

Молекулярно-генетические и биотехнологические инновационные методы в современном животноводстве (обзор)

Адыля Камилевна Сибгатуллова¹, Аниса Илдаровна Даминова¹,
Лариса Павловна Падило², Александр Мефодьевич Семиволос²

¹Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия, e-mail: sibgatullova92@mail.ru

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия, e-mail: semivolos-am@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены молекулярно-генетические и биотехнологические инновационные методы ведения современного животноводства. Переход животноводства к инновационным методам развития ставит новые задачи перед зоотехнической и ветеринарной наукой, образованием и концептуально меняет подходы к созданию новых высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных. Новые инновационные методики и технологии позволяют специалистам отслеживать состояние стада в режиме реального времени, предотвращать вспышки инфекционных болезней и оптимизировать кормление животных, селекционную и ветеринарную работу по повышению безопасности жизнедеятельности животных.

Ключевые слова: селекция; ПЦР; локусы; геном; ДНК; ПЦР-ПДРФ.

Для цитирования: Сибгатуллова А. К., Даминова А. И., Падило Л. П., Семиволос А. М. Молекулярно-генетические и биотехнологические инновационные методы в современном животноводстве (обзор) // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 128–133. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp128-133>.

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECHNICS

Original article

Molecular genetic and biotechnological innovative methods in modern animal husbandry (review)

Adilya K. Sibgatullova¹, Anisa I. Daminova¹, Larisa P. Padilo², Alexander M. Semivolos²

¹Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia, e-mail: sibgatullova92@mail.ru

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilova, Saratov, Russia, e-mail: semivolos-am@yandex.ru

Abstract. The article presents molecular genetic and biotechnological innovative methods of modern animal husbandry. The transition of animal husbandry to an innovative way of development poses new challenges to zootechnical and veterinary science, education and conceptually changes approaches to the creation of new highly productive breeds of farm animals. New innovative methods and technologies allow specialists to monitor the condition of the herd in real time, prevent outbreaks of infectious diseases and optimize animal feeding, breeding and veterinary work to improve the safety of animal life.

Keywords: selection; PCR; loci; genome; DNA; PCR-PDRF.

For citation: Sibgatullova A. K., Daminova A. I., Padilo L. P., Semivolos A. M. Molecular genetic and biotechnological innovative methods in modern animal husbandry (review). Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(10):128–133. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp128-133>.

В настоящее время животноводческие предприятия все чаще используют роботов и роботизированные устройства на производстве или задают алгоритмы для оптимизации своих решений по управлению [24]. Процесс автоматизации в сфере сельского хозяйства, внедрение его в животноводство и интеграция внутрихозяйственных систем и процессов играют огромную роль для облегчения работы специалистов. Внедрение робототехники на животноводческих предприятиях позволяет снизить затраты на ручной труд, а значит и возможные риски производства, связанные с человеческим воздействием [10, 16].

Основными инновационными технологиями в животноводческих хозяйствах являются электронная запись, машинное доение, автоматическое взвешивание, селекция, кормление, мониторинг состо-





яния здоровья животных, содержание скота и конструктивные особенности оборудования помещений [12, 22]. Робототехника стала играть большую роль в сельскохозяйственной отрасли. Она способна осуществлять сложные операции при создании продукции животноводства. В дальнейшем будет осуществляться постепенный переход на роботизированные животноводческие предприятия [9].

Цель исследования – изучение современных научных точек зрения на концепцию и анализ инноваций в отрасли животноводства.

Преимущества новых технологий многочисленны и включают в себя улучшение условий труда работников животноводства, производственный мониторинг (удаленный мониторинг, доступ к данным в режиме реального времени) и оперативное предоставление важных производственных данных [23].

Непрерывный мониторинг заболеваний и тщательное управление ими имеют большое значение для ветеринарного благополучия животных в хозяйствах, поскольку появляется возможность диагностики различных заболеваний на ранних стадиях, что позволяет осуществлять более эффективное лечение [14, 20].

Автоматизация сегодня – это сложные технологии и программное обеспечение. На животноводческих предприятиях для лучшего их введения применяют множество компьютерных программ, которые могут осуществлять [15, 21] идентификацию и классификацию некоторых физиологических процессов и функций организма животных (звуки, двигательная функция мускулатуры).

Высокотехнологичное доение. Доение, безусловно, является одним из наиболее важных аспектов производства молока. Идея доильного робота возникла более 100 лет назад. Густав де Лаваль, инженер из Швеции, запатентовал первое доильное оборудование в 1894 г. Спустя 98 лет, в 1992 г., датская компания Lely представила Lely Astronaut, первую полностью автоматическую систему доения и контроля качества молока [11].

В настоящее время процесс доения сельскохозяйственных животных – задача комплексная. Она является таковой при использовании роботизированного оборудования. Сам процесс доения не стоит считать полной заменой дояркам. Автоматизированная техника – не только доильный аппарат с насадками стаканов, это огромная часть системы.

Роботизированные доильные аппараты – это новые технологии, которые берут на себя труд молочного животноводства и снижают потребность в гуманном взаимодействии с животными. Автоматизированное доение является подходящим решением для крупных животноводческих хозяйств, поскольку по всему миру есть несколько примеров таких успешных предприятий, работающих в различных условиях.

В то время как затраты на технологии снижаются, затраты на рабочую силу растут. Эта необратимая тенденция затронула большинство отраслей, и молочная промышленность не является исключением. Автоматизация станет устойчивым решением будущего. Благодаря появлению доильных аппаратов на животноводческих предприятиях произошло изменение структуры персонала, рабочих процедур, изменились подход к содержанию и кормлению животных, принцип взаимодействия с животными [2].

Роботизированное доение изменяет многие аспекты управления предприятием, поскольку меняется как характер, так и организация труда. Ручной труд частично заменяется управлением и контролем, присутствия доярок в обычные часы доения больше не требуется. Изменяется управление животными, включая маршрутизацию внутри коровника, возможность выпаса и использование полных смешанных рационов. Высокий уровень управления и реалистичные ожидания необходимы для успешного внедрения автоматического доения.

Процесс доения – важный технологический процесс. Применение робота в доении животных дает возможность исключить отрицательное влияние человека. Доильные аппараты способствуют увеличению надоев молока на 5–10 %, что в основном связано с увеличением частоты доения [3, 4].

Доение, удой, качество молока, движение коров, поведение и приспособление к окружающей среде являются важными элементами роботизированного доения. Его достоинства высоко оценены российскими обладателями такого оборудования [2]. При оценке показателей продуктивности животноводческие предприятия ориентируются не только на надой и качество молока, но и на изменение живой массы дойных коров и, конечно же, на здоровье.

Целью каждого животноводческого предприятия должно быть создание условий содержания, доения коров, способствующих их комфорту, повышению продуктивности молока и улучшению здоровья стада.



Известно, что в среднем коров в доильных залах используют 2,5 лактации, а при использовании автоматизированного доения этот уровень способен достигать 3,8–4,0 лактации [14].

Неполное выдаивание и передаивание невозможны при машинном доении животных. В качестве профилактики мастита необходимо проводить обработку вымени коровы до и после доения. Все эти мероприятия нужно проводить в заданной последовательности. Роботом должна осуществляться проверка надоенного молока на наличие мастита путем отбора пробы с каждой доли вымени на электропроводность и наличие крови. Молоко, полученное от коровы с подозрением на мастит, автоматически отправляется в отдельную емкость [11].

Новейшие технологии (фитнес-трекеры, датчики). Новейшая технология, используемая в странах Европы и Азии (Голландия, Россия, Китай) – это фитнес-трекер, или прибор для сигнализации о начинающемся отеле животного. Такие устройства разрабатывают ученые по всему миру. Один из самых технологичных – это фитнес-трекер для коровы типа «умных часов», созданный учеными университета Цзяотун (Китай). Данное устройство измеряет количество шагов, жевательную активность и посылает сигналы тревоги в случае каких-либо поведенческих проблем у животного. Затем каждой корове присоединяется устройство на ремне в области шеи, обеспечивающее индивидуальный контроль. Для составления наилучшего соотношения для каждой коровы в программное обеспечение встроены «умные калькуляторы». Следует отметить, что производители молочной продукции также используют автоматические мойки копыт, системы освещения, роботов для уборки навоза и автоматические щетки для чистки коров [13].

В 2017 г. появились новые технологии – болюсы-пилюли с несколькими датчиками, которые проглатывают коровы для регуляции усвоения корма. Так, российские ученые из Национального исследовательского университета МИЭТ и Федерального научного агроинженерного центра ВИМ разработали болюсы, в которых есть электрический термометр, датчик кислотности и акселерометр. Данные датчики способны в течение пяти лет передавать данные о здоровье и активности коровы, а также предсказывать удои и регулировать кормление животного непосредственно в хозяйстве по специальным компьютерным программам.

Данную технологию успешно внедрила ЗАО Агрофирма «Павловская нива» Воронежской области. Эта система позволяет зооветспециалистам понять, насколько качественный рацион у животных (показатели изменения кислотности в рубце). Единственным недостатком данной системы можно считать ее высокую стоимость [13].

Разведение и генетика. Генетическая информация о самках и самцах-производителях имела и имеет важнейшее значение в селекционной работе. В перспективе все геномные племенные показатели будут учитываться на основании маркеров, а не на основе родословной и фенотипических данных. Маркеры, выявляющие вариации на уровне ДНК, называются молекулярными. Они являются генетической основой для оценки наблюдаемой фенотипической изменчивости. Уже имеются данные по составлению карт генома крупного рогатого скота, и эти разработки предоставляют новые возможности для разведения и моделирования племенной ценности каждого животного [18, 19].

Особенно полезными являются тесты на основе ДНК для выявления генов или маркеров, оказывающие влияние на признаки, которые в данный момент сложно измерить: качество мяса и устойчивость к болезням [18]. В сочетании с современными репродуктивными технологиями существует возможность для использования замороженной в жидком азоте зародышевой плазмы (банки генетических ресурсов) для поддержки мер по сохранению генетического разнообразия видов, находящихся под угрозой исчезновения [24].

Для хозяйств, которые собирают информацию о животных в электронном виде в автоматическом режиме и тщательно отслеживают ее, может быть разработана отдельная категория тестов на получаемое потомство [6, 7, 10].

Интенсивное развитие животноводства невозможно без применения классических методов селекции сельскохозяйственных животных и новейших технологий, в том числе молекулярно-генетических, которые нужны для изучения молекулярных информационных технологий. Ранняя селекция животных позволяет разрабатывать инновационные методы разведения, которые увеличивают генетическое развитие при одновременном снижении затрат.

Для генетического улучшения скота наступила новая эпоха молекулярных маркеров. В последнее время геномные инструменты широко используются для изучения и характеристики генетического разнообразия и структуры популяций домашнего скота. Генетическое разнообразие домашних пород позволяет заводчикам развивать новые характеристики в ответ на изменчивость



окружающей среды, болезней или рыночных условий. Главным инструментом в руках селекционеров остаются базы данных по родословным, продуктивным показателям, данные по состоянию здоровья животных, передвижению племенных сельскохозяйственных животных, а также племенной продукции (сперма, замороженные эмбрионы и т.д.) [1, 9].

Оценка генотипа племенных животных всегда являлась основой селекционной работы. Проверка производителей сельскохозяйственных животных по потомству и анализ родословной до конца XX века были основным материалом для обеспечения эффективности селекции. Работы в области селекции по фенотипу достигли больших успехов к началу XXI века. Сбор фенотипических и генотипических данных из эталонной популяции является начальным шагом в процессе геномной селекции.

Склонность к болезням, репродуктивные качества животных сложно улучшить с применением только селекции по фенотипу. Такие хозяйственно полезные качества могут быть использованы в селекции с применением молекулярных и цитогенетических методов [5]. При осторожном применении молекулярная информация в программах селекции способствует повышению продуктивности животных, усилению адаптации к окружающей среде и сохранению генетического разнообразия.

Плодовитость, долголетие, устойчивость к болезням, благополучие, лучшее использование кормовых ресурсов и уменьшение воздействия на окружающую среду – все это желательные качества в программах разведения животных, разработанных в зависимости от условий ведения хозяйства. Заводчики также занимаются сохранением, улучшением и продвижением местных пород.

Таким образом, устойчивость к генетическим заболеваниям позволяет улучшить состояние здоровья сельскохозяйственных животных, увеличить продуктивность и уменьшить потребность в медикаментозном вмешательстве, а также снизить затраты и отсрочить появление устойчивых патогенов. Все это – наиболее важные области применения молекулярного генома. На сегодняшний день одним из широко применяемых молекулярно-генетических методов в селекции сельскохозяйственных животных является анализ микросателлитных маркеров, которые в некоторых случаях наследуются сцепленно с генами, отвечающими за различные хозяйственно полезные признаки [5, 9].

Для оценки генетической структуры и разнообразия популяций животных используют различные генетические маркеры. Молекулярные маркеры очень важны для определения генетической изменчивости внутри популяции и между ними, реконструкции родословных данных, измерения эффективной популяции. Большинство молекулярных маркеров, используемых в настоящее время с высокопроизводительными системами, представляют собой микросателлитные маркеры (простые tandemные повторы) и однонуклеотидные полиморфизмы.

На сегодняшний день микросателлиты (короткие tandemные повторы) считаются наиболее часто используемыми маркерами в исследованиях генетических характеристик сельскохозяйственных животных. В животноводстве микросателлитные маркеры стали ценными инструментами для оценки генетической структуры популяции и для отбора с помощью маркеров на основе генетического картирования заболеваний и хозяйственных признаков.

Короткие tandemные (простые) повторы представляют собой сегменты повторяющейся ДНК с короткой длиной повтора, обычно от двух до шести нуклеотидов. Они имеют более высокую частоту мутаций, обладают большей скоростью изменчивости, чем другие участки ДНК, что приводит к высокому генетическому разнообразию. Их чаще всего используют в генотипировании, поскольку они высокоинформативны, разбросаны по всему геному и дают одновременно амплифицировать разные области.

Микросателлиты используют для изучения хозяйственно полезных признаков различных популяций и в качестве маркеров наследственных заболеваний. Короткие tandemные повторы локализованы по всему геному и способны увеличивать возможность сцепления с локусами, которые отвечают за количественные признаки. Исследование генома удалось упростить благодаря методу амплификации фрагментов ДНК с применением ПЦР-ПДРФ (полимеразной цепной реакции и полиморфизма длин рестрикционных фрагментов) – амплификации отдельных участков ДНК с помощью небольшого числа нуклеотидных последовательностей, называемых праймерами [1, 17].

Молекулярные маркеры играют важную роль в селекции животных с точки зрения их идентификации и определения генетического разнообразия по уровням полиморфизма ДНК. Растущая доступность молекулярных маркеров у крупного рогатого скота позволяет проводить детальный анализ и оценку генетического разнообразия, а также обнаруживать гены, влияющие на экономически важные признаки. Селекцию с помощью маркеров можно использовать для выявления генов, отвечающих за генетические нарушения, устойчивость к болезням и качество продукции.



Применение ДНК-маркеров для ускорения решения селекционных задач получило название «маркер-зависимая селекция (MAS-marker-assisted selection)». ДНК-маркеры – это аллельные вариации генов, напрямую или косвенно взаимосвязанные с продуктивными и адаптационными признаками животных, с их устойчивостью или восприимчивостью к различным заболеваниям.

Выявление предпочтительных с точки зрения селекции вариантов таких генов позволяет дополнительно к традиционному отбору животных по содержанию жира, белка в молоке, уровню удоя осуществлять селекцию по генотипу [8].

Интеграция молекулярной, иммуногенетической и цитогенетической генетики в прикладные науки, начиная с 1980-х годов, обусловила создание целого ряда методов, позволяющих проводить оценку сельскохозяйственных животных непосредственно на уровне аллелей генотипа. Анализ молекулярных методов оценки генотипа, экспертная оценка мировых достижений в области исследования генома позволят российским ученым создать комплексную систему молекулярно-генетической оценки сельскохозяйственных животных различных видов [1].

Таким образом, быстрое внедрение новых технологий упрощает работу специалистов в области отечественного животноводства. Каждая новая технология позволит обеспечить существенное повышение производительности труда, увеличить производство продуктов питания высокого качества в хозяйствах различных форм собственности и снизить зависимость нашей страны от импорта животноводческой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнаутовский И. Д., Шарвадзе Р. Л., Гоголов В. А., Талалай Е. В. Племенному животноводству – инновационные, молекулярно-генетические, биотехнические технологии и современные кадры // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 3(43). С. 85–91.
2. Ведищев С. М. Механизация доения коров: учеб. пособие. Тамбов, 2006. 160 с.
3. Винников И. К., Забродина О. Б., Литвинов В. Н. Научно-методические рекомендации по комплексной автоматизации и модернизации доения. Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2011. 112 с.
4. Горелик О. В., Харлап С. Ю., Беляева Н. В. Эффективность применения роботизированного доения коров: материалы национальной научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. СПб., 2018. С. 29–31.
5. Зиновьева Н. А., Эрнст Л. К. Использование молекулярной генетической информации в животноводстве // Достижения в генетике, селекции и воспроизводстве сельского хозяйства: материалы Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 09–11 июня 2009. Пушкин: ВНИИГРЖ РАСХН, 2009. С. 3–7.
6. Инновационные технологии в животноводстве. URL: <https://rusagros.ru/public/innovacionnye-tehnologii-v-zhivotnovodstve> (дата обращения 11.07.23).
7. Косникова О. В. Формирование технического потенциала отрасли животноводства // Управленческий учет. 2021. № 5. С. 500–506.
8. Куприкова Н. В., Мухаметзянов Р. В. Современный рынок автоматизированных доильных систем иностранного производства в России // Экономика и социум. 2017. № 4(35). С. 813–816.
9. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Анализ применения автоматизированных и роботизированных комплексов в сельском хозяйстве // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 73–83.
10. Прохоренко П. Н. Современные методы генетики и селекции в животноводстве: материалы Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, Пушкин, 26–28 июня 2007. СПб.: Ризограф ГНУ СЗНИИ МЭСХ, 2007. С. 3–6.
11. Роботизированное доение – реальность современной России. URL: <http://perfectagro.ru/2019/05/01/роботизированное-доение-реальность>.
12. Фисинин В. И., Калашников В. В., Багиров В. А. Научное обеспечение инновационного развития животноводства России // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 9. С. 3–14.
13. Шаповалова Е. Фитнес-трекер, gps-ошейник и другие гаджеты для коров: обзор цифровых технологий для животноводов // Рынок АПК. 2023. № 4(233). С. 12–14.
14. Athanasios S. V., Charalampous Z. P., Alexander B. S. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology // Computers and Electronics in Agriculture. 2010. No. 70(2). P. 380–388.
15. Crowe M. A., Ferrari S., Piccinini R., Silva M. Cough sound description in relation to respiratory diseases in dairy calves // Preventive Veterinary Medicine. 2010. No. 96. P. 276–280.
16. Chebrolu N., Lottes P., Schaefer A. Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields // The International Journal of Robotics Research. 2017. Vol. 36. P. 1045–1052.
17. Garin D., Caja G., Bocquier F. Effects of small ruminant boluses used for electronic identification for lambs on the growth and the development of the reticulorumen // Journal of Animal Science. 2003. Vol. 81. P. 879–884.
18. Leakey R. Impacts of AKST (agricultural knowledge science and technology) on development and sustainability goals. In: BD MI, Herren H.R., Wakhungu J., Watson R.T. editors. Agriculture at a crossroads. Washington, DC: Island Press, 2009. P. 145–253.

19. Lewin H. A. It's a bull's market // *Science*. 2009. No. 324(5926). P. 478–479.
20. Rainard P., Riollot C. Innate immunity of the bovine mammary gland // *Veterinary Research*. 2006. No. 37(3). P. 369–400.
21. Rainard P., Exadaktylos V., Silva M., Aerts J. Real-time recognition of sick pig cough sounds // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008. Vol. 63. P. 207–214.
22. Risco C. A., Shamshiri R. R. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming // *Int J Agric & Biol Eng*. 2018. No. 11(4). P. 14.
23. Sordillo L. M., Shafer-Weaver K., De Rosa D. Immunobiology of the mammary gland // *Journal of Dairy Science*. 1997. No. 80. P. 1851–1865.
24. Thornton P. K. Livestock production: Recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society // B: Biological Sciences*. 2010. No. 365(1554). P. 2853–2867.

REFERENCES

1. Arnautovsky I. D., Sharvadze R. L., Gogulov V. A., Talalay E. V. Livestock breeding – innovative, molecular genetic, biotechnical technologies and modern personnel. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2017;3(43): 85–91. (In Russ.).
2. Vedishchev S. M. Mechanization of milking cows: textbook. Tambov; 2006. 160 p. (In Russ.).
3. Vinnikov I. K., Zabrodina O. B., Litvinov V. N. Scientific and methodological recommendations for complex automation and modernization of milking. Zernograd: SKNIIMESKH; 2011. 112 p. (In Russ.).
4. Gorelik O. V., Kharlap S. Yu., Belyaeva N. V. Efficiency of using robotic milking of cows: materials of the national scientific conference of teaching staff, researchers and graduate students of St. Petersburg State Academy of Mechanics and Mathematics. St. Petersburg; 2018. P. 29–31. (In Russ.).
5. Zinovieva N. A., Ernst L. K. Use of molecular genetic information in animal husbandry. Advances in genetics, selection and agricultural reproduction: materials of the International. scientific conf., St. Petersburg, June 09–11, 2009. Pushkin: VNIIGRZH RAASKHN; 2009. P. 3–7. (In Russ.).
6. Innovative technologies in livestock farming. URL: <https://rusagros.ru/public/innovacionnye-tehnologii-v-zhivotnovodstve> (accessed 07/11/23). (In Russ.).
7. Kosnikova O. V. Formation of the technical potential of the livestock industry. *Management accounting*. 2021;(5): 500–506. (In Russ.).
8. Kuprikova N. V., Mukhametzyanov R. V. Modern market of automated milking systems of foreign production in Russia. *Economy and Society*. 2017; 4(35):813–816. (In Russ.).
9. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Analysis of the use of automated and robotic complexes in agriculture. *Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products*. 2018;(97):73–83. (In Russ.).
10. Prokhorenko P. N. Modern methods of genetics and selection in animal husbandry: materials of the International. scientific conf., St. Petersburg, Pushkin, June 26–28, 2007. St. Petersburg: Risograph GNU SZNI MESH; 2007. P. 3–6. (In Russ.).
11. Robotic milking is a reality of modern Russia. URL: <http://perfectagro.ru/2019/05/01/robotic-milking-reality>. (In Russ.).
12. Fisinin V. I., Kalashnikov V. V., Bagirov V. A. Scientific support of innovative development of livestock farming in Russia. *Achievements of science and technology of agro-industrial complex*. 2011;(9):3–14. (In Russ.).
13. Shapovalova E. Fitness tracker, GPS collar and other gadgets for cows: a review of digital technologies for livestock farmers. *Agricultural Industry Market*. 2023;4(233):12–14. (In Russ.).
14. Athanasios S. V., Charalampos Z. P., Alexander B. S. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010;70(2):380–388.
15. Crowe M. A., Ferrari S., Piccinini R., Silva M. Cough sound description in relation to respiratory diseases in dairy calves. *Preventive Veterinary Medicine*. 2010;(96):276–280.
16. Chebrolu N., Lottes P., Schaefer A. Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields. *The International Journal of Robotics Research*. 2017;36:1045–1052.
17. Garin D., Caja G., Bocquier F. Effects of small ruminant boluses used for electronic identification for lambs on the growth and the development of the reticulorum. *Journal of Animal Science*. 2003;81:879–884.
18. Leakey R. Impacts of AKST (agricultural knowledge science and technology) on development and sustainability goals. In: B. D. M., Herren H. R., Wakhungu J., Watson R. T. editors. *Agriculture at a crossroads*. Washington, DC: Island Press; 2009. P. 145–253.
19. Lewin H. A. It's a bull's market. *Science*. 2009;324(5926):478–479.
20. Rainard P., Riollot C. Innate immunity of the bovine mammary gland. *Veterinary Research*. 2006;37(3):369–400.
21. Rainard P., Exadaktylos V., Silva M., Aerts J. Real-time recognition of sick pig cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008;63:207–214.
22. Risco C. A., Shamshiri R. R. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *Int J Agric & Biol Eng*. 2018;11(4):14.
23. Sordillo L. M., Shafer-Weaver K., De Rosa D. Immunobiology of the mammary gland. *Journal of Dairy Science*. 1997;(80):1851–1865.
24. Thornton P. K. Livestock production: Recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society. B: Biological Sciences*. 2010;365(1554):2853–2867.

*Статья поступила в редакцию 17.07.2023; одобрена после рецензирования 24.07.2023; принята к публикации 02.08.2023.
The article was 17.07.2023; approved after 24.07.2023; accepted for publication 02.08.2023.*

