День исследования	Протокол I	Протокол II	Протокол III
	Классический протокол применения ФСГ-супер	Однократная инъекция ФСГ-супер с ПВС	Однократная инъекция ФСГ-супер с ПЭГ
1-й день	Инъекция ФСГ-супер У: 15 МЕ в/м В: 15 МЕ в/м	Инъекция ФСГ супер + ПВС 66 МЕ в/м	Инъекция ФСГ супер + ПЭГ 66 МЕ в/м
2-й день	Инъекция ФСГ-супер У: 10 МЕ в/м В: 10 МЕ в/м	–	–
3-й день	Инъекция ФСГ-супер У: 8 МЕ в/м В: 8 МЕ в/м	–	–
4 день	Искусственное осеменение / Инъекция ЧХГ 100 МЕ в/в		
7 день	Лапаротомия, учет реакции, вымывание эмбрионов		

По представленным в табл. 2 протоколам были обработаны следующие животные:

1. Крольчихи породы советская шиншилла (обработки проводили в течение года в условиях шедового содержания – Ш и в условиях вивария – В): протокол I: Ш – $n = 19$, В – $n = 15$; протокол II: Ш – $n = 17$, В – $n = 14$; протокол III: Ш – $n = 18$, В – $n = 16$;

2. Крольчихи – породы белый великан (обработки проводили в течение года в условиях шедового содержания – Ш и в условиях вивария – В): протокол I: Ш – $n = 14$, В – $n = 12$; протокол II: Ш – $n = 12$, В – $n = 13$; протокол III: Ш – $n = 15$, В – $n = 14$.

3. Крольчихи – породы калифорнийская (обработки проводили в течение года в условиях шедового содержания – Ш и в условиях вивария – В): протокол I: Ш – $n = 13$, В – $n = 11$; протокол II: Ш – $n = 12$, В – $n = 10$; протокол III: Ш – $n = 15$, В – $n = 13$.

На 7-й день каждого исследования проводили процедуру вымывания эмбрионов по методике, представленной в следующих работах [20].

Американская норка *Neogale vison*

Для определения эффективности применения препарата ФСГ-супер на самках американской норки были проведены процедуры индукции фолликулогенеза по следующему протоколу (табл. 3).

Таблица 3

Протокол введения гормональных препаратов для индукции фолликулогенеза у самок норок
Protocol of hormone administration for folliculogenesis induction in female minks

День введения	Биорегулятор / процедура	Доза, способ введения
День 0-й	Лапаротомия ГнРГ (Сурфагон),	0,25 мл в/м
День 4-й	ФСГ + пролонгатор (полиэтиленгликоль)	25 И.Е. п/к
День 7-й	Лапаротомия учет реакции	–

По представленному в табл. 3 протоколу были обработаны следующие животные:

1. Самки американской норки, цветовой тип серебристо-голубая (обработки проводили в период воспроизводства и вне сезона половой активности для данного вида августе-сентябре условиях шедового содержания – Ш и в условиях вивария – В): Ш – $n = 7$, В – $n = 4$, в период воспроизводства; Ш – $n = 5$, В – $n = 4$, в августе-сентябре вне сезона половой активности.

2. Самки американской норки, цветовой тип черно-коричневый (обработки проводили в период воспроизводства и вне сезона половой активности августе-сентябре в условиях шедового содержания – Ш и в условиях вивария – В): Ш – $n = 6$, В – $n = 5$, в период воспроизводства; Ш – $n = 4$, В – $n = 4$, в августе-сентябре вне сезона половой активности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании были проведены обработки коров-доноров гормональными препаратами ФСГ-супер по различным протоколам с целью индукции у них суперовуляции (рис. 1–4 и табл. 4). Известно, что коровы являются малоплодными животными с круглогодичным проявлением эструса, в то же время у некоторых аборигенных неспециализированных пород период воспроизводства ограничен несколькими месяцами в году. В этой связи исследование, направленное на изучение возможности получения эмбрионов от таких пород в несезон воспроизводства путем воздействия на их половую систему введением высоких доз гонадотропинов, вызывает как научный, так и практический интерес.

Результаты индукции суперовуляции у коров различных пород представлены в табл. 4. Такой показатель, как относительное количество полученных качественных эмбрионов для

коров молочного направления продуктивности у айрширской породы и красной горбатовской породы максимальным был при однократной инъекции препарата ФСГ-супер в сочетании с пролонгатором ПЭГ (протокол III) и составил 74 и 67 % соответственно. При этом в среднем на самку качественных эмбрионов у айрширской породы при протоколе I было $5,5 \pm 1,3$, при протоколе II – $5,9 \pm 1,8$ и при протоколе III – $5,9 \pm 1,5$. Для красной горбатовской породы этот показатель составил при использовании протокола I $5,6 \pm 2,1$, протокола II – $4,9 \pm 3,5$ и протокола III – $4,7 \pm 3,1$ эмбриона на корову-донора в среднем. В то же время положительно прореагировавших коров у айрширской породы было отмечено при применении протокола III 86 %, а у красной горбатовской породы при применении протокола II – 82 %, при этом минимальные значения данного показателя у обеих пород были при индукции суперовуляции по протоколу I и составили у айрширской породы 64 % обработанных коров, у красной горбатовской 75 % коров.

Таблица 4

Результаты применения в течение года различных протоколов введения гормональных препаратов коровам-донорам различных пород для индукции суперовуляции
Results of using different protocols of hormone administration to donor cows of different breeds for induction of superovulation during one year

Протокол индукции СО	Показатель индукции суперовуляции				
	Кол-во обработок <i>n</i>	Кол-во положительных обработок <i>n</i> , %	Кол-во желтых тел всего, <i>n</i>	Получено эмбрионов всего <i>n</i> , % от количества желтых тел	Кол-во качественных эмбрионов всего <i>n</i> , % от полученных / в среднем на положительную обработку
<i>Айрширская порода крупного рогатого скота</i>					
I	53	34 (64 %)	317	283 (89 %)	195 (68 %) / $5,7 \pm 1,3$
II	65	53 (82 %)	467	423 (91 %)	314 (71 %) / $5,9 \pm 1,8$
III	64	55 (86 %)	495	445 (90 %)	329 (74 %) / $5,9 \pm 1,5$
<i>Красная горбатовская порода крупного рогатого скота</i>					
I	59	44 (75 %)	428	388 (91 %)	248 (64 %) / $5,6 \pm 2,1$
II	65	53 (82 %)	511	469 (92 %)	305 (65 %) / $4,9 \pm 3,5$
III	59	46 (77,9 %)	431	392 (91 %)	277 (71 %) / $4,7 \pm 3,1$
<i>Абердин-ангусская порода крупного рогатого скота</i>					
I	58	41 (71 %)	311	275 (88 %)	168 (61 %) / $4,1 \pm 2,7$
II	59	45 (76 %)	397	354 (89 %)	231 (65 %) / $4,2 \pm 2,8$
III	58	46 (79 %)	449	403 (90 %)	255 (63 %) / $4,5 \pm 2,4$
<i>Калмыцкая порода крупного рогатого скота</i>					
I	45	25 (56 %)	238	193 (81 %)	97 (50 %) / $3,8 \pm 1,2$
II	58	32 (55 %)	297	254 (86 %)	132 (52 %) / $4,5 \pm 1,7$
III	43	27 (63 %)	289	246 (85 %)	125 (51 %) / $4,3 \pm 2,1$

У мясных пород наилучшие значения по такому показателю, как относительное количество качественных эмбрионов были получены от коров, обработанных по протоколу II. Для абердин-ангусской породы составили 65 %, а для калмыцкой породы – 52 %. При этом максимальное значение положительных обработок отмечалось как для абердин-ангусской породы – 79 %, так и для калмыцкой породы – 63 % при применении протокола III.

На гистограммах, представленных на рис. 1 и рис. 2, показаны результаты индукции супероовуляции и эмбриопродуктивность коров-доноров эмбрионов молочного и молочно-мясного направления продуктивности айрширской породы и красной горбатовской породы. Как видно из представленных данных, реакция коров на введение гонадотропинов и их эмбриопродуктивность наиболее эффективной была при применении протоколов введения препарата ФСГ-супер в сочетании с пролонгаторами.

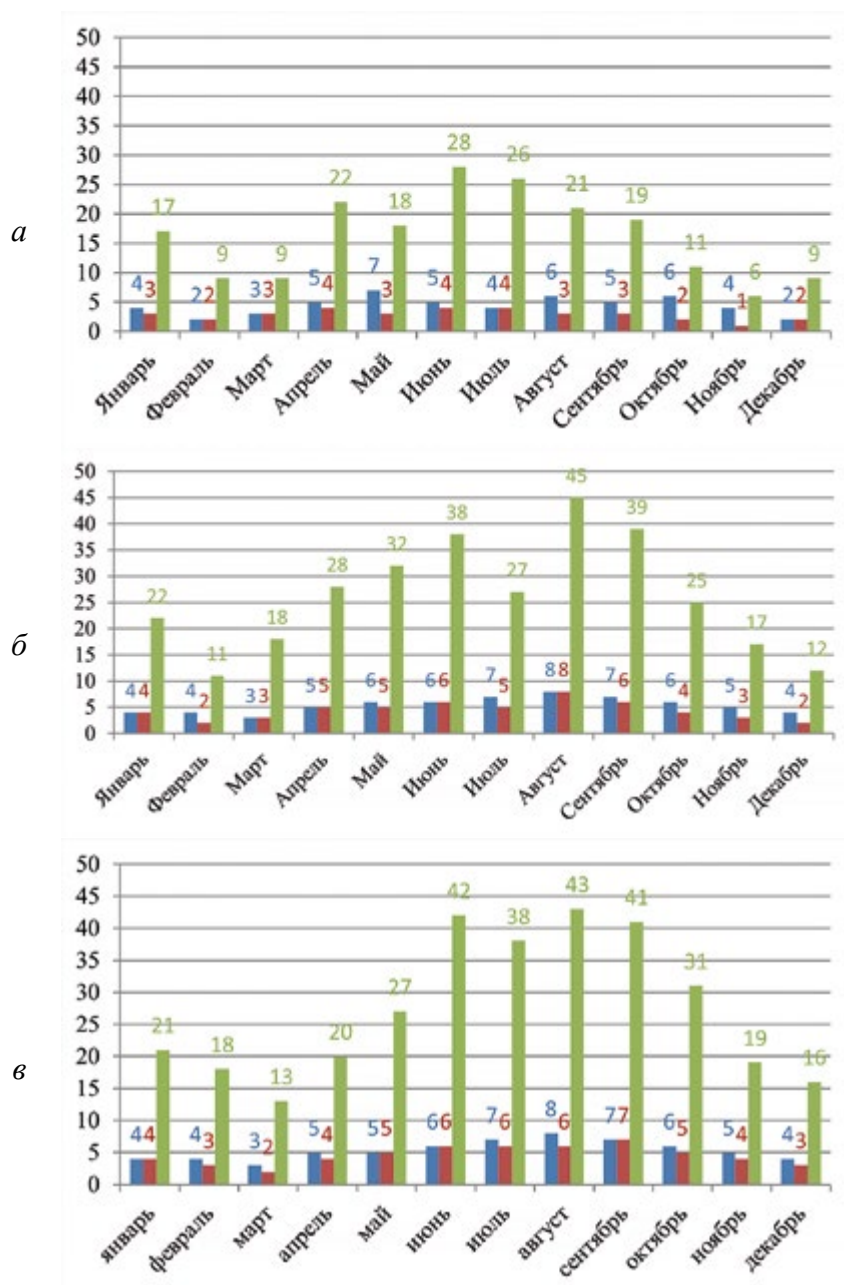


Рис. 1. Показатели эмбриопродуктивности коров-доноров айрширской породы при различных протоколах индукции супероовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoproduktivty of donor cows of Ayrshire breed under different protocols of superovulation induction

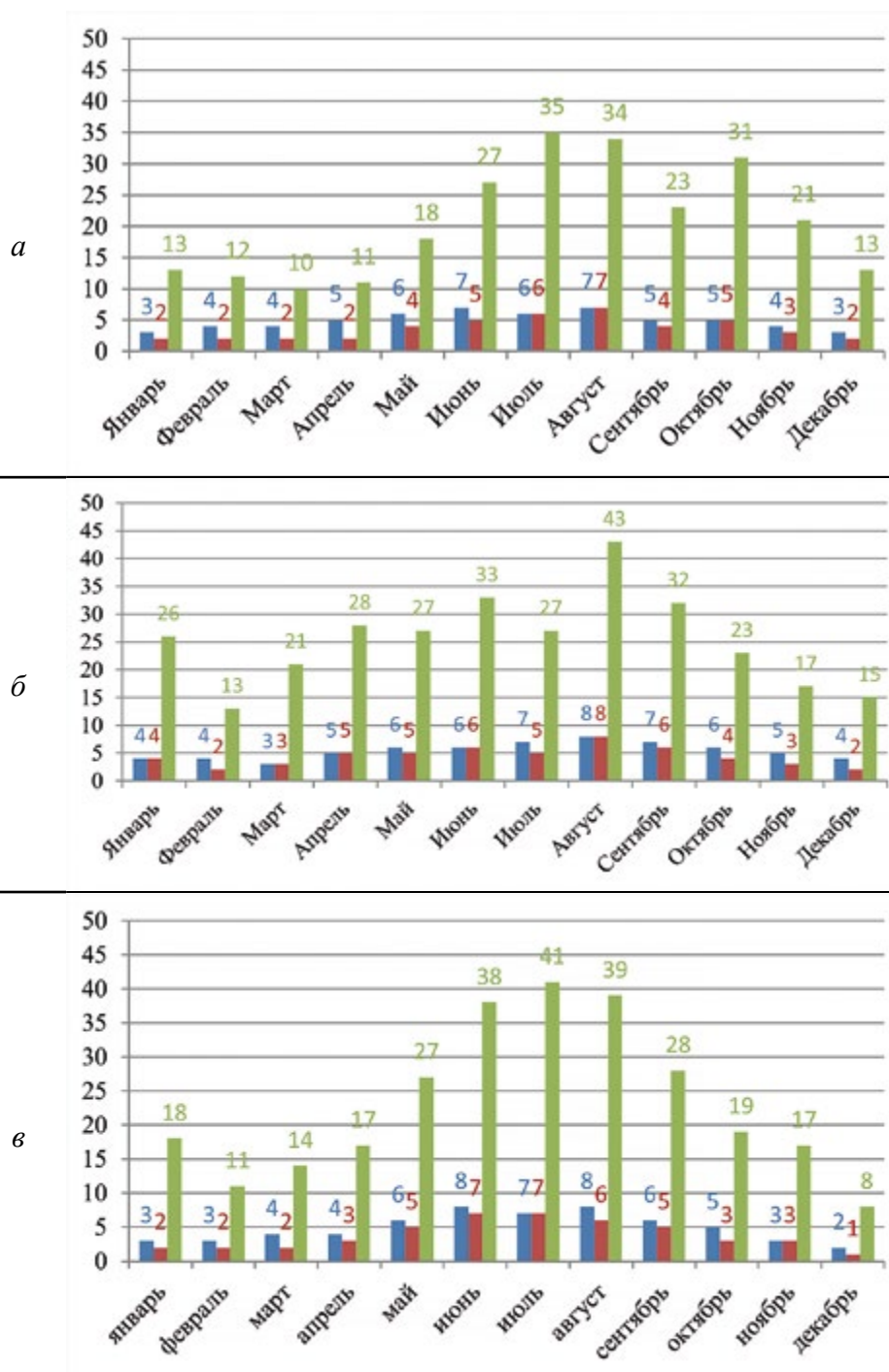


Рис. 2. Показатели эмбриопродуктивности коров-доноров красной горбатовской породы при различных протоколах индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryo-productivity indicators of donor cows of the Red Gorbатов breed under different protocols of superovulation induction

На рис. 3 и 4 представлены гистограммы показателей индукции суперовуляции коров мясного направления продуктивности абердин-ангусской породы и калмыцкой породы. Как видно из полученных данных, коровы-доноры калмыцкой породы при применении каждого протокола индукции суперовуляции препаратом ФСГ-супер

лучше всего реагировали в июле и сентябре, также на эти месяцы приходится и самая высокая эмбриопродуктивность (см. рис. 4): в июле при протоколе I прореагировало 7 из 15 обработанных коров и получено 22 качественных эмбриона, по протоколу II в июле обработали 22 коровы, прореагировало 10 и получено 43 качественных

эмбриона, при протоколе III из десяти голов коров прореагировали 6 доноров и получили 28 качественных эмбрионов. В сентябре при протоколе I из восьми обработанных коров реакцию суперовуляции дали 7 коров и было получено 28 эмбрионов, при протоколе II обработали 11 коров, прореагировало 6 и получили 45 качественных эмбрионов, при протоколе III из восьми обработанных коров прореагировали 6 коров и получили от них 21 качественный эмбрион. В то же время коровы-доноры абердин-ангусской породы при применении каждого протокола и при аналогич-

ных условиях содержания в течение всего года демонстрировали хорошие показатели эмбриопродуктивности и ответной реакции на введение гонадотропинов (см. рис. 3). Полученные результаты показывают, что коровы калмыцкой породы проявляют сезонную половую активность, пик которой приходится на июль–сентябрь, в связи с этим гормональные обработки с целью индукции суперовуляции лучше проводить в летне-осенний период, в то время как коровы абердин-ангусской породы могут использоваться в качестве доноров-эмбрионов круглый год.

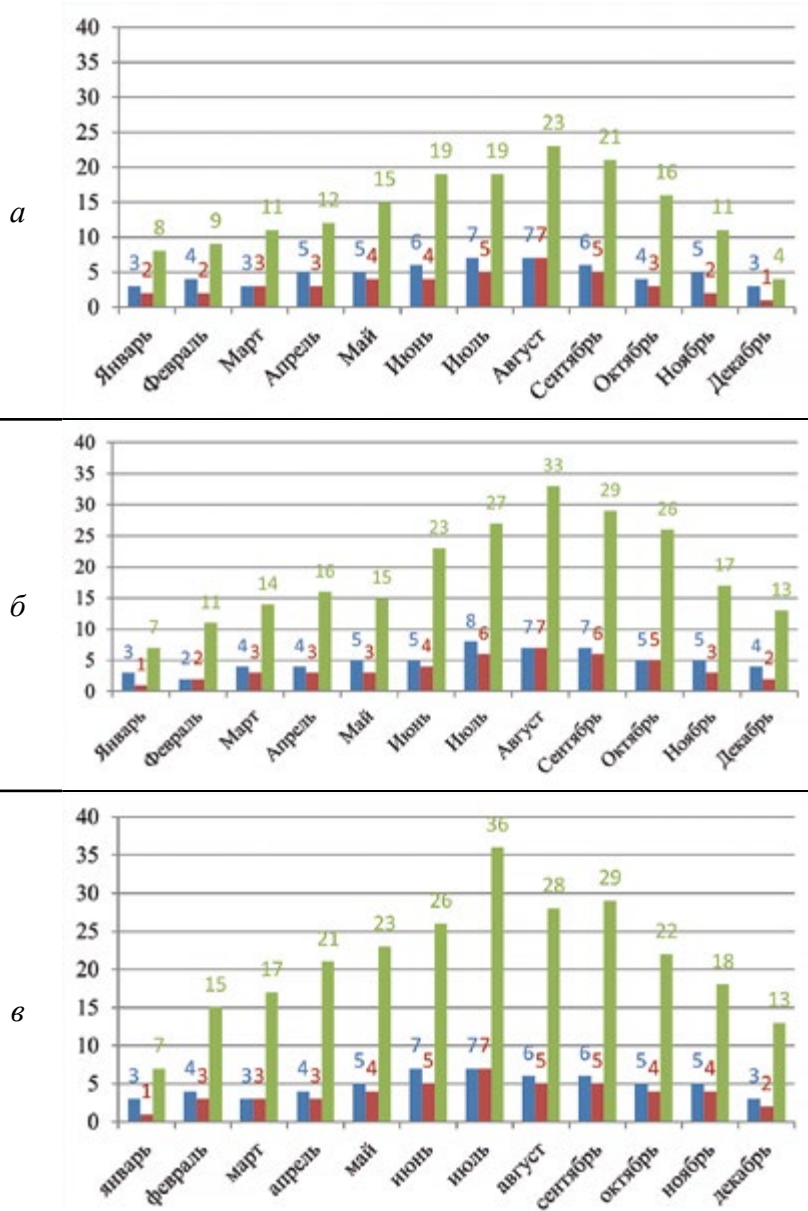


Рис. 3. Показатели эмбриопродуктивности коров-доноров абердин-ангусской породы при различных протоколах индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryo-productivity indicators of donor cows of Aberdeen-Angus breed under different protocols of superovulation induction

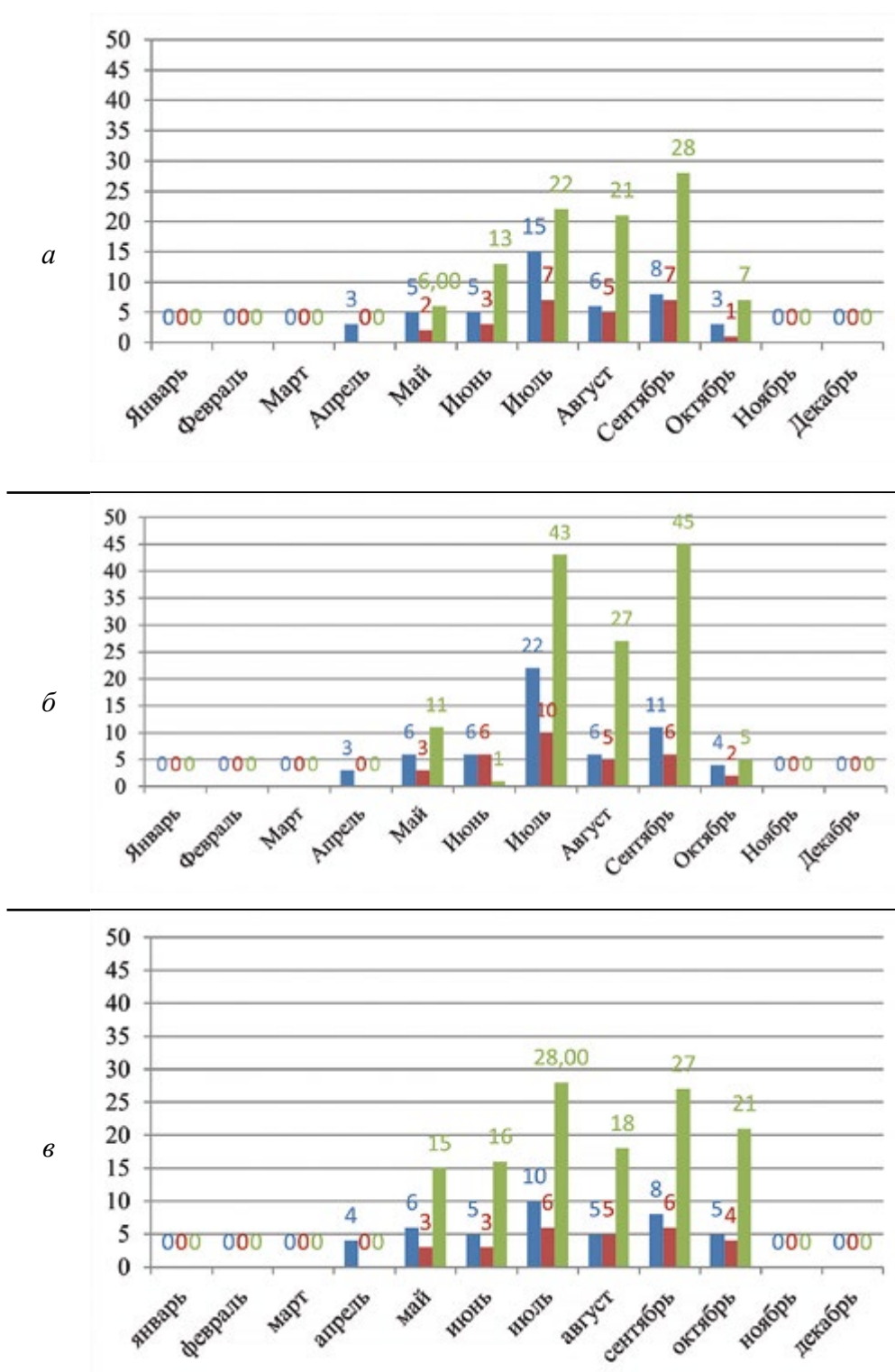


Рис. 4. Показатели эмбриопродуктивности коров-доноров калмыцкой породы при различных протоколах индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoprodutivity of donor cows of Kalmyk breed under different protocols of superovulation induction

Другим объектом нашего исследования являлись самки домашнего кролика. Самки данного вида многоплодные и способны к воспроизводству практически круглый год. Нами были про-

ведены исследования возможности получения эмбрионов от крольчих в течение года в различных условия содержания – шед, виварий.

Таблица 5

Результаты применения в течение года различных протоколов введения гормональных препаратов с целью индукции фолликулогенеза и овуляции у крольчих разных пород при содержании в шедах и виварии

Results of application of different protocols of hormonal preparations for folliculogenesis and ovulation induction in rabbits of different breeds during a year in paddocks and vivaria

Протокол индукции СО	Кол-во обработок <i>n</i>	Кол-во положительных обработок <i>n</i> , %	Кол-во желтых тел всего <i>n</i>	Получено эмбрионов <i>n</i> , % от количества желтых тел	Качественных эмбрионов, % от полученных/ в ср. на положительную обработку
Содержание в шедах					
Советская шиншилла					
I	98	69 (70,4)	1 112	1 035 (93,0)	876 (84,6) / 12,6±4,7
II	104	74 (71,1)	1 596	1 488 (93,2)	1 311 (88,1) / 17,7±3,2
III	100	75 (75,0)	1 527	1 427 (93,4)	1 345 (94,2) / 17,9±2,9
Белый великан					
I	89	62 (69,6)	1 012	935 (92,3)	723 (77,3) / 11,6±3,7
II	94	67 (71,2)	1 278	1 188 (92,9)	1 038 (87,3) / 15,4±3,1
III	101	76 (75,2)	1 337	1 247 (93,2)	1 133 (90,8) / 14,9±3,3
Калифорнийская					
I	92	63 (68,4)	1 119	1 029 (91,9)	798 (77,5) / 12,6±4,2
II	95	72 (75,7)	1 401	1 289 (92,0)	1 175 (91,1) / 16,3±3,5
III	106	78 (73,5)	1 335	1 211 (90,7)	1 059 (87,4) / 13,5±3,2
Содержание в виварии					
Советская шиншилла					
I	85	80 (94,1)	1 928	1 775 (92,0)	1 678 (94,5) / 20,9±7,2
II	91	85 (93,4)	2 175	2 010 (92,4)	1 861 (92,5) / 21,8±6,9
III	110	102 (92,7)	2 508	2 314 (92,2)	2 179 (94,1) / 21,3±6,2
Белый великан					
I	90	85 (94,4)	1 845	1 712 (92,7)	1 516 (88,5) / 17,8±6,5
II	85	83 (97,6)	2 045	1 901 (92,9)	1 774 (93,3) / 21,3±6,9
III	94	90 (95,7)	2 303	2 143 (93,0)	1 992 (92,9) / 22,1±7,4
Калифорнийская					
I	78	74 (94,8)	1 420	1 311 (92,3)	1 165 (88,8) / 15,7±6,2
II	78	76 (97,4)	1 840	1 703 (92,5)	1 515 (88,9) / 19,9±7,0
III	98	94 (95,9)	2 450	2 278 (92,9)	2 106 (92,4) / 22,4±7,6

При испытании разработанных нами протоколов введения гонадотропинов с целью индукции фолликулогенеза и овуляции на крольчихах различных пород были получены следующие результаты (табл. 5, 6). Данные, полученные при индукции фолликулогенеза и овуляции у крольчих-доноров исследованных пород, показывают, что независимо от условий содержания (шед, виварий) наилучшие результаты были получены от самок-доноров при однократном введении препарата ФСГ-супер в сочетании с пролонгаторами ПЭГ и ПВС. Так, для породы советская шиншилла как при содержании в шедах, так и в виварии процент полученных качественных эмбрионов отмечался при применении протокола III и составил 94,2 % при шедовом содержании и 92,4 % при содержании в виварии, при этом эмбриопродуктив-

ность в среднем на самку была 17,9±2,9 и 21,3±6,2 эмбрионов соответственно. Для породы белый великан относительное количество полученных качественных эмбрионов при содержании в шедах отмечалось также при применении протокола III и составило 90,8 %, а при содержании в виварии максимальные показатели отмечались при применении протокола II – 93,3 %. При этом, наоборот, при шедовом содержании эмбриопродуктивность была выше при протоколе II и составила 15,4±3,1 качественных эмбрионов в среднем на самку, а при содержании в виварии этот показатель был выше при протоколе III, где получили 22,1±7,4 качественных эмбрионов на самку в среднем. Самки калифорнийской породы кроликов при шедовом содержании показали максимальные значения при применении протокола II – 91,1 %

качественных эмбрионов в эмбриосборах, что составило $16,3 \pm 3,5$ качественных эмбриона на самку в среднем и при содержании в виварии для этой породы наиболее эффективным был протокол III – 92,4 % качественных эмбрионов и $22,4 \pm 7,6$ эмбрионов на самку в среднем.

На рис. 5–10 представлены гистограммы, отражающие показатели индукции фолликулогенеза, овуляции и эмбриопродуктивности у крольчих различных пород в течение года при содержании

в шедах и в виварии. Из представленных диаграмм видно, что при шедовом содержании при применении каждого протокола максимальное количество прореагировавших самок и высокая эмбриопродуктивность отмечалась с марта по октябрь, в то же время при содержании в виварии ответная реакция самок на введение гонадотропинов была эффективной в течение всего года и снижалась только в декабре.

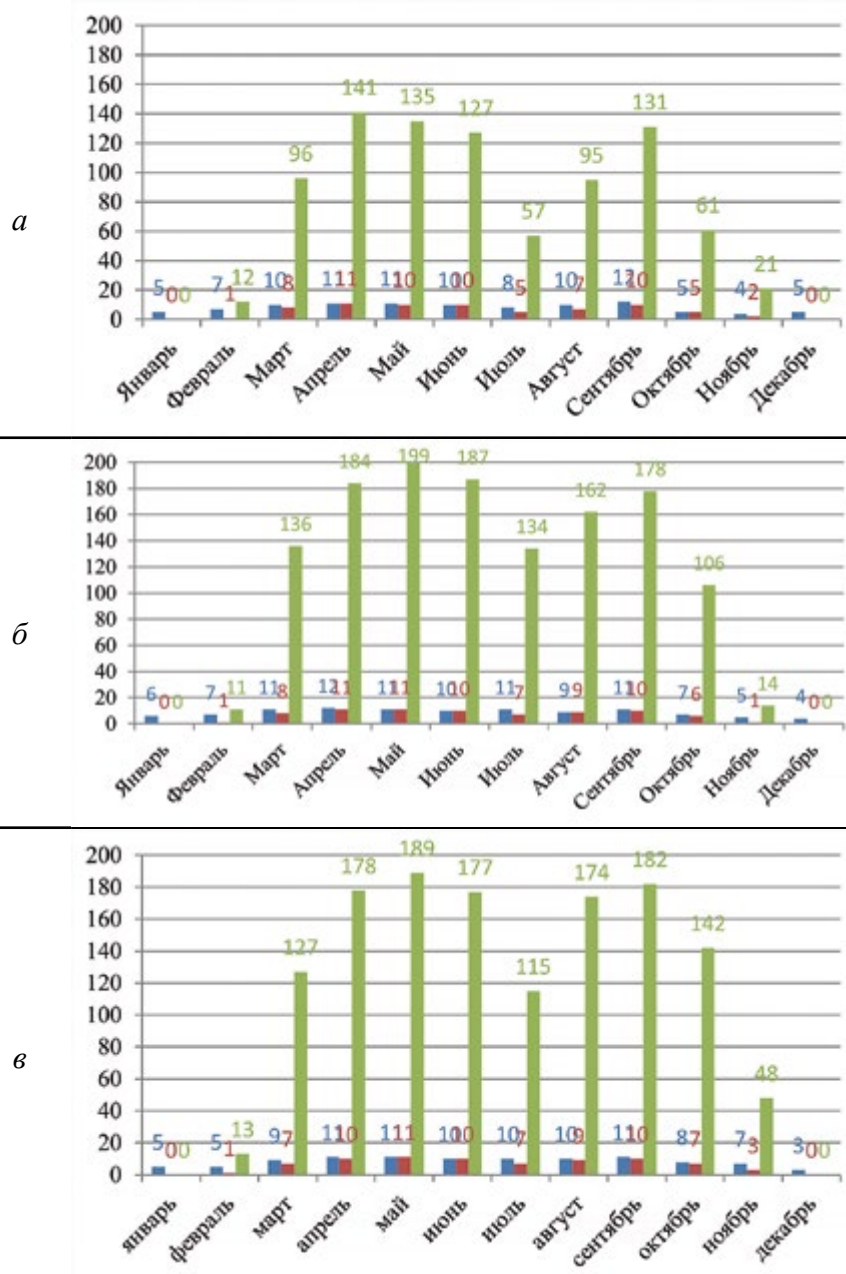


Рис. 5. Показатели эмбриопродуктивности крольчих-доноров породы советская шиншилла при содержании в шедах с применением различных протоколов индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoproduktivty of donor rabbits of the Soviet Chinchilla breed when kept in sheds with the use of different protocols of superovulation induction

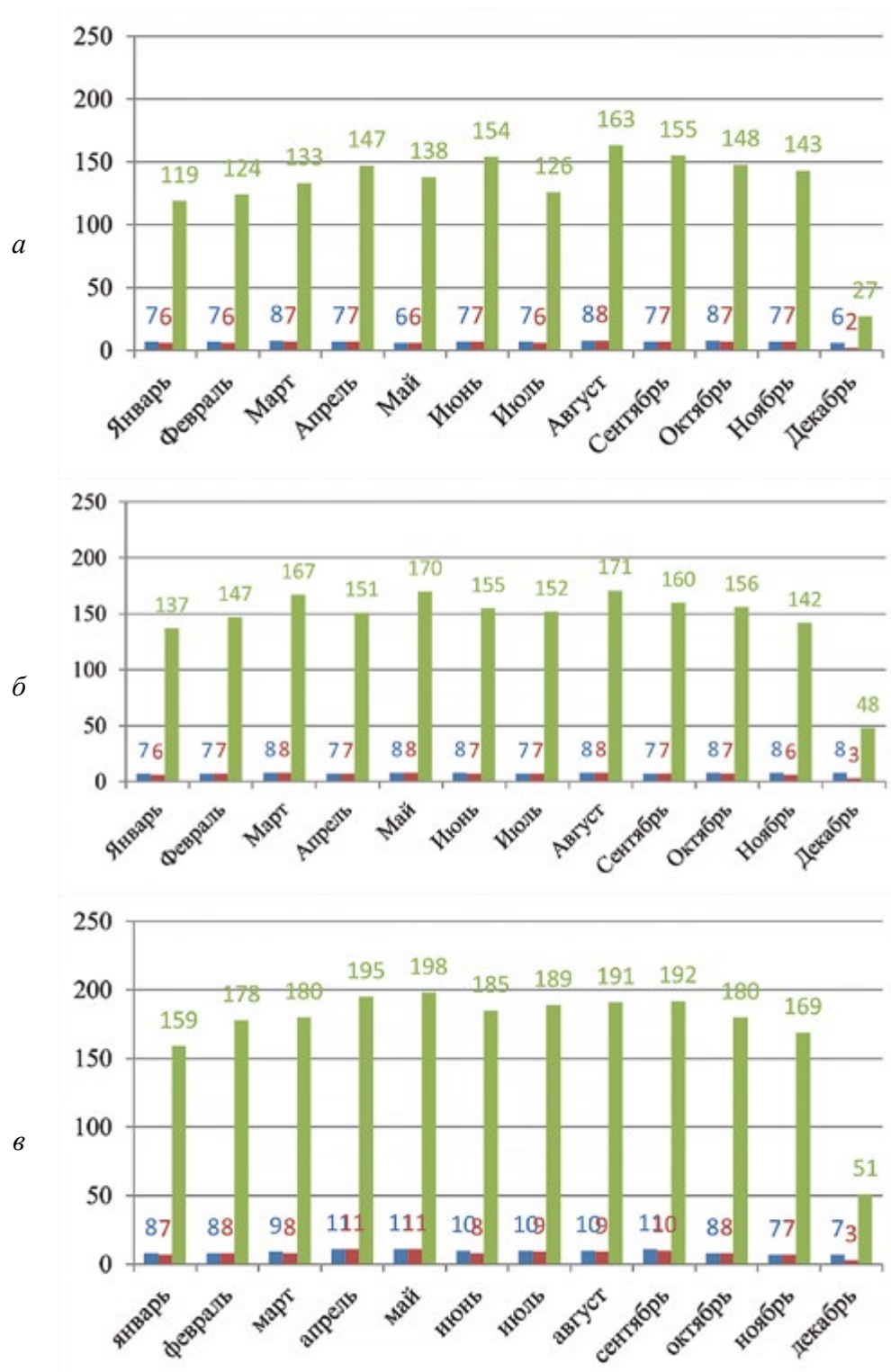


Рис. 6. Показатели эмбриопродуктивности крольчих-доноров породы советская шиншилла при содержании в виварии с применением различных протоколов индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoprodutivity of donor rabbits of the Soviet Chinchilla breed when kept in the vivarium using different protocols of superovulation induction

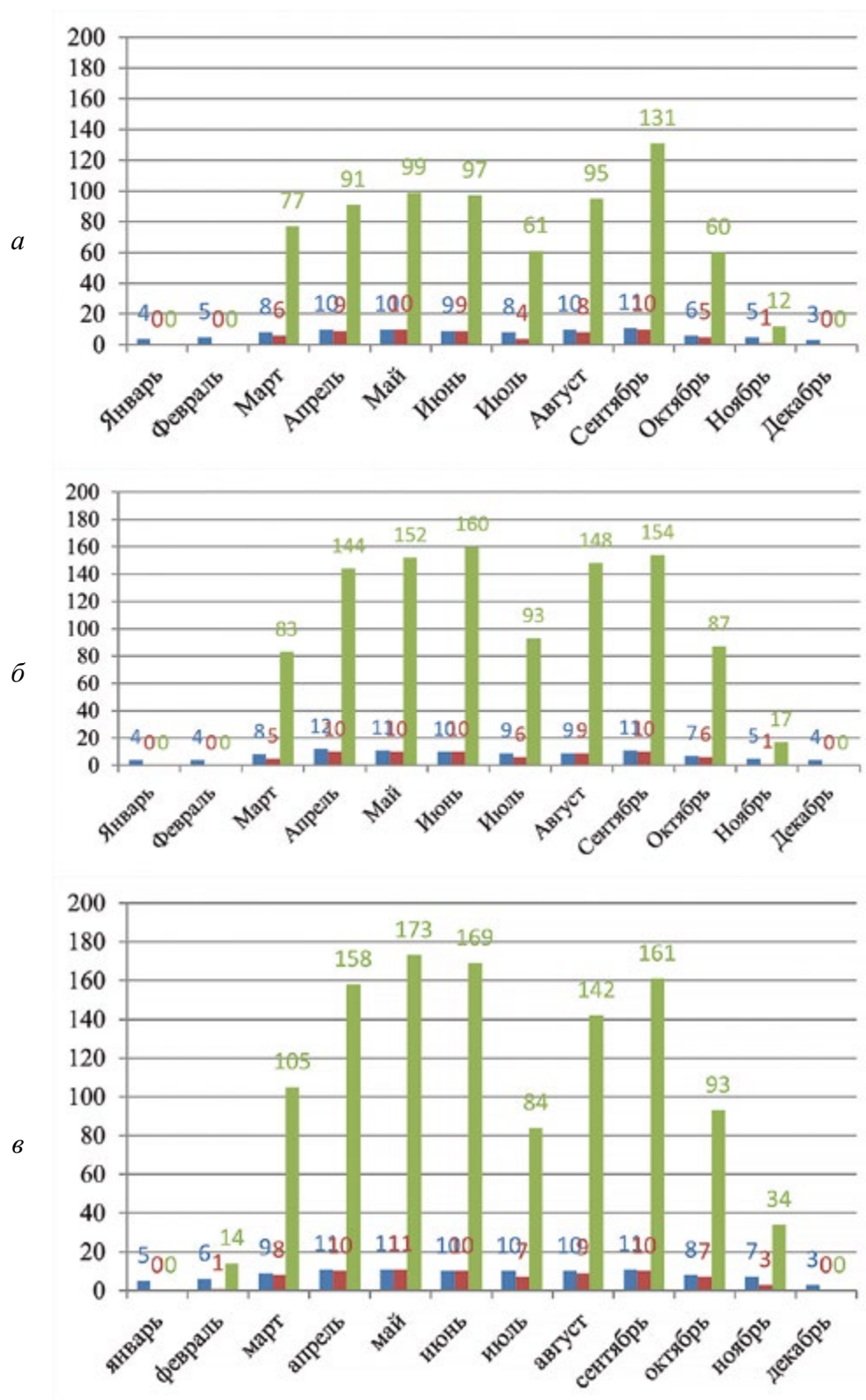


Рис. 7. Показатели эмбриопродуктивности крольчих-доноров породы белый великан при содержании в шедях с применением различных протоколов индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего;

а – протокол I; *б* – протокол II; *в* – протокол III

Embryoprodutivity of donor rabbits of the White Giant breed when kept in paddocks using different protocols of superovulation induction

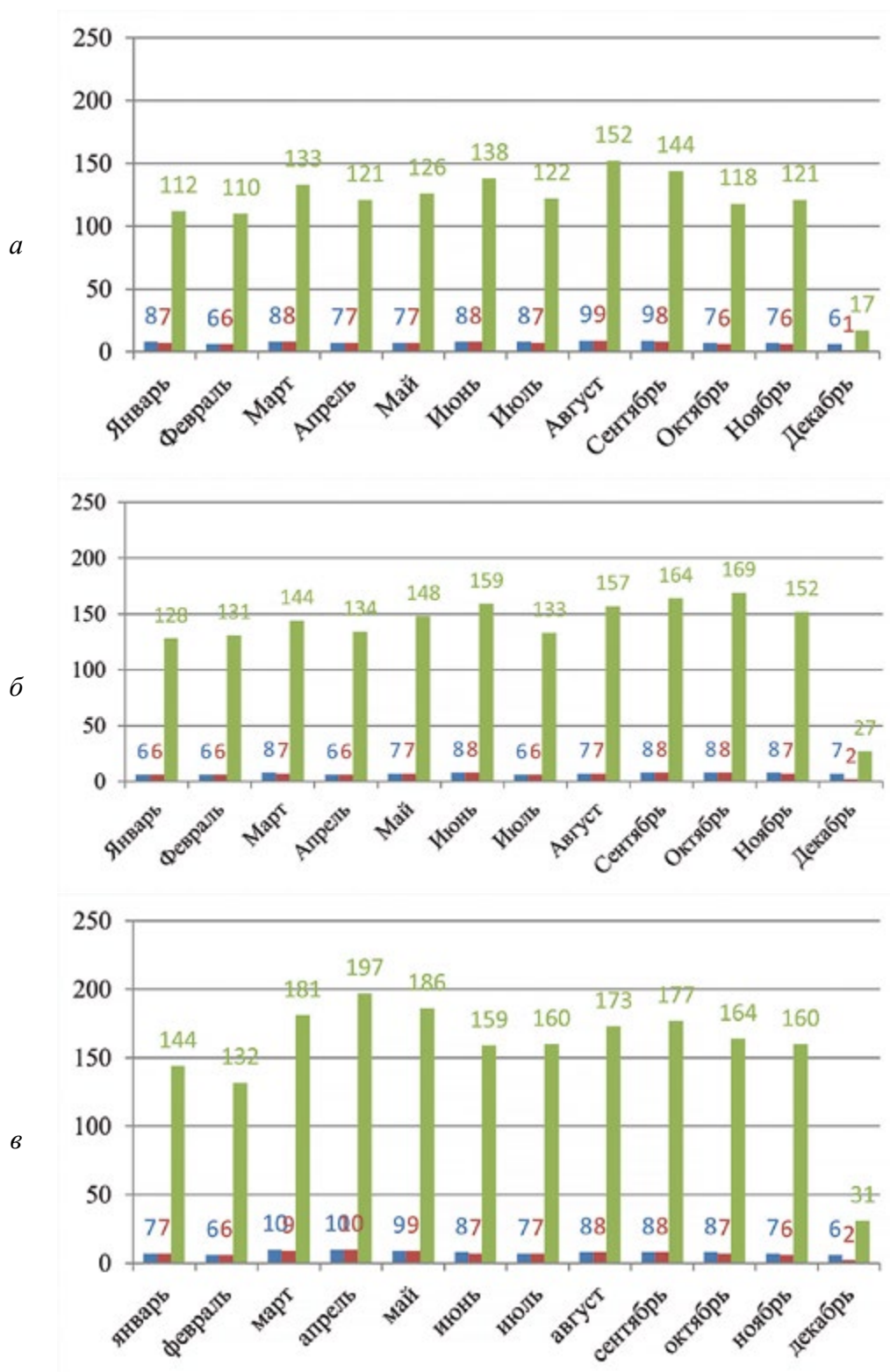
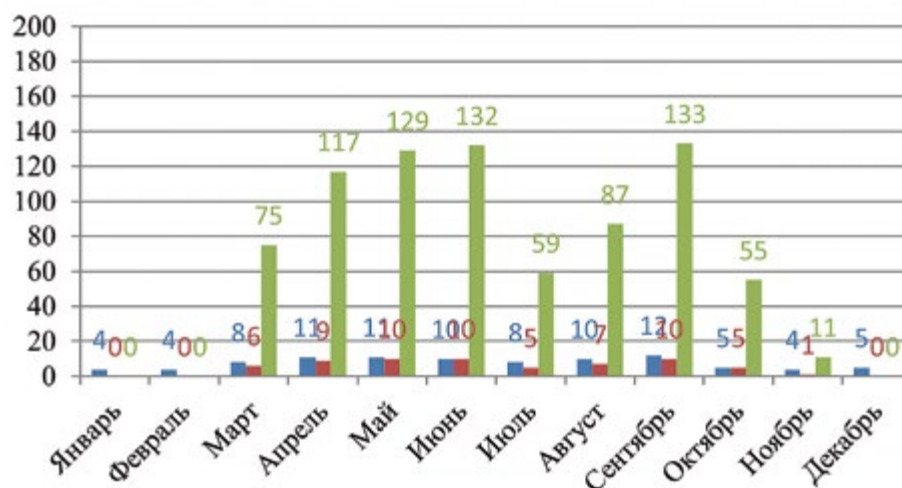


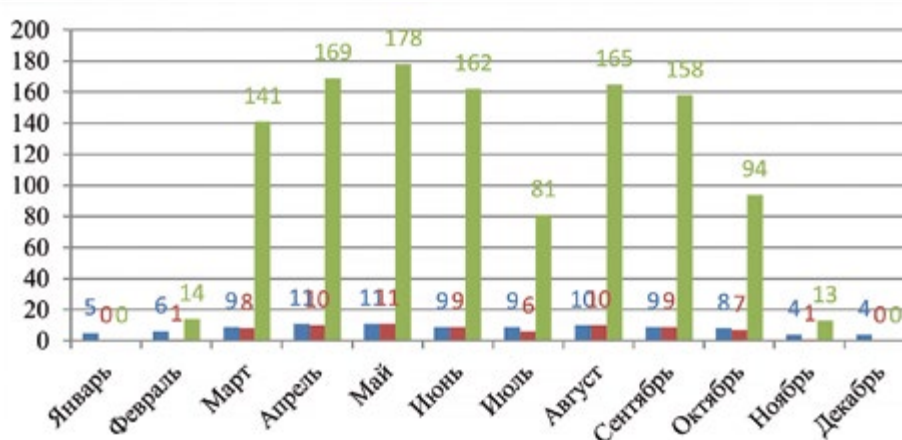
Рис. 8. Показатели эмбриопродуктивности крольчих-доноров породы белый великан при содержании в виварии с применением различных протоколов индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего;
а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoprodutivity of donor rabbits of the White Giant breed when kept in the vivarium using different protocols of superovulation induction

а



б



в

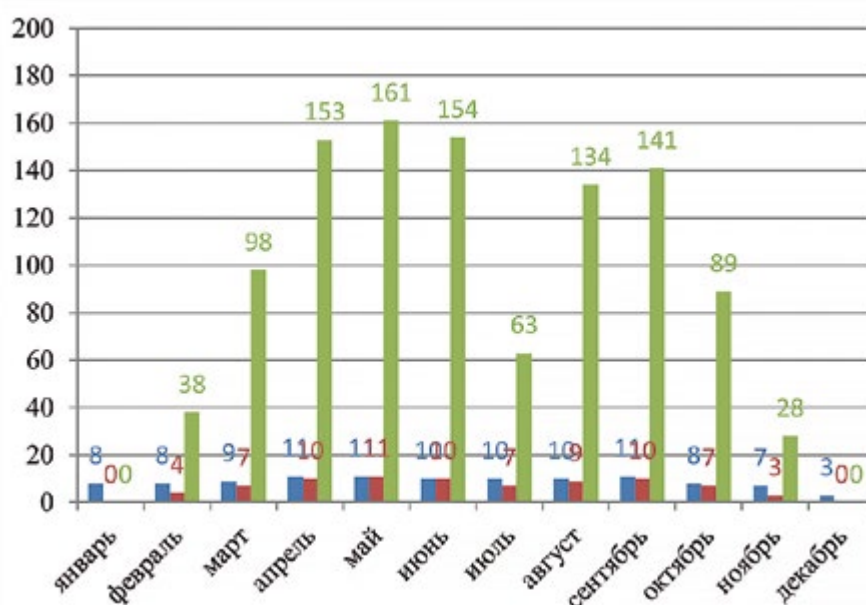


Рис. 9. Показатели эмбриопродуктивности крольчих-доноров породы калифорнийская при содержании в шедх с применением различных протоколов индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoproductivity indicators of donor rabbits of the California breed when kept in sheds with the use of different protocols of superovulation induction

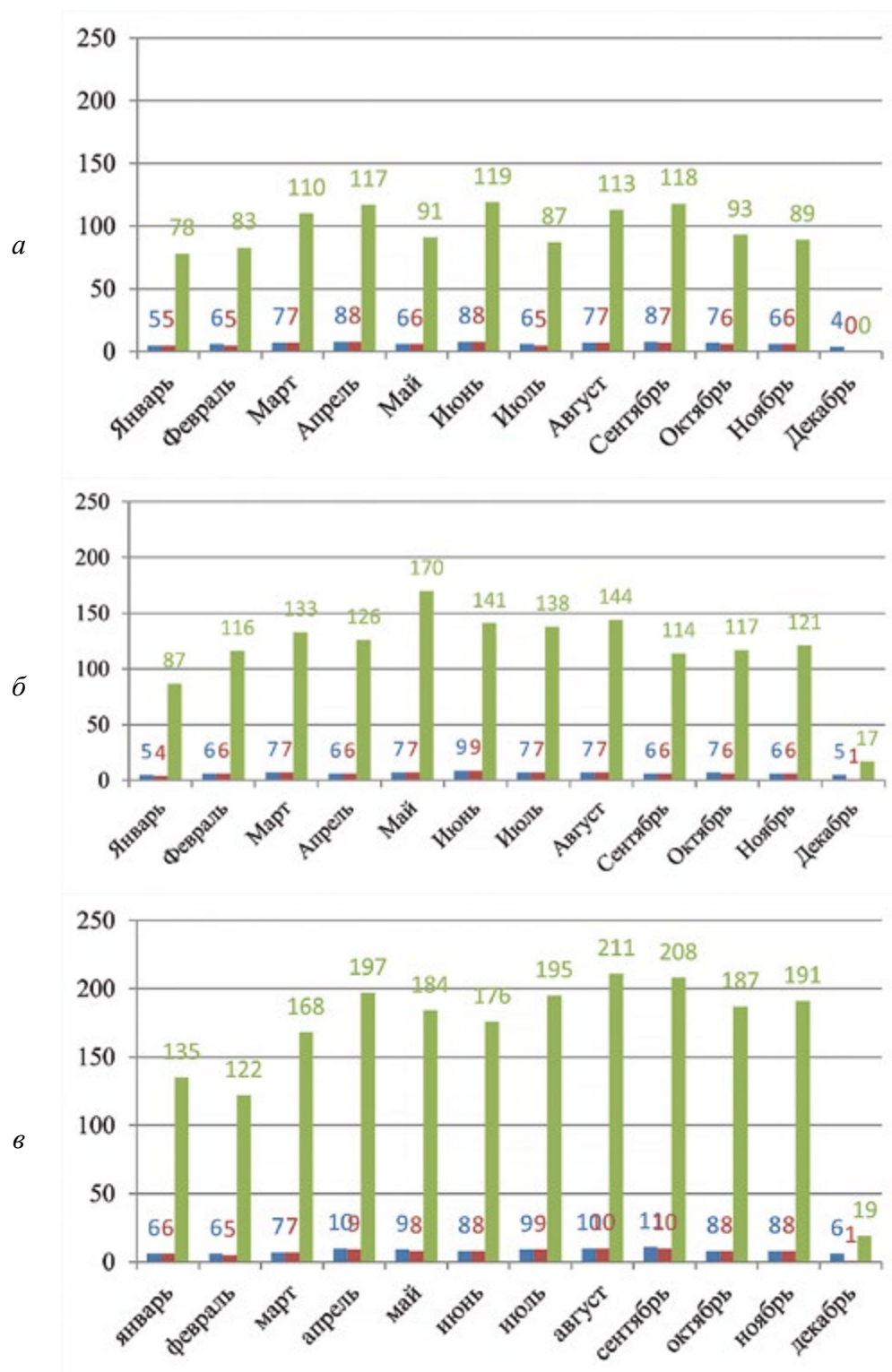


Рис. 10. Показатели эмбриопродуктивности крольчих-доноров породы калифорнийская при содержании в виварии с применением различных протоколов индукции суперовуляции: ■ – количество обработок, ■ – количество положительных обработок; ■ – количество качественных эмбрионов всего; а – протокол I; б – протокол II; в – протокол III

Embryoprodutivity of donor rabbits of the California breed when kept in the vivarium using different protocols of superovulation induction

Особое научное и практическое значение имеет возможность получения гамет и эмбрионов от сельскохозяйственных видов с ярко выраженным характером сезонности воспроизводства. В целях изучения этой возможности нами были проведены гормональные обработки самок с сезонным типом воспроизводства на примере американской норки как в период гона, так и вне его, при различных условиях содержания – шед, виварий. При проведении гормональных обработок самок американской норки при шедовом содержании получены следующие результаты (см. табл. 6). Показано, что в марте (период половой активности) после индукции фолликулогенеза гонадотропным препаратом ФСГ-супер на яичниках определялось от

15 до 20 созревших фолликулов, при этом общее в среднем на самку составило $17,2 \pm 1,92$ созревших фолликулов. Также было отмечено, что при гонадотропной обработке у самок американской норки яичники увеличивались в своих размерах, что свидетельствовало об гонадотропном действии препарата. Размеры яичников в среднем были следующими: длина левого яичника – $7,4 \pm 1,62$ мм и ширина – $6,4 \pm 1,62$ мм, длина правого яичника – $7,6 \pm 1,62$ мм, а ширина – $6,8 \pm 2,49$ мм. При этом при гормональной обработке в августе ответной реакции на введение гонадотропинов не было зафиксировано ни у одной самки американской норки, что говорит о сезонном проявлении половой активности.

Таблица 6

Количество овуляций и размеры яичников при введении гормональных препаратов для индукции фолликулогенеза у норок при шедовом содержании
Number of ovulations and ovarian size when hormonal preparations for folliculogenesis induction are administered to minks at shepherd housing

№ п/п	Кол-во созревших фолликулов	Левый яичник длина/ширина, мм	Правый яичник длина/ширина, мм
<i>Март</i>			
Донор № 1	18	8/7	8/8
Донор № 2	16	7/6	7/6
Донор № 3	20	8/7	8/7
Донор № 4	15	7/6	7/7
Донор № 5	17	7/6	8/6
Итого	86	-	-
В ср. на самку в группе	$17,2 \pm 1,92$	$7,4 \pm 1,62 / 6,4 \pm 1,62$	$7,6 \pm 1,62 / 6,8 \pm 2,49$
<i>Август</i>			
Донор № 1	Нет реакции	–	–
Донор № 2	Нет реакции	–	–
Донор № 3	Нет реакции	–	–
Донор № 4	Нет реакции	–	–
Донор № 5	Нет реакции	–	–
Итого	Нет реакции	–	–
В ср. на самку в группе	Нет реакции	–	–

В то же время при содержании самок американской норки в виварии ответная реакция на введение гонадотропинов с целью индукции фолликулогенеза отмечалась как в сезон половой активности (март), так и вне сезона воспроизводства (август). По результатам, представленным в табл. 7, видно, что в марте у самок американской норки после обработки гонадотропинами на яичниках определялось от 14 до 21 созревшего фолликула, при этом среднее количество

созревших фолликулов составило 17 на самку, что практически не отличалось от результатов, полученных при шедовом содержании в период воспроизводства. В то же время у самок американской норки при содержании в виварии после гонадотропной обработки в августе в отличие от самок, содержащихся в виварии, регистрировали ответную реакцию. У них на яичниках определяли от 14 до 19 фолликулов, что в среднем составило $16,4 \pm 1,92$ созревших фолликула на самку. Также

у самок, содержащихся в виварии, после гормональной обработки как в сезон воспроизводства, так и вне сезона половой активности отмечали

увеличение яичников, что свидетельствует об интенсивности интродуцируемых процессов.

Таблица 7

Количество овуляций и размеры яичников при введении гормональных препаратов для индукции фолликулогенеза у норок при содержании в виварии
Number of ovulations and ovarian size during administration of hormonal preparations for induction of folliculogenesis in minks kept in the vivarium

№ п/п	Кол-во созревших фолликулов	Левый яичник длина/ширина, мм	Правый яичник длина/ширина, мм
<i>Март</i>			
Донор № 1	17	7/7	8/7
Донор № 2	21	8/6	8/8
Донор № 3	15	8/7	7/7
Донор № 4	14	8/6	7/6
Донор № 5	18	7/6	8/7
Итого	85	-	-
В ср. на самку в группе	17,2±1,92	7,6±1,52/6,4±1,58	7,6±1,61/6,8±2,35
<i>Август</i>			
Донор № 1	15	7/6	7/6
Донор № 2	14	6/6	7/6
Донор № 3	16	7/7	7/7
Донор № 4	18	8/7	7/7
Донор № 5	19	7/7	8/7
Итого	82	-	-
В ср. на самку в группе	16,4±1,92	7,0±1,0/6,6±0,4	7,2±1,0/6,6±0,49

Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях вивария введение гормональных препаратов американской норки снижает зависимость воспроизводства от сезона даже у видов с ярко выраженной такой зависимостью, что может быть существенным для сохранения животных с желательным фенотипом с использованием методов эмбриотрансплантации. Кроме того, в ранее проведенных нами исследованиях установлено, что предварительная гонадотропная стимуляция на модельном объекте самца американской норки (*Neogale vison*) позволяет получать фертильные сперматозоиды вне сезона половой активности, что может стать инструментом в преодолении ограничений воспроизводства у видов с сезонным циклом репродукции [21].

ВЫВОДЫ

1. Разработанный способ индукции множественного фолликулогенеза у самок много- и малоплодных исследованных сельскохозяйственных видов с применением пролонгаторов действия препаратов, содержащих гонадотропины гипо-

физарного происхождения, позволяет оптимизировать процедуру гормональной обработки, при этом увеличивается выход эмбрионов и/или ооцитов по сравнению с протоколом проведения данной обработки согласно инструкции применения препарата.

2. Впервые обнаружено, что специализированные промышленные породы крупного рогатого скота реагируют на введение гонадотропинов круглогодично, в то время как местные аборигенные породы проявляют сезонную половую активность.

3. Установлено, что условия содержания (шед/виварий) влияют на уровень ответной реакции при введении гонадотропинов с целью индукции фолликулогенеза у крольчих и самок американской норки. Таким образом, разработанные и испытанные протоколы введения гормональных препаратов индуцируют суперовуляцию у коров как молочного, так и мясного направления продуктивности, фолликулогенез и овуляцию у крольчих и самок американской норки при определенных условиях содержания вне зависимости от сезона.

4. Полученные результаты показывают, что разработанные и испытанные протоколы введения гормональных препаратов могут применяться в хозяйствах, специализирующихся на разведении крупного рогатого скота, домашнего кролика и американской норки с целью управления процес-

сами воспроизводства с учетом зависимости их эффективности от условий содержания животных. Разработанные протоколы можно применять и в исследовательских целях для получения эмбрионов от коров, самок домашнего кролика и американской норки методами *in vivo* и *in vitro*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hormone use for reproductive diseases and heat induction in relation to herd-level reproductive performance in Dutch dairy farms* / A. Wicaksono [et al.] // *Prev. Vet. Med.* – 2023. – Vol. 211. – P. 105832.
2. *Richards J.S., Pangas S.A.* The ovary: basic biology and clinical implications // *J. Clin. Invest.* – 2010. – Vol. 120, № 4. – P. 963–972.
3. *Orlowski M., Sarao M.S.* Physiology, Follicle Stimulating Hormone // StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024.
4. *Nedresky D., Singh G.* Physiology, Luteinizing Hormone // StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024.
5. *Краткое руководство по репродукции животных: крупный рогатый скот.* / Ред. М. Пташинская. – Минск, 2012. – 177 с.
6. *Препарат для управления половым циклом животных ФСГ-супер:* пат. 2076732 Российская Федерация / Мосин В.А., Дурманов В.Д., Пустовой В.В.; заявл. 21.06.1995; опубл. 04.10.195. – 6 с.
7. *Smith L.E., Sitton G.D., Vincent C.K.* Limited injections of follicle stimulating hormone for multiple births in beef cattle // *J. Anim. Sci.* – 1973. – Vol. 37, № 2. – P. 523–527.
8. *Kimura K.* Superovulation with a single administration of FSH in aluminum hydroxide gel: a novel superovulation method for cattle // *J. Reprod. Dev.* – 2016. – Vol. 62, № 5. – P. 423–429.
9. *Стимуляция суперовуляции у коров-доноров пролонгированной формой ФСГ:* 12490 Республика Беларусь / Бабенков В.Ю., Бабенкова Л.В., Якубец Ю.А., Токолов В.П.; опубл. 30.10.2009. – 2 с.
10. *Стимуляция суперовуляции у коров-доноров пролонгированной формой ФСГ* / В.Ю. Бабенков [и др.] // *Аграрное обозрение.* – 2010. – № 3. – P. 60–62.
11. *Взаимосвязь полиморфизма генов GDF5 и CAPN1 крупного рогатого скота калмыцкой породы с хозяйственно-биологическими признаками* / В.С. Убушиева [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2024. – № 3. – P. 288–294.
12. *Косовский Г.Ю., Попов Д.В., Бригида А.В.* Способ индукции суперовуляции у коров-доноров эмбрионов с пролонгированием действия гипофизарных гонадотропинов: пат. 2617042 Россия 2017.
13. *Косовский Г.Ю., Попов Д.В., Бригида А.В.* Фармацевтическая композиция с пролонгированным действием гонадотропинов для проведения индукции суперовуляции у самок млекопитающих: пат. 2633079 Россия 2017.
14. *Invited Review — Reproductive technologies needed for the generation of precise gene-edited pigs in the pathways from laboratory to farm* / C.-F. Tu [et al.] // *Anim. Biosci.* – 2023. – Vol. 36, № 2. – P. 339–349.
15. *A genome-wide association study for the number of teats in European rabbits (Oryctolagus cuniculus) identifies several candidate genes affecting this trait* / S. Bovo [et al.] // *Anim. Genet.* – 2021. – Vol. 52, № 2. – P. 237–243.
16. *Nieminen P., Pölönen I., Mustonen A.-M.* Increased reproductive success in the white American mink (Neovison vison) with chronic dietary β -sitosterol supplement // *Anim. Reprod. Sci.* – 2010. – Vol. 119, № 3–4. – P. 287–292.
17. *Spread of Mink SARS-CoV-2 Variants in Humans: A Model of Sarbecovirus Interspecies Evolution* / C.A. Devaux [et al.] // *Front. Microbiol.* – 2021. – Vol. 12. – P. 675528.
18. *Leung K.K.Y., Hon K.L.* Lessons from Animal Culling during Human Pandemics: Is Vaccination a Viable Option for Animals? // *Curr. Pediatr. Rev.* – 2023. – Vol. 19, № 1. – P. 2–4.
19. *Попов Д.В., Косовский Г.Ю.* Сравнительная оценка результатов извлечения эмбрионов в зависимости от метода вымывания и количества овуляций // *Кролиководство и звероводство.* – 2017. – № 3. – P. 71–74.
20. *Характеристики эмбрионов, полученных от крольчих при различных способах индукции суперовуляции* / Д.В. Попов [и др.] // *Кролиководство и звероводство.* – 2018. – № 6. – P. 9–15.
21. *Биопсия эпидидимиса самцов норок с целью получения сперматозоидов* / Г.Ю. Косовский [и др.] // *Кролиководство и звероводство.* – 2020. – № 5(1). – P. 23–29.

REFERENCES

1. Wicaksono A. et al., Hormone use for reproductive diseases and heat induction in relation to herd-level reproductive performance in Dutch dairy farms, *Prev. Vet. Med.*, 2023, Vol. 211, pp. 105832.
2. Richards J.S., Pangas S.A., The ovary: basic biology and clinical implications, *J. Clin. Invest.*, 2010, Vol. 120, No. 4, pp. 963–972.

3. Orłowski M., Sarao M.S., Physiology, Follicle Stimulating Hormone, *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*, 2024.
4. Nedresky D., Singh G., Physiology, Luteinizing Hormone, *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*, 2024.
5. Ptaszynska M., *Kratkoe rukovodstvo po reproduktivnoy zhivotnykh: krupnyy rogaty skot* (A Quick Guide to Animal Reproduction: Cattle), Minsk, 2012, 177 p.
6. *Preparat dlya upravleniya polovym tsiklom zhivotnykh FSG-super* (Drug for controlling the sexual cycle of animals FSH-super), pat. 2076732 Rossiyskaya Federatsiya, Mosin V.A., Durmanov V.D., Pustovoy V.V.; zayavl. 21.06.1995; opubl. 04.10.1995, 6 p. (In Russ.)
7. Smith L.E., Sitton G.D., Vincent C.K., Limited injections of follicle stimulating hormone for multiple births in beef cattle, *J. Anim. Sci.*, 1973, Vol. 37, No. 2, pp. 523–527.
8. Kimura K., Superovulation with a single administration of FSH in aluminum hydroxide gel: a novel superovulation method for cattle, *J. Reprod. Dev.*, 2016, Vol. 62, No. 5, pp. 423–429.
9. *Stimulyatsiya superovulyatsii u korov-donorov prolongirovannoy formoy FSG* (Stimulation of superovulation in donor cows with prolonged form of FSH), 12490 Respublika Belarus', Babenkov V.Yu., Babenkova L.V., Yakubets Yu.A., Tokolov V.P.; opubl. 30.10.2009, 2 p. (In Russ.)
10. Babenkov W.Yu. et al., *Agrarnoe obozrenie*, 2010, No. 3, pp. 60–62. (In Russ.)
11. Ubushieva V.S. et al., *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2024, No. 3, pp. 288–294. (In Russ.)
12. Kosovsky G.Yu., et al., pat. 2617042 RF, 2017. (In Russ.)
13. Kosovsky G.Yu., et al., pat. 2633079 RF, 2017. (In Russ.)
14. Tu C.-F. et al., Invited Review – Reproductive technologies needed for the generation of precise gene-edited pigs in the pathways from laboratory to farm, *Anim. Biosci.*, 2023, Vol. 36, No. 2, pp. 339–349.
15. Bovo S. et al., A genome-wide association study for the number of teats in European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) identifies several candidate genes affecting this trait, *Anim. Genet.*, 2021, Vol. 52, No. 2, pp. 237–243.
16. Nieminen P., Pölönen I., Mustonen A.-M., Increased reproductive success in the white American mink (*Neovison vison*) with chronic dietary β -sitosterol supplement, *Anim. Reprod. Sci.*, 2010, Vol. 119, No. 3–4, pp. 287–292.
17. Devaux C.A. et al., Spread of Mink SARS-CoV-2 Variants in Humans: A Model of Sarbecovirus Interspecies Evolution, *Front. Microbiol.*, 2021, Vol. 12, pp. 675528.
18. Leung K.K.Y., Hon K.L., Lessons from Animal Culling during Human Pandemics: Is Vaccination a Viable Option for Animals? *Curr. Pediatr. Rev.*, 2023, Vol. 19, No. 1, pp. 2–4.
19. Popov D.V., Kosovsky G.Yu., *Krolikovodstvo i zverovodstvo*, 2017, No. 3, pp. 71–74. (In Russ.)
20. Popov D.V. et al., *Krolikovodstvo i zverovodstvo*, 2018, No. 6, pp. 9–15. (In Russ.)
21. Kosovsky G.Yu. et al., *Krolikovodstvo i zverovodstvo*, 2020, No. 5(1), pp. 23–29. (In Russ.)

Информация об авторах:

Д.В. Попов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии НИИ пушного звероводства и кролиководства им. В.А. Афанасьева

В.Ю. Бабенков, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Калмыцкого государственного университета

Т.Т. Глазко, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник НИИ пушного звероводства и кролиководства им. В.А. Афанасьева

Г.Ю. Косовский, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник НИИ пушного звероводства и кролиководства им. В.А. Афанасьева, директор ФГБНУ НИИПЗК

Contribution of the authors:

D.V. Popov, Candidate in Biological Sciences, Leading researcher of the biotechnology department of the V.A. Afanasyev Research Institute of Fur Farming and Rabbit Breeding

W. Yu. Babenkov, Doctor in Biological Sciences, Leading Researcher at Kalmyk State University

T.T. Glazko, Doctor in Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the V.A. Afanasyev Research Institute of Fur Farming and Rabbit Breeding

G.Yu. Kosovsky, Doctor in Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher at the V.A. Afanasyev Research Institute of Fur Farming and Rabbit Breeding, Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution Research Institute of Fur Farming and Rabbit Breeding

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.