Оригинальная статья

УДК 662.74 © Т.В. Бирюкова✉[1], Д.Ю. Евсюков[2], В.Ю. Ланцева[3], С.В. Пчелинцева[4], Н.А. Гранкина[5], А.Ю. Богус[5], 2025

[1] ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 127550, г. Москва, Россия
[2] ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», 105005, г. Москва, Россия
[3] Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, 353924, Россия
[4] ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», 127434, г. Москва, Россия
[5] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, г. Краснодар, Россия
✉ e-mail: tbiryukova@rgau-msha.ru

Original Paper

UDC 662.74 © T.V. Biryukova✉[1], D.Yu. Evsyukov[2], V.Yu. Lantseva[3], S.V. Pchelintseva[4], N.A. Grankina[5], A.Yu. Bogus[5], 2025

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127550, Russian Federation
[2] Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation
[3] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, , Russian Federation
[4] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russian Federation
[5] I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation
✉ e-mail: tbiryukova@rgau-msha.ru

Перспективы производства жидких углеводородов из угля в России

Prospects for production of liquid hydrocarbons from coal in Russia

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-33-37

Представленная работа посвящена комплексному анализу перспектив производства жидких углеводородов из угля в России, учитывая технологические, экономические и экологические аспекты. В условиях ограниченности запасов традиционных источников энергии и растущего спроса на энергоносители, уголь рассматривается как перспективный альтернативный ресурс. Целью исследования является оценка возможностей использования угольных ресурсов России для производства синтетического жидкого топлива. Особое внимание уделяется технологиям газификации, гидрогенизации и термического растворения угля. Анализируются экономическая эффективность и экологические риски производства жидких углеводородов из угля. Оценивается ресурсная база углей, пригодных для переработки, и предлагаются меры по минимизации негативного воздействия на окружающую среду. В заключение статьи формируются выводы о перспективах и целесообразности развития производства жидких углеводородов из угля в России, учитывая современные технологические и экономические реалии.

Ключевые слова: *уголь, жидкие углеводороды, газификация, гидрогенизация, синтетическое топливо, переработка угля, угольная промышленность.*

***Для цитирования*:** Перспективы производства жидких углеводородов из угля в России / Т.В. Бирюкова, Д.Ю. Евсюков, В.Ю. Ланцева и др. // Уголь. 2025;(6):33-37. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-33-37.

Abstract

The presented work is devoted to a comprehensive analysis of the prospects for the production of liquid hydrocarbons from coal in Russia, taking into account technological, economic and environmental aspects. Under the conditions of limited reserves of traditional energy sources and growing demand for energy

БИРЮКОВА Т.В.
Канд. экон. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»,
127550, г. Москва, Россия,
e-mail: tbiryukova@rgau-msha.ru

ЕВСЮКОВ Д.Ю.
Преподаватель,
ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: evsjob@yandex.ru

ЛАНЦЕВА В.Ю.
Канд. юр. наук, доцент,
Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
353924, г. Новороссийск, Россия,
e-mail: lantseva.v@yandex.ru

ПЧЕЛИНЦЕВА С.В.
Канд. техн наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»,
127550, г. Москва, Россия,
e-mail: pchelintseva@inbox.ru

ГРАНКИНА Н.А.
Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
350044, г. Краснодар, Россия,
e-mail: grankina.n.a@yandex.ru

БОГУС А.Ю.
Студент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»,
350044, г. Краснодар, Россия,
e-mail: lay999@mail.ru

carriers, coal is considered as a promising alternative resource. The aim of the study is to assess the possibilities of utilising Russian coal resources for the production of synthetic liquid fuels. Special attention is paid to the technologies of gasification, hydrogenation and thermal dissolution of coal. The economic efficiency and environmental risks of liquid hydrocarbons production from coal are analysed. The resource base of coals suitable for processing is assessed and measures to minimise the negative impact on the environment are proposed. The article concludes with conclusions about the prospects and feasibility of the development of liquid hydrocarbons production from coal in Russia, taking into account modern technological and economic realities.

Keywords
Coal, liquid hydrocarbons, gasification, hydrogenation, synthetic fuels, coal processing, coal industry.
For citation
Biryukova T.V., Evsyukov D.Yu., Lantseva V.Yu., Pchelintseva S.V., Grankina N.A., Bogus A.Yu. Prospects for production of liquid hydrocarbons from coal in Russia. *Ugol'*. 2025;(6):33-37. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-33-37.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире энергетика играет ключевую роль в экономическом развитии и обеспечении комфортной жизни общества. Однако традиционные источники энергии, такие как нефть и природный газ, являются невозобновляемыми, и их запасы ограничены. Геополитическая нестабильность и растущий спрос на энергию приводят к необходимости поиска альтернативных и более устойчивых источников. В этой связи уголь, как самый распространенный ископаемый энергетический ресурс, привлекает все больше внимания.

Мировые запасы угля значительно превосходят запасы нефти и газа, что делает его перспективным источником энергии на долгосрочную перспективу [1, 2, 3]. Современное мировое потребление угля составляет значительные объемы и продолжает расти. Уголь используется для производства электроэнергии, кокса и различных химических продуктов. Увеличение потребления угля связано с ростом мировой экономики и повышением спроса на энергию, особенно в развивающихся странах.

Для минимизации негативных экологических последствий применяются современные технологии сжигания, такие как сжигание в псевдоожиженном слое и сжигание в шлаковом расплаве [4, 5, 6]. Эти технологии позволяют снизить выбросы вредных веществ, таких как оксиды азота и серы, а также повысить эффективность преобразования энергии угля в электрическую и тепловую энергию продуктов, включая бензин, дизельное топливо и авиационный керосин.

Синтетическое топливо, полученное из угля, может стать альтернативой традиционным видам топлива и снизить зависимость от импорта нефти [7, 8, 9]. Кроме того, переработка угля позволяет получать ценные химические продукты, такие как метанол, аммиак и олефины, которые используются в различных отраслях промышленности. Несмотря на потенциальные преимущества, переработка угля в жидкие углеводороды является сложным и капиталоемким процессом. Требуются разработка эффективных катализаторов, оптимизация технологических параметров и решение экологических проблем, связанных с утилизацией отходов [10, 11, 13].

Актуальность и важность направления переработки угля в жидкие углеводороды для России обусловлены несколькими факторами. В России, обладающей значительными запасами угля, добываемого в различных регионах страны, внедрение экологически чистых технологий переработки угля имеет особое значение для снижения негативного воздействия на окружающую среду и улучшения экологической обстановки в угледобывающих регионах [14, 15, 16, 17].

Цель данной работы заключается в комплексном анализе перспектив производства жидких углеводородов из угля в России, учитывая как технологические, экономические, так и экологические аспекты. Для достижения этой цели необходимо решить ряд задач, включая оценку ресурсной базы углей, пригодных для переработки в жидкое топливо, анализ существующих и перспективных технологий переработки, оценку экономической эффективности производства жидких углеводородов из угля, а также определение экологических рисков и разработку мер по их минимизации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представленная в статье работа носит обзорный характер и посвящена анализу перспектив производства жидких углеводородов из угля в России. Методология исследования включает в себя несколько этапов: поиск, систематизацию и анализ научных публикаций, патентной документации, отчетов о научно-исследовательских работах и других источников информации, касающихся технологий переработки угля в жидкие углеводороды. На первом этапе проводился поиск релевантных источников информации в научных базах данных, таких как Scopus, Web of Science, Google Scholar, а также в патентных базах данных и библиотечных каталогах. Ключевыми словами для поиска были «переработка угля», «жидкие углеводороды из угля», «газификация угля», «гидрогенизация угля», «термическое растворение угля», «синтетическое топливо», «угольная промышленность России». На втором этапе проводились систематизация и отбор наиболее значимых источников информации на основе критериев релевантности, достоверности, новизны и научной значимости. Особое внимание уделялось работам, содержащим экспериментальные данные, технико-экономические оценки и аналитические обзоры.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что Россия обладает колоссальными запасами угля, оцениваемыми в триллионы тонн и составляющими значительную долю мировых ресурсов (по некоторым оценкам, до 30%), его текущее использование в значительной степени ограничено энергетикой и металлургией. Уголь является ключевым компонентом в производстве электроэнергии, обеспечивая около 18% генерации в стране в 2022 г., с тенденцией к увеличению ввиду политики декарбонизации, а также играет незаменимую роль в выплавке стали, где кокс является основным восстановителем железа из руды [18]. Однако объем угля, направляемый на более глубокую химическую переработку, остается непропорционально малым, не превышая 5% от общего объема потребления угля в стране. Эта ситуация контрастирует с общемировыми тенденциями, где наблюдается уверенный рост заинтересованности в повышении качества угольной продукции, вызванный ужесточением экологических стандартов (например, стандарты по выбросам SO_x и NO_x в Европе, требующие снижения содержания серы в угле до менее 1%) и стремлением к увеличению эффективности процессов углепереработки. Это включает в себя не только оптимизацию процессов сжигания, но и разработку прорывных технологий для извлечения из угля ценных химических продуктов, таких как синтез-газ, жидкие углеводороды, компоненты пластмасс и удобрений [19, 20].

В статье, рассматривающей перспективы производства жидких углеводородов из угля (CTL – Coal-to-Liquids) в России, авторы ссылаются на исторический опыт Советского Союза, где в пиковый период функционировали более 350 газогенераторных станций, производящих внушительные объемы газа – до 35 млрд м^3 в год, что позволяло обеспечивать до 15% потребностей промышленности в технологическом газе. Однако с развитием крупномасштабной добычи нефти и природного газа, особенно в Западной Сибири, этот перспективный вектор практически утратил свою актуальность, уступив место более дешевым и доступным углеводородным ресурсам.

Тем не менее в настоящее время, на фоне волатильности мировых цен на нефть и растущего внимания к энергетической безопасности, во всем мире ведутся активная разработка и реализация более 63 проектов по газификации угля (Integrated Gasification Combined Cycle – IGCC). К сожалению, большая часть этих проектов (около 87%) ориентирована главным образом на производство электроэнергии с использованием современных газотурбинных установок, обеспечивающих КПД до 60%, и лишь небольшая доля (примерно 13%) нацелена на комплексную химическую переработку и производство синтетических жидких топлив [21].

Исследования, проведенные Институтом угля и углехимии СО РАН, выявили, что степень конверсии органической массы углей Барзасского месторождения в жидкие продукты может достигать 75-85% при термическом растворении в тетралине в оптимальном температурном диапазоне 375-425°C, что существенно превышает показатели, достигнутые при использовании других типов углей. Дополнительные эксперименты показали, что предварительная механоактивация и озонолиз углей способны интенсифицировать процесс растворения и изменять состав конечных жидких продуктов, позволяя получать фракции с заданными свойствами. Необходимо отметить, что технология прямого ожижения угля, разработанная немецкими учеными еще в начале XX века (процесс Бергиуса), не получила широкого промышленного распространения ввиду высокой энергоемкости, сложной технологии и дорогостоящих катализаторов, содержащих кобальт и молибден [22].

Вместе с тем, продолжающиеся исследования в области гидрогенизации угля, активно ведущиеся, например, в Институте горючих ископаемых и Институте катализа СО РАН, дают надежду на создание более эффективных и экономически привлекательных технологий производства синтетических топлив. Эти разработки ориентированы на получение широкого спектра жидких топлив, включая высокооктановые автобензины, дизельное топливо с низким содержанием серы, авиационный керосин, соответствующий стандартам Jet A-1, а также экологически чистое топливо для судовых двигателей и котельных установок.

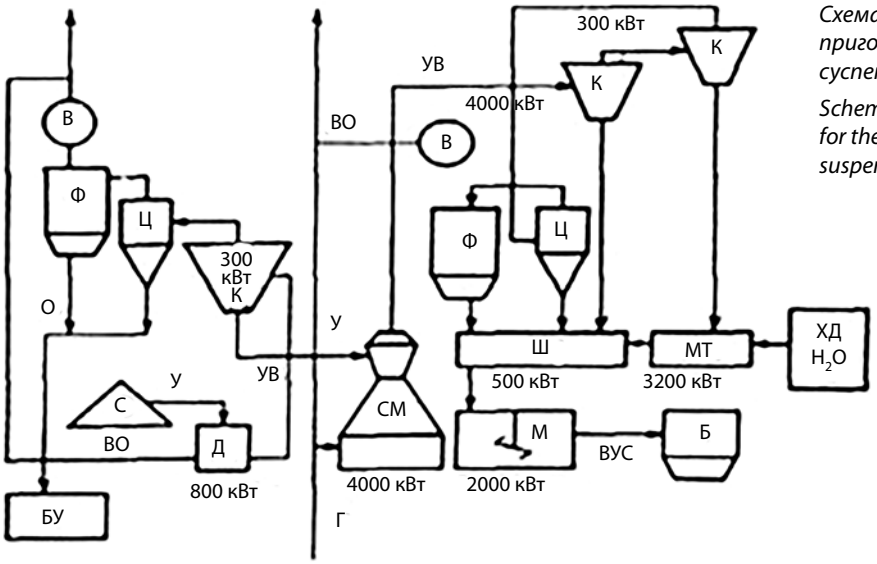

Схема технологической линии приготовления водоугольных суспензий

Scheme of the technological line for the preparation of coal-water suspensions

Тем не менее, учитывая рост цен на нефть и стремление к диверсификации источников энергии, работы в данном направлении продолжаются, и в будущем можно ожидать появления более эффективных и экономически целесообразных технологий CTL.

Перспективным и потенциально экономичным направлением переработки угля является приготовление водоугольных суспензий (ВУС), состоящих из тонкодисперсного угля и воды, часто с добавлением стабилизаторов и диспергаторов, с последующей транспортировкой по трубопроводам на большие расстояния и переработкой в местах потребления (*см. рисунок*).

Этот подход позволяет снизить транспортные расходы, уменьшить выбросы пыли и повысить эффективность сжигания угля в котлах электростанций. Коксохимическая промышленность остается важным звеном в комплексной переработке угля, производя кокс, коксовый газ и широкий спектр ценных химических продуктов, таких как бензол, толуол, ксилолы, нафталин, фенолы и пиридиновые основания. Однако технология слоевого коксования угля в печах камерного типа требует совершенствования в части улавливания и переработки коксового газа, утилизации отходов производства и сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на 30-40%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на огромные запасы угля в стране, его глубокая химическая переработка развита недостаточно, что контрастирует с мировыми тенденциями, направленными на увеличение добавленной стоимости угольной продукции и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Исторический опыт Советского Союза с газогенераторными станциями демонстрирует потенциал использования угля для производства технологического газа, однако развитие крупномасштабной добычи нефти и природного газа привело к снижению интереса к данному направлению. Сегодня, в условиях волатильности мировых цен на нефть и стремления к энергетической безопасности, возобновление интереса к технологиям переработки угля в жидкие углеводороды (CTL) является актуальным и перспективным. Исследования, проведенные рядом научных институтов, показывают, что определенные типы углей, например угли барзасского месторождения, обладают высокой конверсией в жидкие продукты при термическом растворении. Несмотря на это, технология прямого ожижения угля остается энергоемкой и дорогостоящей, требуя разработки более эффективных катализаторов и оптимизации технологических параметров. Другим перспективным направлением является приготовление водоугольных суспензий, позволяющих снизить транспортные расходы и повысить эффективность сжигания угля в котлах электростанций. Коксохимическая промышленность также играет важную роль в комплексной переработке угля, производя кокс и ценные химические продукты. Однако для повышения ее эффективности необходимы внедрение современных технологий улавливания и переработки коксового газа, а также утилизация отходов производства.

Список литературы • References

1. Smadi T.A.L., Al-Maitah M. Artificial intelligent technology for safe driver assistance system. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology.* 2020;13(1-2):183-191. DOI: 10.1504/IJCAET.2020.108112.
2. Adigamov R.R., Baraboshkin K.A., Mishnev P.A., Karlina A.I. Development of rolling procedures for pipes of K55 strength class at the laboratorial mill. *CIS Iron and Steel Review*. 2022;(24):60-66. DOI 10.17580/cisisr.2022.02.09.
3. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(20):10367-10373.
4. Al-Sharo Y.M., Al Smadi K., Al Smadi T., Yasameen Kamil N. Optimization of Stable Energy PV Systems Using the Internet of Things (IoT). *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2024;31(1):127-137. DOI: 10.25130/tjes.31.1.11.

5. Kukartsev V.V., Dalisova N., Muzyka P., Yarkova S.A., Degtyareva K.V. Control system for personnel, fuel and boilers in the boiler house. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):01010. DOI: 10.1051/e3sconf/202345801010.
6. Tananykhin D., Korolev M., Stecyuk I., Grigorev M. An Investigation into Current Sand Control Methodologies Taking into Account Geomechanical, Field and Laboratory Data Analysis. *Resources*. 2021;(10):125. DOI: 10.3390/resources10120125.
7. Gladkov A., Kukartsev V., Yarkova A., Kuzmich R., Nizameeva A. Development of an automation system for personnel monitoring and control of ordered products. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202345801007.
8. Trrad I., Smadi T.A.L., Al-Wahshat H. Application of fuzzy logic to cognitive wireless communications. *International Journal of Recent Technology and Engineering.* 2019;8(3):2228-2234. DOI: 10.35940/ijrte.B2065.098319.
9. Sokolov A.A., Orlova L.G., Bashmur K.A., Kuzmich R.I., Kukartsev V.V. Ensuring uninterrupted power supply to mining enterprises by developing virtual models of different operation modes of transformer substations. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11):278-291. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_278.
10. Efremenkov E.A., Martyushev N.V., Skeeba V.Y., Grechneva M.V., Olisov A.V., Ens A.D. Research on the Possibility of Lowering the Manufacturing Accuracy of Cycloid Transmission Wheels with Intermediate Rolling Elements and a Free Cage. *Appl. Sci.* 2022;(12):5. DOI: 10.3390/app12010005.
11. Isametova M.E., Nussipali R., Martyushev N.V., Malozyomov B.V., Efremenkov E.A., Isametov A. Mathematical Modeling of the Reliability of Polymer Composite Materials. *Mathematics*. 2022;(10):3978. DOI: 10.3390/math10213978.
12. Kukartsev V.A., Trunova A.I., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Bashmur K.A., Tynchenko Y.A., Sergienko R.B., Tynchenko S.V. Influence of Temperature Regimes of Synthetic Iron Smelting on Casting Production Efficiency. *Metals.* 2023;13(7):1234. DOI: 10.3390/met13071234.
13. Podoprigora D.G., Sabukevich V.S., Korobov G.Y., Nguen V.T. Justification of Developed System Measures to Increase Productivity of Wells in Eastern Part of Pechora Sea Oil Field. *International Journal of Engineering.* 2024;37(11):2303-2313. DOI: 10.5829/ije.2024.37.11b.15.
14. Orlov V., Kukartsev V., Suprun E., Gek D., Ageev D. Designing an information system to automate service management at the enterprise. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):09019. DOI: 10.1051/e3sconf/202345809019.
15. Efremenkov E.A., Shanin S.A., Martyushev N.V. Development of an Algorithm for Computing the Force and Stress Parameters of a Cycloid Reducer. *Mathematics*. 2023;(11):993. DOI: 10.3390/math11040993.
16. Dash L., Pattanayak B.K., Laha S.R., Pattnaik S., Mohanty B., Habboush A.K., Al Smadi T. Energy Efficient Localization Technique Using Multilateration for Reduction of Spatially and Temporally Correlated Data in RFID System. *Tikrit Journal of Engineering Sciences.* 2024;31(1):101-112. DOI: 10.25130/tjes.31.1.9.
17. Tananykhin D., Palyanitsina A., Rahman A. Analysis of Production Logging and Well Testing Data to Improve the Development System for Reservoirs with Complex Geological Structure. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management.* 2020;(7):629-648.
18. Yelemessov K., Sabirova L.B., Martyushev N.V., Malozyomov B.V., Bakhmagambetova G.B., Atanova O.V. Modeling and Model Verification of the Stress-Strain State of Reinforced Polymer Concrete. *Materials.* 2023;(16):3494. DOI: 10.3390/ma16093494.
19. Kukartsev V.V., Kravtsov K.I., Suprun P.S., Gek D.K., Pinchuk I.A. Advancements in network-based management systems for enhanced business services. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):07003. DOI: 10.1051/e3sconf/202346007003.
20. Gladkov A., Kukartsev V., Kozlova A., Grigorev D. Development of Requirements for AIS Aimed at Controlling High Turnover. 2023 IEEE International Conference on Computing (ICOCO). DOI: 10.1109/ICOCO59262.2023.10397670.
21. Kukartsev V.A., Trunova A.I., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Kurashkin S.O., Tynchenko Y.A., Vivián I.F., Bashmur K.A. Increasing the Efficiency of Synthetic Iron Production by the Use of New Kit Lining. *Metals*. 2023;13(7):1184. DOI: 10.3390/met13071184.
22. Podoprigora D.G., Byazrov R.R., Lagutina M.A., Arabov D.V., Galimov V.V., Ermolin D.S. A novel integrated methodology for screening, assessment and ranking of promising oilfields for polymer floods. *Advances in Geo-Energy Research*. 2024;12(1):8-21. DOI: 10.46690/ager.2024.04.02.

Authors Information

Biryukova T.V. – PhD (Economic), Associate Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127550, Russian Federation, e-mail: tbiryukova@rgau-msha.ru

Evsyukov D.Yu. – lecturer, Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: evsjob@yandex.ru

Lantseva V.Yu. – PhD (Law), Associate Professor, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation, e-mail: lantseva.v@yandex.ru

Pchelintseva S.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: pchelintseva@inbox.ru

Grankina N.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation, e-mail: grankina.n.a@yandex.ru

Bogus A.Yu. – Student, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation, e-mail: lay999@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.04.2025
Поступила после рецензирования: 16.05.2025
Принята к публикации: 26.05.2025

Paper info

Received April 15, 2025
Reviewed May16, 2025
Accepted May 26, 2025