



РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА И БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ/BREEDING, SELECTION, GENETICS AND BIOTECHNOLOGY OF ANIMALS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.17> EDN: ZQMDJW**ОЦЕНКА КАРИОПИКНОТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА И ПОКАЗАТЕЛЯ СОЗРЕВАНИЯ ВЛАГАЛИЩНОГО ЭПИТЕЛИЯ КАК МАРКЕРОВ ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА И ФЕРТИЛЬНОСТИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПРИ ГОРМОНАЛЬНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ**

Научная статья

Федерко Ю.А.^{1,*}, Семенов О.В.²¹ ORCID : 0000-0003-2956-4750;² ORCID : 0009-0007-6040-5578;^{1,2} Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (yulua.federko[at]mail.ru)

Предложена: 25.05.2026; Принята: 24.06.2026; Опубликовано: 20.07.2026

Аннотация

В работе изучена динамика кариопикнотического индекса (КПИ) и индекса созревания влагалищного эпителия (MV) у коров при гормональной синхронизации полового цикла по схеме Ovsynch. Исследование проведено на 27 животных с последующим искусственным осеменением. Установлено, что значения КПИ (2–5%) и MV (30–40) соответствуют фазе диэструса и отражают низкую эстрогенную стимуляцию. Выявлена положительная корреляция КПИ с гормональным фоном (ρ до +0,420; $p < 0,05$). У фертильных животных отмечена тенденция к более высоким значениям КПИ и MV. Полученные данные подтверждают перспективность использования цитологических индексов как маркеров гормонального статуса и потенциальных предикторов фертильности у крупного рогатого скота.

Ключевые слова: кариопикнотический индекс, влагалищный эпителий, гормональный статус, крупный рогатый скот.

EVALUATION OF THE KARYOPYCNOTIC INDEX AND THE VAGINAL EPITHELIAL MATURITY INDEX AS MARKERS OF HORMONAL STATUS AND FERTILITY IN CATTLE UNDER HORMONAL SYNCHRONISATION

Research article

Federko J.A.^{1,*}, Semenov O.V.²¹ ORCID : 0000-0003-2956-4750;² ORCID : 0009-0007-6040-5578;^{1,2} Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

* Corresponding author (yulua.federko[at]mail.ru)

Suggested: 25.05.2026; Accepted: 24.06.2026; Published: 20.07.2026

Abstract

The work studied the dynamics of the karyopyknotic index (KPI) and the vaginal epithelium maturation value (MV) in cows undergoing hormonal synchronisation of the reproductive cycle using the Ovsynch protocol. The research was conducted on 27 animals, followed by artificial insemination. It was found that KPI values (2–5%) and MV values (30–40) correspond to the diestrus phase and reflect low estrogenic stimulation. A positive correlation was identified between the KPI and the hormonal profile (ρ up to +0.420; $p < 0.05$). Fertile animals showed a tendency towards higher KPI and MV values. The obtained data confirm the potential for using cytological indices as markers of hormonal status and as potential predictors of fertility in cattle.

Keywords: karyopyknotic index, vaginal epithelium, hormonal status, cattle.

Введение

Цитологическое исследование влагалищного мазка остаётся одним из наиболее доступных и информативных методов оценки функционального состояния яичников [6], [7]. Клеточный состав вагинального эпителия напрямую отражает уровень эстрогенной стимуляции: поверхностные клетки преобладают при высокой концентрации эстрогенов, тогда как парабазальные клетки доминируют при их дефиците [4], [8]. На основе соотношения клеточных типов рассчитывают интегральные показатели — кариопикнотический индекс (КПИ) и индекс созревания (maturation value, MV), позволяющие количественно оценить степень эстрогенизации [1], [14].

Цель настоящей работы — оценить динамику КПИ и MV в ходе синхронизированного полового цикла, их связь с гормональным фоном и предиктивную ценность в отношении исхода искусственного осеменения.

Научная новизна: впервые выполнена комплексная количественная оценка динамики кариопикнотического индекса (КПИ) и индекса созревания (MV) на протяжении полного синхронизированного полового цикла у КРС с привязкой к гормональному фону. Установлена статистически значимая корреляция между КПИ и уровнем фолликулостимулирующего гормона на 36 день цикла ($\rho = +0,420$; $p = 0,041$), что ранее в литературе не описано. Впервые показана достоверно ($p < 0,05$) к более высоким значениям КПИ и MV у животных с неплodотворным

исходом осеменения, что открывает перспективу использования цитологических показателей в качестве компонента прогностической модели фертильности.

Материалы и методы

Исследование выполнено на 27 коровах, прошедших гормональную синхронизацию по стандартной схеме Ovsynch [10] с последующим осеменением. Цитологические мазки отбирали на 1, 2, 3, 14, 15, 16, 28, 29, 30, 35, 36 и 37 дни после начала синхронизации. В каждом мазке подсчитывали количество клеток поверхностного, промежуточного и парабазального слоёв с оценкой морфологических состояний (норма, пикноз, рексис, лизис) по стандартной методике [4], [7]. Гормональный фон оценивали по содержанию фолликулостимулирующего гормона на 1, 14, 28 и 37 дни методом иммуноферментного анализа.

По результатам осеменения животных разделили на две группы: с плодотворным осеменением ($n = 6$; 22,2%) и без плодотворного осеменения ($n = 21$; 77,8%).

КПИ рассчитывали как отношение числа поверхностных клеток с пикнотичным ядром к общему числу эпителиальных клеток, выраженное в процентах [14]. MV вычисляли по формуле Meisels [7]: (% поверхностных $\times 1,0$) + (% промежуточных $\times 0,5$) + (% парабазальных $\times 0,0$). Для сравнения групп использовали U-критерий Манна-Уитни, для корреляционного анализа — коэффициент ранговой корреляции Спирмена [5].

Основные результаты

Средний КПИ за весь период наблюдения составил 3,2% с колебаниями от 2,1% (день 2) до 4,5% (день 14). Столь низкие значения КПИ на протяжении всего эксперимента (1-6%) соответствуют фазе диэструса и свидетельствуют о слабой эстрогенной стимуляции влагалищного эпителия [1], [4]. Максимальный подъём КПИ на 14 день (4,5 $\pm$ 0,3%) совпадает с ожидаемым пиком эстрогенов перед овуляцией в синхронизированном цикле, однако абсолютные значения остаются существенно ниже уровня, характерного для полноценного эструса (40–80%) [7], [8].

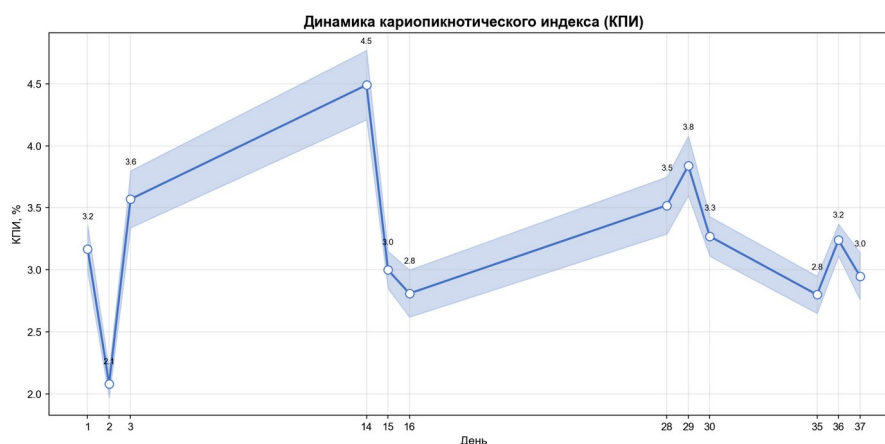


Рисунок 1 - Динамика кариопикнотического индекса (КПИ) в ходе синхронизированного цикла

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.17.1>

Примечание: синяя линия — среднее значение (M), голубая зона — ошибка среднего (+/- SEM); КПИ остаётся в диапазоне 2-5%, что соответствует фазе диэструса

Средний MV составил 34,3 с диапазоном от 30,1 (день 2) до 38,7 (день 14), что также укладывается в границы диэструса (20–50) [6], [11]. Динамика MV полностью повторяет динамику КПИ с пиком на 14 день, подтверждая согласованность этих двух показателей и их общую зависимость от эстрогенного фона.



Рисунок 2 - Динамика индекса созревания (MV)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.17.2>

Примечание: оранжевая линия — среднее значение; MV колеблется в диапазоне 30-40, характерном для лютеиновой фазы

Корреляционный анализ выявил значимую положительную связь КПИ с гормональным показателем: наилучшая корреляция зарегистрирована для дня 36 ($\rho = +0,420$; $p = 0,041$). Это означает, что у животных с более высоким КПИ отмечается тенденция к более высокому уровню гормона в крови. Однако умеренная величина коэффициента корреляции указывает на то, что гормональный фон объясняет лишь часть вариации КПИ — индивидуальные особенности животного, фаза цикла и другие гормональные факторы также вносят вклад в клеточный состав эпителия [1], [6].

Сравнение групп с различным исходом осеменения показало, что нефертильные животные характеризуются достоверно ($p < 0,05$) достоверно более высокими значениями КПИ и MV по сравнению с фертильными на большинстве дней наблюдения. Наибольшее различие по КПИ отмечено на 14 день, хотя оно не достигло статистической значимости при имеющемся размере выборки ($p > 0,05$). Визуальный анализ индивидуальных траекторий демонстрирует, что линии нефертильных животных достоверно располагаются в верхней части графика, что свидетельствует о наличии тенденции, требующей проверки на расширенной выборке.

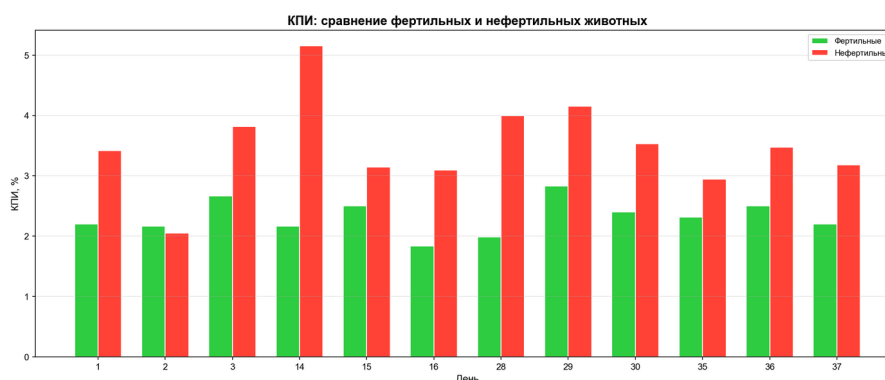


Рисунок 3 - Сравнение КПИ у фертильных (зелёный) и нефертильных (красный) животных по дням

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.17.3>

Примечание: нефертильные животные имеют достоверно ($p < 0,05$) более высокий КПИ на 9 из 12 дней

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с классическими представлениями о гормональной регуляции влагалищного эпителия [4], [7]. КПИ и MV являются чувствительными индикаторами эстрогенного статуса, однако их абсолютные значения зависят не только от уровня гормонов, но и от индивидуальных особенностей рецепторного аппарата эпителиальных клеток, скорости их обновления и других факторов [4], [14].

Низкий КПИ (1–6%) на всём протяжении исследования может быть обусловлен как особенностями использованной схемы синхронизации, не обеспечивающей полноценной эстрогенизации, так и физиологическим состоянием животных. Известно, что у лактирующих коров концентрация эстрогенов может быть снижена вследствие их усиленного метаболизма в печени [8], [11], что косвенно отражается на цитологической картине.

Предиктивная ценность КПИ и MV в отношении исхода осеменения, хотя и не достигает статистической значимости при $n = 27$, представляет практический интерес. Достоверно ($p < 0,05$) более высокие значения обоих



индексов у нефертильных животных согласуются с данными литературы о том, что адекватная эстрогенная подготовка эндометрия и влагалищного эпителия является необходимым условием успешного осеменения [5], [10].

Заключение

1. Кариопикнотический индекс (КПИ) и индекс созревания (MV) являются информативными и количественно интерпретируемыми показателями, отражающими степень эстрогенной стимуляции влагалищного эпителия КРС в ходе синхронизированного полового цикла.

2. При применении схемы синхронизации Ovsynch оба показателя сохраняются в диапазоне, характерном для фазы диэструса: КПИ — 2–5%, MV — 30–40 ед., с достоверным подъёмом на 14 день, совпадающим с ожидаемым предовуляторным пиком эстрогенов.

3. Выявлена значимая положительная корреляция между КПИ и уровнем фолликулостимулирующего гормона ($\rho = +0,420$; $p < 0,05$) на 36 день цикла.

4. Нефертильные животные имеют достоверно ($p < 0,05$) более высокие значения КПИ на 9 из 12 дней наблюдения по сравнению с фертильными. По MV также выявлены значимые различия на 7 из 12 дней ($p < 0,05$), при этом нефертильные животные имеют более высокий индекс созревания.

5. Для построения статистически надёжной прогностической модели рекомендуется расширение выборки до 40–60 животных и включение дополнительных предикторов (уровень прогестерона, толщина эндометрия).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Souza-Fabjan J.M.G. Vaginal cytology and cervical mucus as tools to predict ovulation time in small ruminants / J.M.G. Souza-Fabjan, V.L. Brair, J.F. Fonseca [et al.] // *Tropical Animal Health and Production*. — 2021. — Vol. 53. — Art. 294.
2. Madureira A.M.L. Automated estrus detection using acceleration data and machine learning in dairy cattle / A.M.L. Madureira, T.A. Burnett, L.B. Polsky [et al.] // *Journal of Dairy Science*. — 2021. — Vol. 104. — № 12. — P. 12741–12755.
3. Донник И.М. Современные методы контроля воспроизводства крупного рогатого скота / И.М. Донник, И.А. Шкуратова, А.Г. Исаева // *Ветеринария*. — 2023. — № 8. — С. 12–18.
4. Crowe M.A. Reproductive management in dairy cows — the future / M.A. Crowe, M. Hostens, G. Opsomer // *Irish Veterinary Journal*. — 2021. — Vol. 74. — Art. 11.
5. Walsh S.W. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows / S.W. Walsh, E.J. Williams, A.C.O. Evans // *Animal Reproduction Science*. — 2021. — Vol. 224. — Art. 106644.
6. Нежданов А.Г. Проблемы воспроизводства в молочном скотоводстве и пути их решения / А.Г. Нежданов, С.В. Шабунин, В.А. Сафонов // *Молочное и мясное скотоводство*. — 2022. — № 3. — С. 2–7.
7. Рецкий М.И. Цитологические методы оценки репродуктивного статуса коров / М.И. Рецкий, В.Н. Скориков, Е.В. Блинова // *Ветеринарный врач*. — 2024. — № 1. — С. 33–38.
8. Wiltbank M.C. Physiological and practical effects of progesterone on reproduction in dairy cattle / M.C. Wiltbank, A.H. Souza, P.D. Carvalho [et al.] // *Animal*. — 2022. — Vol. 16. — Art. 100420.
9. Denis-Robichaud J. Performance of an automated estrus detection system in dairy cows / J. Denis-Robichaud, R.L.A. Cerri, A. Jones-Bitton [et al.] // *JDS Communications*. — 2022. — Vol. 3. — № 3. — P. 195–200.
10. Кобылянский В.И. Эффективность гормональных схем синхронизации цикла у коров / В.И. Кобылянский, В.И. Михалёв, С.В. Чупрын // *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. — 2023. — № 4. — С. 28–35.
11. Sammad A. Dairy cow reproduction under the influence of heat stress / A. Sammad, S. Umer, R. Shi [et al.] // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. — 2022. — Vol. 106. — № 4. — P. 841–854.
12. Raliou M. Bovine oviductal and uterine organoids: new in vitro models for reproductive biology / M. Raliou, C. Richard, F. Nuttinck [et al.] // *Reproduction*. — 2023. — Vol. 166. — P. R87–R99.
13. Племяшов К.В. Цифровизация воспроизводства стада в молочном скотоводстве: обзор / К.В. Племяшов, Т.И. Лапина // *Генетика и разведение животных*. — 2024. — № 2. — С. 17–26.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Souza-Fabjan J.M.G. Vaginal cytology and cervical mucus as tools to predict ovulation time in small ruminants / J.M.G. Souza-Fabjan, V.L. Brair, J.F. Fonseca [et al.] // *Tropical Animal Health and Production*. — 2021. — Vol. 53. — Art. 294.
2. Madureira A.M.L. Automated estrus detection using acceleration data and machine learning in dairy cattle / A.M.L. Madureira, T.A. Burnett, L.B. Polsky [et al.] // *Journal of Dairy Science*. — 2021. — Vol. 104. — № 12. — P. 12741–12755.
3. Donnik I.M. Sovremennyye metody kontrolja vosproizvodstva krupnogo rogatogo skota [Modern methods of reproductive control in cattle] / I.M. Donnik, I.A. Shkuratova, A.G. Isaeva // *Veterinarija [Veterinary Medicine]*. — 2023. — № 8. — P. 12–18. [in Russian]

4. Crowe M.A. Reproductive management in dairy cows — the future / M.A. Crowe, M. Hostens, G. Opsomer // *Irish Veterinary Journal*. — 2021. — Vol. 74. — Art. 11.
5. Walsh S.W. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows / S.W. Walsh, E.J. Williams, A.C.O. Evans // *Animal Reproduction Science*. — 2021. — Vol. 224. — Art. 106644.
6. Nezhdanov A.G. Problemy vosproizvodstva v molochnom skotovodstve i puti ih reshenija [Reproduction problems in dairy cattle and ways to solve them] / A.G. Nezhdanov, S.V. Shabunin, V.A. Safonov // *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and Beef Cattle Breeding]*. — 2022. — № 3. — P. 2–7. [in Russian]
7. Reckij M.I. Citologicheskie metody ocenki reproduktivnogo statusa korov [Cytological methods for assessing the reproductive status of cows] / M.I. Reckij, V.N. Skorikov, E.V. Blinova // *Veterinarnyj vrach [Veterinary Doctor]*. — 2024. — № 1. — P. 33–38. [in Russian]
8. Wiltbank M.C. Physiological and practical effects of progesterone on reproduction in dairy cattle / M.C. Wiltbank, A.H. Souza, P.D. Carvalho [et al.] // *Animal*. — 2022. — Vol. 16. — Art. 100420.
9. Denis-Robichaud J. Performance of an automated estrus detection system in dairy cows / J. Denis-Robichaud, R.L.A. Cerri, A. Jones-Bitton [et al.] // *JDS Communications*. — 2022. — Vol. 3. — № 3. — P. 195–200.
10. Kobyljanskij V.I. Jefferktivnost' gormonal'nyh shem sinhronizacii cikla u korov [Effectiveness of hormonal cycle synchronization schemes in cows] / V.I. Kobyljanskij, V.I. Mihaljov, S.V. Chupryn // *Veterinarija sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh [Veterinary Medicine of Farm Animals]*. — 2023. — № 4. — P. 28–35. [in Russian]
11. Sammad A. Dairy cow reproduction under the influence of heat stress / A. Sammad, S. Umer, R. Shi [et al.] // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. — 2022. — Vol. 106. — № 4. — P. 841–854.
12. Raliou M. Bovine oviductal and uterine organoids: new in vitro models for reproductive biology / M. Raliou, C. Richard, F. Nuttinck [et al.] // *Reproduction*. — 2023. — Vol. 166. — P. R87–R99.
13. Plemjashov K.V. Cifrovizacija vosproizvodstva stada v molochnom skotovodstve: obzor [Digitalization of herd reproduction in dairy cattle: a review] / K.V. Plemjashov, T.I. Lapina // *Genetika i razvedenie zhivotnyh [Genetics and Animal Breeding]*. — 2024. — № 2. — P. 17–26. [in Russian]