

Научная статья  
УДК 631.333.92  
DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-96-102

## Научное обоснование мероприятий по повышению эффективности утилизации отходов животноводства для малых форм хозяйствования

Людмила Зачиевна Шекихачева<sup>✉1</sup>, Дисана Славовна Апшацева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект  
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>✉1</sup>sh-ludmila-z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5987-1500>

<sup>2</sup>energo\_80@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время остро стоят экологические проблемы, в частности проблемы с истощением традиционных энергоносителей. Решение этих проблем возможно за счет перехода на использование возобновляемых источников энергии. Одним из таких источников является биоэнергетика. Биоэнергетика имеет существенные преимущества по сравнению с ископаемыми видами топлива и рядом других возобновляемых источников энергии, обеспечивая энергоснабжение, эффективную утилизацию отходов, повышение уровня жизни и благосостояния населения. Энергетические системы на основе биомассы способствуют устойчивому развитию и охране окружающей среды. Среди основных причин необходимости широкого применения возобновляемых источников энергии следует отметить их доступность, универсальность, отсутствие влияния на климат. Таким образом, организация промышленного производства биогаза на специализированных предприятиях является актуальной. В связи с этим в работе поставлена цель – разработать новые энергосберегающие научно-технические подходы, которые можно внедрять на приусадебных и фермерских хозяйствах на базе комплексной ресурсосберегающей системы с использованием малогабаритных биоэнергетических установок. Разработана комплексная энергосберегающая система с использованием малогабаритных биоэнергетических установок для приусадебных и фермерских хозяйств. В результате исследования обнаружена зависимость выхода биогаза от величины загрузки органического сырья, температуры и pH сброженных отходов. Кроме того, в зависимости от вида органического сырья были отобраны наиболее производительные ассоциации анаэробных бактерий. Установлено, что отбор продуктивных ассоциаций анаэробных бактерий в каждом конкретном случае можно реализовать с помощью специальной конструкции метантенка. На малогабаритной биоэнергетической установке при переработке 100–150 кг/сутки органических отходов можно получить 110–170 кг жидкого удобрения. Этого количества вполне достаточно для поддержания плодородия земельного участка приусадебных и фермерских хозяйств.

**Ключевые слова:** отходы животноводства, субстрат, утилизация, биоэнергетика, сбраживание, биогаз

**Для цитирования:** Шекихачева Л. З., Апшацева Д. С. Научное обоснование мероприятий по повышению эффективности утилизации отходов животноводства для малых форм хозяйствования // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова 2026. № 2(52). С. 96–102. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-96-102

Original article

## Scientific substantiation of measures to improve the efficiency of animal waste disposal for small-scale farming

Lyudmila Z. Shekikhacheva<sup>✉1</sup>, Disana S. Apshatseva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue,  
Nalchik, Russia, 360030

<sup>✉1</sup>sh-ludmila-z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5987-1500>

<sup>2</sup>energo\_80@mail.ru

**Abstract.** Environmental issues, particularly the depletion of traditional energy sources, are currently pressing. These challenges can be addressed by switching to renewable energy sources. Such a source is bioenergy. Bioenergy offers significant advantages over fossil fuels and other renewable energy sources, providing energy supply, efficient waste management, and improving living standards and well-being. Biomass-based energy systems contribute to sustainable development and environmental protection. Among the key reasons for the widespread use of renewable energy sources are their availability, versatility, and climate-neutral nature. Therefore, the development of industrial biogas production at specialized facilities is essential. Therefore, the goal of this study is to develop new energy-saving scientific and technical approaches that can be implemented on household plots and farms using an integrated resource-saving system utilizing small-scale bioenergy units. A comprehensive energy-saving system using small-scale bioenergy plants for home gardens and farms has been developed. The study revealed a dependence of biogas yield on the organic feedstock load, temperature, and pH of the digested waste. Furthermore, the most productive associations of anaerobic bacteria were selected depending on the type of organic feedstock. It was found that the selection of productive associations of anaerobic bacteria in each specific case can be achieved using a specially designed digester. A small-scale bioenergy plant, processing 100-150 kg of organic waste per day, can produce 110-170 kg of liquid fertilizer, which is sufficient to maintain the fertility of land plots in home gardens and farms.

**Keywords:** livestock waste, substrate, utilization, bioenergy, fermentation, biogas

**For citation:** Shekikhacheva L.Z., Apshatseva D.S. Scientific substantiation of measures to improve the efficiency of animal waste disposal for small-scale farming. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov* 2026;2(52):96–102. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-96-102

**Введение.** При эксплуатации животноводческих ферм и комплексов возникает много проблем: санитарно-гигиенических, экологических, экономических, социальных и т.д. Это обусловлено прежде всего значительной концентрацией животных на ограниченном пространстве и нарушением равновесия между поголовьем и площадью земельных угодий, что сопровождается накоплением большого количества навоза, сточных вод и других отходов в расчете на единицу земельной площади. Навоз содержит значительное количество патогенных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов, семян сорняков, солей тяжелых металлов и других ксенобиотиков. Попадая в почву и водоемы, навозная жидкость приводит к загрязнению грунтовых вод, биологическому заражению почвы патогенными микроорганизмами и вызывает массовое отравление водных организмов. В воде резко увеличивается содержание аммиака и уменьшается количество кислорода.

Такие компоненты отходов, как метан, диоксид углерода, аммиак и сероводород загрязняют воздух. Метан, попадая в атмосферу, приводит к парниковому эффекту, который в 22–30 раз превосходит влияние диоксида углерода и приводит к глобальным изменениям климата.

Проблемы усугубляются тем, что сельскохозяйственные угодья как биологические системы утилизации могут воспринимать повышенные дозы органических удобрений в виде навоза в ограниченном количестве. Критерием загрязнения является содержание азота, максимально допустимая концентрация которого составляет 250–300 кг/га.

Таким образом, навозная биомасса является загрязнителем окружающей среды как органическими, так и биогенными элементами. На ее долю приходится 43–66% от общей биологической нагрузки на природные системы.

Для устранения этих негативных явлений необходима специальная технологическая обработка навоза, что позволило бы повысить концентрацию питательных веществ в единице объема навоза и одновременно устранить запахи, затормозить или уничтожить патогенные микроорганизмы, снизить содержание токсичных веществ и выбросы вредных газов в атмосферу.

Решение проблемы видится в переработке отходов животноводства с получением биогаза и биоудобрения. Производство биогаза преследует цель не только обеспечить хозяйства собственной энергией, но и решить экологические проблемы. Вместе с тем исполь-

зование биогазовых технологий не всегда целесообразно из-за природно-климатических условий конкретных регионов [1–3].

Во многих странах мира достаточно сырья для организации промышленного производства биогаза из органических отходов сельскохозяйственного производства. В основном это отходы животноводства и растениеводства. Наиболее пригодны для этого навозные стоки животноводческих ферм и комплексов. Так, в сельском хозяйстве США выход навозных стоков составляет 185 млн т в год (в пересчете на сухое вещество), а с учетом потерь ежегодный объем навоза, который может быть полностью утилизирован в энергетических целях, составил 26 млн т. По данным Министерства сельского хозяйства США в стране имеется 718 тыс. откормочных предприятий, из которых 95,5 тыс. относится к числу крупных с высокой концентрацией стоков [4].

У приусадебных, фермерских и других сельхозпроизводителей есть потребность в эффективной утилизации органических отходов. В то же время сельскохозяйственные органические отходы являются природным сырьем для производства биогаза как топлива и экологически чистых органоминеральных удобрений для удовлетворения потребностей этих хозяйств как в энергоносителях, так и высококачественных удобрениях. Для решения этой проблемы во многих странах созданы биогазовые установки [5–7]. Эти установки не получили широкого внедрения у нас в стране из-за низкой эффективности. Выход биогаза в этих установках при концентрации метана до 60% составляет 1–4 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> метантенка в сутки. При этом технологические затраты биогаза на поддержку их работы достигают 50–100% полученного биогаза. Такой выход биогаза получают и сейчас на очистных коммунальных сооружениях при сбраживании осадков аэротенков. Концентрация H<sub>2</sub>S в таком биогазе может составлять до 4%, что вызывает дополнительные проблемы при его использовании.

Выход биогазовых установок на рабочий режим составляет 2–3 месяца и более [8, 9]. Причина низкой эффективности существующих биогазовых установок – возникновение различных технологических и технических проблем в процессе их работы, отсутствие комплексного подхода, научного обоснования

решения проблем анаэробной переработки органических отходов.

Исходя из вышеизложенного сформулирована **цель исследования** – разработать новые энергосберегающие научно-технические подходы, которые можно внедрять на приусадебных и фермерских хозяйствах на базе комплексной ресурсосберегающей системы с использованием малогабаритных биоэнергетических установок.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Использованы современные методы выделения и культивирования анаэробных метаногенных микроорганизмов, а также современные физико-химические методы биотехнологических исследований. Объект исследования – биоэнергетическая установка для утилизации отходов животноводства с получением биогаза и биоудобрения.

**Результаты и обсуждение.** В КФХ «Хьэм-зэт» (Терский район, Кабардино-Балкарская Республика) создана пилотная биоэнергетическая установка с объемом метантенка 4 м<sup>3</sup>. Выход биогаза при сбраживании куриного помета на этой установке при концентрации метана 85% составлял 5,6 м<sup>3</sup>/сут. Сероводород практически отсутствовал [10].

Технологические потребности энергоносителей составили 7% полученного биогаза. При этом получены сбалансированные по углероду и NPK сброженные отходы, которые после стабилизации, химического связывания летучих веществ представляют собой высококачественные органоминеральные удобрения. Технология процесса сбраживания и стабилизации органических отходов позволяет изменять соотношение N, P и K. Выход установки на рабочий режим составил 2,5 недели.

В процессе испытания обнаружена зависимость выхода биогаза от величины загрузки органического сырья, экспозиции отходов в метантенке, температуры и pH сброженных отходов. Кроме того, в зависимости от вида органического сырья были отобраны наиболее производительные ассоциации анаэробных бактерий. Установлено, что отбор продуктивных ассоциаций анаэробных бактерий в каждом конкретном случае можно реализовать с помощью специальной конструкции метантенка.

Разработана комплексная энергосберегающая система с использованием малогаба-

ритных биоэнергетических установок для приусадебных и фермерских хозяйств. Энергосберегающая система представляет собой комплекс из энергетически взаимодействующих элементов: дом–теплица–биогазовый реактор. Наружные стены дома и цоколь теплицы выполнены трехслойными из керамического и силикатного кирпича со слоем искусственного или природного утеплителя. Торцевая стена дома со стороны теплицы на всю высоту запроектирована массивной и выполняет роль теплоаккумулятора. Это позволит накапливать тепловую энергию днем и отдавать ее в систему ночью, что увеличит инерционность системы отопления и будет способствовать повышению комфортности жилых помещений, стабилизации условий произрастания растений в теплице.

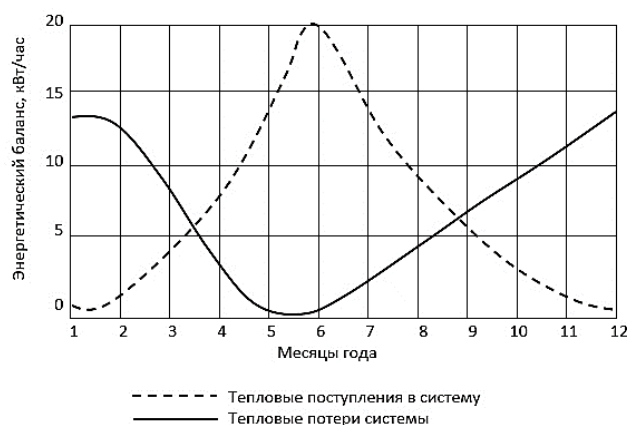
С целью сохранения тепловой энергии в теплице предусмотрено устройство утеплительного рулонного покрытия, которое с помощью механизма открывает остекленную поверхность теплицы днем и закрывает ее на ночь. При этом потери энергии от ночного охлаждения уменьшаются в 1,6 раза.

На основе количественного анализа теплового баланса системы показана эффективность блокировки теплицы с домом, а также целесообразность устройства биогазового реактора в теплице, обеспечивающего выработку биогаза в виде газового горючего, днем может аккумулировать солнечную энергию для поддержания технологической температуры биореактора +32 или +50 °С. Поскольку температура биогазового реактора выше температуры воздуха в теплице ночью, биореактор будет отдавать часть низкопотенциальной энергии в виде тепла в окружающее пространство теплицы, создавая более комфортные температурные условия выращивания сельскохозяйственных культур. Это особенно актуально в наших климатических широтах, где распространены непродолжительные заморозки весной и осенью.

Помимо этого, биогазовый реактор способен обеспечить изготовление высококачественных биоудобрений на энергосберегающей основе.

В результате комплекса мероприятий (благодаря притоку солнечной энергии к теплице, нагреву воды в коллекторах, сжиганию полученного в биореакторе биогаза) по повыше-

нию сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций доля энергии от нетрадиционных источников в общем тепловом балансе системы дом–теплица–биогазовый реактор может составлять более 26%, а отопительный период в системе уменьшается минимум на 13 суток, благодаря чему экономия топлива будет составлять по дому 54%, по теплице 65% (рис. 1).



**Рисунок 1.** Теплоэнергетический баланс малогабаритной биоэнергетической установки дом–теплица (зимний сад)–биогазовый реактор  
**Figure 1.** Heat and energy balance of a small-sized bioenergy plant house–greenhouse (winter garden)–biogas reactor

В приусадебных хозяйствах на биоэнергетической установке при переработке 100–150 кг органических отходов выход биогаза составит 6–8 м<sup>3</sup> в сутки. Этого биогаза недостаточно для удовлетворения потребностей приусадебного хозяйства, которые зимой составляют до 50 м<sup>3</sup> газа в сутки, что эквивалентно 0,5 МВт тепловой энергии. Поэтому в небольших приусадебных хозяйствах биоэнергетические установки следует дополнительно оснащать теплогенераторами мощностью 0,5 МВт, что позволит обеспечить экономии топлива в системе еще на 10%.

Поскольку фермерские хозяйства в стране производят от 0,4 до 5,0 т органических отходов в сутки (влажностью 86%), биоэнергетические установки для фермерских хозяйств должны иметь объем метантенков 4–50 м<sup>3</sup>.

Следует заметить, что метантенк представляет собой реактор нулевого порядка, поэтому управляемые процессы анаэробной переработки органических отходов хорошо

масштабируются. При этом выход биогаза будет пропорционален объему метантенка. Если в метантенке объемом 1 м<sup>3</sup> при данной технологии переработки органических отходов получено 6 м<sup>3</sup> биогаза в сутки, то в метантенке объемом 50 м<sup>3</sup> при тех же условиях выход биогаза составит 300 м<sup>3</sup> в сутки.

Выход удобрений также будет пропорционален объему метантенка. При выходе биогаза 50 м<sup>3</sup> и более в сутки потребности фермерского хозяйства в энергоносителях будут полностью обеспечены.

В то же время в энергогенерирующей части этого комплекса на энергосберегающей основе можно производить высококачественные биоорганические удобрения для теплицы и хозяйственных нужд в целом. Это дает возможность получить стабильные, сбалансированные, экологически чистые органоминеральные удобрения для своего земельного участка.

При анаэробной переработке органических отходов на органоминеральные удобрения обезвреживаются болезнетворные бактерии, гельминты и семена сорняков, что улучшит экологическое состояние хозяйства, уменьшит затраты по борьбе с сорняками на земельном участке. Такие удобрения можно вносить на протяжении всего вегетативного периода растений (корневая подкормка). После одного-двух лет внесения таких удобрений урожайность повышается в два-три раза против традиционного внесения органики (навоза). При этом улучшается качество и экологическая чистота сельхозпродукции. Такие удобрения (в жидком состоянии) содержат стимуляторы роста растений, пригодные для обработки посевного материала, об-

ладают защитными свойствами против некоторых заболеваний растений.

На малогабаритной биоэнергетической установке при переработке 100–150 кг/сутки органических отходов можно получить 110–170 кг жидкого удобрения. Этого количества вполне достаточно для поддержания плодородия земельного участка фермерского хозяйства.

Потенциальные заказчики малогабаритных биоэнергетических установок – приусадебные и фермерские хозяйства. Они имеют обычно до шести работников, до трех голов крупного рогатого скота, до пяти свиней, до 50 голов птицы, 30–60 соток земли при усадьбе и такое же количество земли в поле. Количество органических отходов таких хозяйств вместе с зеленой массой или подстилкой зимой составляет 100–150 кг в сутки.

Приусадебные хозяйства могут включать в себя дачные усадьбы. Дачные дома следует рассматривать только с точки зрения энергосбережения эксплуатации дачного дома и получения биоорганических удобрений на энергосберегающей основе.

**Выводы.** Предложенные мероприятия позволят значительно расширить возможности использования малогабаритных биоэнергетических установок на приусадебных и фермерских хозяйствах, существенно повысить эффективность энергосбережения в указанных типах хозяйств. На малогабаритной биоэнергетической установке при переработке 100–150 кг/сутки органических отходов можно получить 110–170 кг жидкого удобрения. Этого количества вполне достаточно для поддержания плодородия земельного участка приусадебных и фермерских хозяйств.

#### Список литературы

1. Оптимизация параметров и режимов работы биогазовой установки / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, В. Б. Дзуганов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 115–121. DOI: 0.28983/asj.y2023i6pp115–121. EDN: HOUUOA
2. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Инновационные технологии и техника утилизации отходов животноводства // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 3(33). С. 79–83. EDN: XICGNW
3. Шекихачев Ю. А., Шогенов Ю. Х. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в сельскохозяйственном производстве // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства: материалы всероссийской научно-практической конференции. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. С. 146–149. EDN: GKJVYE

4. Mathematical model of thermal processes in a biogas plant / A. Fiapshev, O. Kilchukova, Y. Shekikhachev [et al.] // MATEC Web of Conferences. Les Ulis: EDP Sciences, 2018. Т. 212. С. 01032. DOI: 10.1051/mateconf/201821201032. EDN: QJBKIB

5. Шекихачев Ю. А., Шекихачев А. А., Мишхожев К. В. Оценка эффективности экологизации аграрного производства // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы международной научно-практической конференции. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. С. 367–371. EDN: GXENDL

6. Моделирование тепловых процессов в биогазовой установке / А. К. Апажев, Б. А. Фиапшев, Л. М. Хажметов [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. 2025. Т. 15. № 1. С. 77–82. DOI: 10.22314/27132064-2025-15-1-77. EDN: MINVED

7. Фиапшев А. Г., Кильчукова О. Х., Фиапшев Б. А. Математическое моделирование теплообмена в биогазовой установке // Энергобезопасность и энергосбережение. 2024. № 6. С. 46–49. EDN: ASLGHV

8. Оптимизация параметров и режимов работы биогазовой установки для достижения максимального выхода биометана / А. Г. Фиапшев, М. М. Хамоков, О. Х. Кильчукова [и др.] // Энергобезопасность и энергосбережение. 2021. № 3. С. 41–45. DOI: 10.18635/2071-2219-2021-3-41-45. EDN: EZKGZU

9. Кильчукова О. Х., Фиапшев А. Г., Хамоков М. М. Биогазовая установка для малых предприятий // Сельский механизатор. 2017. № 2. С. 18–19. EDN: ZDEDJF

10. Экологически чистые и ресурсосберегающие альтернативные системы энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий Кабардино-Балкарской Республики / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.]. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. 178 с. ISBN: 978-5-89125-194-6. EDN: JDKHIW

### References

1. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Dzuganov V.B. [et al.]. Optimization of parameters and operating modes of a biogas plant. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(6):115–121. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp115-121. EDN: HOUUOA

2. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A. Innovative technologies and technology of livestock waste disposal. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;3(33):79–83. (In Russ.). EDN: XICGNW

3. Shekihachev Yu.A., Shogenov Yu.Kh. Prospects for the use of renewable energy sources in agricultural production. *Innovacionnye resheniya v stroitel'stve, prirodoobustrojstve i mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Innovative solutions in construction, environmental management, and agricultural mechanization: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference]. Nalchik: Kabardino-Balkarskij GAU, 2022. Pp. 146–149. (In Russ.). EDN: GKJVYE

4. Fiapshev A., Kilchukova O., Shekikhachev Y. [et al.]. Mathematical model of thermal processes in a biogas plant. *MATEC Web of Conferences*. Les Ulis: EDP Sciences. 2018;212:01032. DOI: 10.1051/mateconf/201821201032. EDN: QJBKIB

5. Shekihachev Yu.A., Shekihachev A.A., Mishkhozhev K.V. Assessment of the efficiency of ecologization of agricultural production. *Sel'skohozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost': materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Agricultural land use and food security: Proceedings of the international scientific and practical conference]. Nalchik: Kabardino-Balkarskij GAU, 2022. Pp. 367–371. (In Russ.). EDN: GXENDL

6. Apazhev A.K., Fiapshev B.A., Hazhmetov L.M. [et al.]. Modeling of thermal processes in a biogas installation. *Machinery and technologies in livestock*. 2025;15(1):77–82. DOI: 10.22314/27132064-2025-15-1-77. (In Russ.). EDN: MINVED

7. Fiapshev A.G., Kilchukova O.Kh., Fiapshev B.A. Mathematical modelling of heat exchange in a biogas plant. *Energy-safety and Energy-economy*. 2024;(6):46–49. (In Russ.). EDN: ASLGHV

8. Fiapshev A., Khamokov M., Kilchukova O. [et al.]. Optimization of parameters and operation modes of a biogas plant for achieving the highest biomethane yield. *Energy-safety and Energy-economy*. 2021;(3):41–45. (In Russ.). DOI: 10.18635/2071-2219-2021-3-41-45. EDN: EZKGZU

9. Kilchukova O.Kh., Fiapshev A.G., Hamokov M.M. Biogas plant for small businesses. *Sel'skij mekhanizator*. 2017;(2):18–19. (In Russ.). EDN: ZDEDJF

10. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Hazhmetov L.M. [et al.]. *Ekologicheski chistye i resursosberegayushchie al'ternativnye sistemy energosnabzheniya sel'skohozyajstvennyh predpriyatij Kabardino-Balkarskoj Respubliki* [Environmentally friendly and resource-saving alternative energy supply systems for agricultural enterprises in the Kabardino-Balkarian Republic]. Nalchik: Kabardino-Balkarskij GAU, 2022. 178 p. (In Russ.). ISBN: 978-5-89125-194-6. EDN: JDKHIW

#### Сведения об авторах

**Шекихачева Людмила Зачиевна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 6853-7172

**Апшацева Дисана Славовна** – магистрант направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 3137-5341

#### Information about the authors

**Lyudmila L. Shekikhacheva** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 6853-7172

**Disana S. Apshatseva** – Master's student in the field of study 13.04.01 Thermal Power Engineering and Thermal Engineering, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 3137-5341

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

---

*Статья поступила в редакцию 18.03.2026;  
одобрена после рецензирования 06.04.2026;  
принята к публикации 14.04.2026.*

*The article was submitted 18.03.2026;  
approved after reviewing 06.04.2026;  
accepted for publication 14.04.2026.*