

УДК 552.574 © Т.А. Чикишева^{1,2,3}, А.Г. Комарова^{2,3},
Е.С. Прокопьев^{1,2}, С.А. Прокопьев^{1,2}, 2024

UDC 552.574 © T.A. Chikisheva^{1,2,3}, A.G. Komarova^{2,3},
E.S. Prokopiev^{1,2}, S.A. Prokopiev^{1,2}

¹ ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», 664033, г. Иркутск, Россия

¹ Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

² ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия

LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation

³ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»,
664003, г. Иркутск, Россия

³ Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation

✉ e-mail: cta@spirit-irk.ru

✉ e-mail: cta@spirit-irk.ru

Вещественный состав отходов ЦОФ «Кузбасская»*

Material composition of waste from the Kuzbasskaya central coal-processing plant

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-4-31-35>

В статье представлены результаты изучения вещественного состава отходов углеобогатительной фабрики «Кузбасская» методами технологической минералогии. Получены данные зольности отходов, их минеральный состав и распределение угля по классам крупности. Авторы также изучили морфоструктурные особенности минеритов и определили неорганические фазы, повышающие зольность данного сырья.

Ключевые слова: отходы угледобычи, угольные шламы, комплексная переработка минерального сырья, минералого-технологическая оценка сырья, Кузнецкий угольный бассейн.

Для цитирования: Вещественный состав отходов ЦОФ «Кузбасская» / Т.А. Чикишева, А.Г. Комарова, Е.С. Прокопьев и др. // Уголь. 2024;(4):31-35. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-31-35.

Abstract

The article deal with the results of the material composition studying of waste from the Kuzbasskaya coal processing plant using the technological mineralogy methods. Data on the ash content in the waste, its mineral composition and the distribution

ЧИКИШЕВА Т.А.

Канд. геол.-минер. наук,
младший научный сотрудник
отдела комплексного использования
минерального сырья
ФГБУН «Институт земной коры СО РАН»,
руководитель минер. группы
ООО НПК «Спирит»,
доцент кафедры полезных ископаемых,
геохимии, минералогии и петрографии
ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет»,
664003, г. Иркутск, Россия,
e-mail: cta@spirit-irk.ru



* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.

КОМАРОВА А.Г.

Ведущий инж.-минер. ООО НПК «Спирит»,
преподаватель кафедры
полезных ископаемых, геохимии,
минералогии и петрографии
ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет»,
664003, г. Иркутск, Россия,
e-mail: kag@spirit-irk.ru

ПРОКОПЬЕВ Е.С.

Научный сотрудник
отдела комплексного использования
минерального сырья
ФГБУН «Институт земной коры СО РАН»,
директор по технологиям
и инновациям ООО НПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: pes@spirit-irk.ru

ПРОКОПЬЕВ С.А.

Канд. техн. наук,
руководитель отдела
комплексного использования
минерального сырья
ФГБУН «Институт земной коры СО РАН»,
генеральный директор
ООО НПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: psa@spirit-irk.ru

of coal by size class were obtained. The authors also studied the morphostructural features of minerites and identified inorganic phases that increase the ash content of this raw material.

Keywords

Coal mining waste, coal sludge, complex processing of mineral raw materials, mineralogical and technological assessment of raw materials, Kuznetsk coal basin.

For citation

Chikisheva T.A., Komarova A.G., Prokopiev E.S., Prokopiev S.A. Material composition of waste from the Kuzbasskaya central coal-processing plant. *Ugol'*. 2024;(4):31-35. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-31-35.

Acknowledgements

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate" with support of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation on May 11, 2022.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Кузнецкого угольного бассейна эксплуатируются десятки шахт и углеразрезов, при этом угледобывающие компании постоянно наращивают объемы переработки угольного сырья [1]. В результате многолетней работы угледобывающих предприятий на территории Кемеровской области складываются огромные массы отходов углеобогащения, которые уже сейчас занимают тысячи гектаров земли и оказывают колоссальную нагрузку на экосистему. Отходы угледобычи являются техногенными минеральными объектами и характеризуются различными качественными и количественными параметрами, экологическим влиянием на окружающую среду и экономической эффективностью их промышленной переработки. В связи с этим они нуждаются во внедрении технологических решений для их комплексной переработки с наиболее полной утилизацией и минимальным негативным воздействием на окружающую среду [2].

Как в России, так и за рубежом в последние годы ведутся активные исследования по утилизации техногенных отходов, в том числе и отходов угледобычи [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Для этого необходима разработка безотходной комплексной технологии передела такого сырья с максимально возможным извлечением из него ценных компонентов, что также соотносится с основными положениями «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года», которая утверждена распоряжением Правительства РФ № 84-р от 25 января 2018 года [12].

Для оценки возможности вовлечения отходов в повторную переработку и разработки технологии их комплексного передела необходимо проведение детального изучения их вещественного состава методами технологической минералогии [13, 14]. В настоящей статье изложены результаты изучения вещественного состава отходов углеобогачительной фабрики ЦОФ «Кузбасская» и дана оценка возможности их повторного передела.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение зольности топлива выполнено методом ускоренного озоления, определение химического состава исходной пробы – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Минеральный состав пробы и оценка содержания каждого минерала в пробе были определены с помощью методов оптико-минералогического

анализа по методическим рекомендациям НСОММИ [15] с применением бинокулярного стереомикроскопа Микромед MC-2-ZOOM 2CR. Рентгенографический анализ выполнялся на дифрактометре ДРОН-3.0.

Изучение микрокомпонентов угля в шлифах и аншлифах выполнялось при помощи поляризационного микроскопа Olympus BX53-F в научно-учебной лаборатории экспериментальной геологии геологического факультета ИГУ. Исследование производилось по межгосударственным стандартам^{1, 2, 3}.

Определение несгораемых фаз в углях проводилось с применением сканирующего электронного микроскопа MIRA3 LMN TESCAN в центре коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН в режиме обратно-рассеянных электронов.



Рис. 1. Распределение угля по классам крупности

Fig. 1. Coal distribution by size class

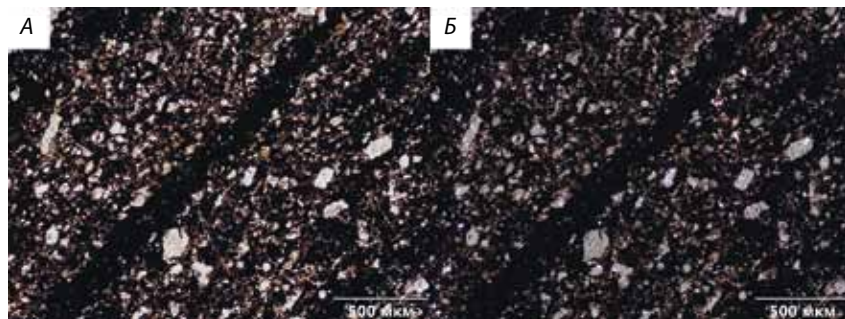


Рис. 2. Каустобиолит с полосчатой формой угольных компонентов. Прозрачный шлиф, А – анализатор выключен, Б – анализатор включен

Fig. 2. Banded forms of coal components in caustobiolite. Thin section, polarization: А – PPL, В – XPL

¹ Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.1-94 (ИСО 7404-1-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 1. Словарь терминов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 23 с.

² Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.2-93 (ИСО 7404-2-85). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 2. Метод подготовки образцов угля. М.: Изд-во стандартов, 1995. 18 с.

³ Межгосударственный стандарт ГОСТ 9414.3-93 (ИСО 7404-3-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 3. Методы определения групп мацералов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 12 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения вещественного состава проб установлено, что в состав исходного сырья входят следующие токсичные элементы-примеси: мышьяк (менее 0,0005%), хром (0,0010%), магний (0,145%), ртуть (менее 0,0005%), сера (0,202%), селен (менее 0,0005%), бериллий (менее 0,0002%) и ванадий (0,0024%). Из ценных элементов-примесей в пробе отмечены серебро, лантан, молибден, скандий, селен, свинец и иттрий. Массовые доли перечисленных компонентов составляют тысячные доли процентов или находятся на пределе чувствительности.

Показатель зольности исходного топлива составил 22,4%, что свидетельствует о присутствии несгораемых фаз, представленных неорганическим веществом.

Оптико-минералогический анализ показал, что основная масса пробы сложена углем – 82,51%. В меньшем количестве в материале пробы присутствуют карбонаты, полевые шпаты, кварц и глинистые минералы. В десятых долях процента отмечен лимонит, а в сотых долях – магнетит. В единичных зернах визуализируются сульфиды, монацит, рутил, циркон и слюды.

Анализ распределения угля по классам крупности показал, что в материал крупностью менее 0,020 мм распределяется 46,92% угля (рис. 1), в материал крупностью от 0,5 до 0,020 мм – 35,52%, крупностью более 0,5 мм – 17,56%.

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕЙ В ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ

В ходе изучения шлифов, изготовленных из образцов пород, вмещающих уголь, было установлено, что они представлены среднезернистыми граувакковыми песчаниками и аргиллитами.

Обломочная часть песчаников в основном сложена обломками осадочных пород, в меньшем количестве – мономинеральными зернами кварца и полевых шпатов. Структура псаммитовая среднезернистая, цемент контурный, глинисто-серицитовый. Аргиллиты преимущественно состоят из каолинита и гидрослюд. Структура пелитовая, текстура сланцеватая, слабовыраженная в субпараллельной ориентировке единичных зерен слюды.

Изучаемые породы и их обломки обогащены органическим веществом и могут быть отнесены к каустобиолитам гумусового типа. При их изучении в проходящем свете наблюдаются разные соотношения угольных и минеральных компонентов.

Угольные компоненты имеют полосчатые (рис. 2), штриховатые и линзовидно-штриховатые формы [16]. Цвет мацералов угля в основном черный, реже – коричневый и темно-коричневый, что свидетельствует о высокой степени фюзенизации.

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕЙ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Микроскопически по визуально наблюдаемым признакам было выделено три группы мацералов – витри-

нит (телинит, коллинит), липтинит (спорнит), инертинит (фюзенит и склеротинит), а также минеральные составляющие. Мацералы имеют разную степень сохранности клеточной структуры (рис. 3). Бесструктурные мацералы образуют скопления и слагают полосы, структурные различия рассеяны в коллините. Минеральными составляющими минеритов выступают глинистые минералы, сульфиды железа, карбонаты, оксиды кремния и прочие минеральные включения. Сульфиды железа проявлены в виде выделений неправильной формы, фрамбозидов и прожилков.



Рис. 3. Микрофотографии фрагмента аншлиф-брикета. Отраженный свет, анализатор выключен, I_p – фюзинит
Fig. 3. Microphotographs of a polished briquette fragment. Reflected light, PPL, L_p – fusinite

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

При исследовании аншлифов с помощью сканирующего электронного микроскопа установлено, что в исследуемых образцах угля содержится значительное количество минеральных включений: кварца, каолинита, сидерита, апатита, пирита и рутила. Минеральная матрица минеритов представлена каолинитом.

Каолинит заполняет клеточные полости, встречается в виде линз, прослоек, тонкодисперсных частиц (рис. 4), а также выступает цементирующим веществом во вмещающей уголь породе. Кроме того, в пробе отмечаются микропереслаивания угля и минеральных агрегатов, содержащих каолинит и апатит.

Апатит часто ассоциирует с каолинитом и представлен выделениями неправильной формы. Рутит и сидерит визуализируются в виде редких включений неправильной формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материал пробы отходов ЦОФ «Кузбасская» по своему составу относится к техногенному минеральному сырью первой группы, то есть сходному по составу и свойствам с природным [17]. Основная масса пробы сложена углем (82,51%), большая часть которого распределяется в крупность менее 20 мкм (46,92%). Изучаемые породы и их обломки обогащены органическим веществом и могут быть отнесены к каустобиолитам гумусового типа. Микроскопически в минеритах наблюдаются разные соотношения мацералов угля и минеральных компонентов. Угольные компоненты имеют полосчатые, штриховатые и линзовидно-штриховатые формы. Минеральная матрица минеритов представлена преимущественно каолинитом. Минеральные составляющие минеритов представлены глинистыми минералами, сульфидами железа, карбонатами, оксидами кремния и другими неорганическими соединениями, которые повышают зольность энергетического сырья.

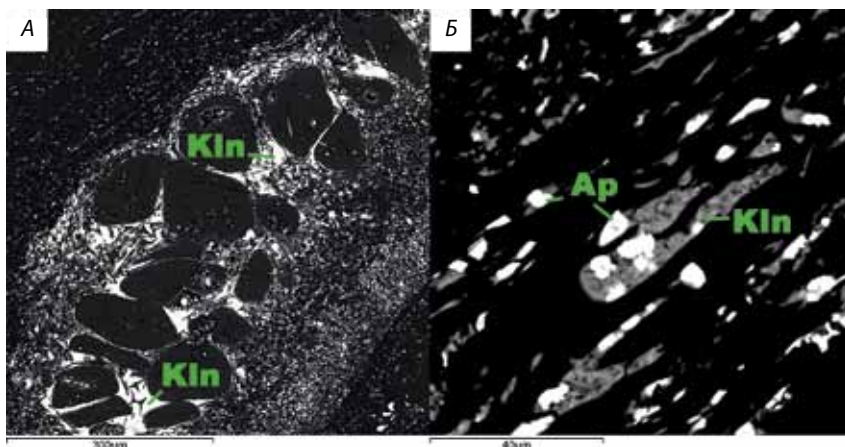


Рис. 4. Микрофотографии фрагментов аншлиф-брикета. Изображения в обратнорассеянных электронах; Kln – каолинит; Ap – апатит
Fig. 4. Microphotographs of a polished briquette fragment. Image in backscattered electrons; Kln – kaolinite; Ap – apatite

Отходы ЦОФ «Кузбасская» могут быть вовлечены в комплексную повторную переработку как энергетическое сырье для получения угольного концентрата. Оставшийся после извлечения угля материал рекомендуется рассмотреть в качестве сырья для строительных отраслей промышленности.

Список литературы • References

1. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году: государственный доклад. URL: Уголь(data-geo.ru) (дата обращения: 15.03.2024).
2. Минералого-технологическая оценка отходов углеобогачительной фабрики «Краснобродская-Коксовая» / Т.А. Чикишева, А.Г. Комарова, С.А. Прокопьев и др. Технологическая минералогия в оценке качества минерального сырья природного и техногенного происхождения: сборник статей по материалам докладов XV Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. С. 43-46. DOI: 10.17076/TM15_57.
3. Ожогина Е.Г., Шадрунова И.В., Чекушина Т.В. Роль минералогических исследований в решении экологических проблем горнопромышленных районов // Горный журнал. 2017. № 11. С. 105-110. DOI: 10.17580/gzh. 2017.11.20.

- Ozhogina E.G., Shadrinova I.V., Chekushina T.V. The role of mineralogical research in solving environmental problems of mining areas. *Gornyj zhurnal*. 2017;(11):105-110. DOI: 10.17580/gzh. 2017.11.20. (In Russ.).
4. Сосновский С.А., Сачков В.И. Комплексная переработка техногенного углеродсодержащего сырья. Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2021, СГКГМИ (ГТУ). Владикавказ, 2021. С. 498-501.
 5. Перспективы получения товарного продукта из отходов флотации угольных фабрик / Н.Ю. Турецкая, Т.А. Чикишева, Е.С. Прокопьев и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 95-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-95-99.
Turetskaya N.Yu., Chikisheva T.A., Prokopiev E.S., Emelyanova K.K. The possibility of obtaining a commercial product from coal factories flotation waste. *Ugol'*. 2023;(9):95-99. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-95-99.
 6. Ali Ucar, Oktay Sahbaz, Nezahat Ediz, Ismail Goktay Ediz. An investigation into the enrichment of coal wastes of Western Lignite Company (WLC) by physical and physico-chemical methods. *Madencilik-Mining*. 2023;62(1):7-15. <https://doi.org/10.30797/madencilik.1111260>.
 7. Debjani N., Bidyut D., Rashmi S., Santosh S., Ajinkya M., Pratik Swarup D. Effect of grinding behavior on liberation of coal macerals. *ISIJ International*. 2022;62(1):99-103. <https://doi.org/10.2355/isij-international.ISIJINT-2021-209>.
 8. Jay N. Meegoda, Li-ming HU, Nabil M.A., AL-Joulani. Solid waste and ecological issues of coal to energy. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*. 2021;(April):99-107. DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.1944-8376.0000071.
 9. Menshikova E., Blinov S., Belkin P., Ilaltdinov I., Volkova M. Dumps of the Kizel coal basin as a potential source of rare and rare-earth elements. *Science and Global Challenges of the 21st Century*, 2022, LNNS 342, pp. 352-361. <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1007%2F978-3-030-89477-1-35>.
 10. Nguyen Cong Thang, Nguyen Van Tuan. The potential use of waste rock from coal mining for the application as recycled aggregate in concrete. *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*. 2021;(1):550-561. DOI: 10.1007/978-3-030-60839-2_29.
 11. Yoginder P. Chugh, Paul T. Behum Coal waste management practices in the USA: an overview. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(2):163-176. DOI:10.1007/s40789-014-0023-4.
 12. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. URL: y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf (government.ru) (дата обращения: 15.03.2024).
 13. Гамов М.И., Наставкин А.В., Вялов В.И. Результаты применения растровой электронной микроскопии для изучения минеральных компонентов углей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 1. С. 10-23.
Gamov M.I., Nastavkin A.V., Vylov V.I. Results of the use of scanning electron microscopy for the study of mineral components of coals. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2016;(1):10-23. (In Russ.).
 14. Технологическая минералогия как основа комплексного освоения полезных ископаемых. Бокситы Верхне-Шугорского месторождения / О.Б. Котова, Е.Г. Ожогина, Сан Шиенг и др. // Горный журнал. 2021. № 11. С. 21-27.
Kotova O.B., Ozhogina E.G., Shieng SAN, Razmyslov I.N. Technological mineralogy as the basis for the integrated development of mineral resources. Bauxites of the Verkhne-Shchugorsk deposit. *Gornyj zhurnal*. 2021;(11):21-27. (In Russ.).
 15. Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб: Методические рекомендации № 162. Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2012. 23 с.
 16. Столбова Н.Ф., Исаева Е.П. Петрология углей: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 77 с.
 17. Ожогина Е.Г., Котова О.Б., Якушина О.А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43-49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49.
Ozhogina E.G., Kotova O.B., Yakushina O.A. Mining waste: mineralogical features. *Vestnik Instituta geologii Komi NC UrO RAN*. 2018;(6): 43-49. (In Russ.). DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49.

Authors Information

Chikisheva T.A. – PhD (Geology and Mineralogy), Research Associate of Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Head of mineralogical department of LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation, Associate Professor of Department of Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrography of Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation, e-mail: cta@spirit-irk.ru

Komarova A.G. – Leading mineralogist engineer of LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation, Lecturer of Department of Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrography of Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation, e-mail: kag@spirit-irk.ru

Prokopiev E.S. – Research Associate of Department of Comprehensive Use of Mineral Resources Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, Director for technology and innovation of LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: pes@spirit-irk.ru

Prokopiev S.A. – PhD (Engineering), Chief of Department of Comprehensive Use of Mineral Resources of Institute of the Earth Crust of SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, General Director of LLC SPC "Spirit", Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: psa@spirit-irk.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.02.2024

Поступила после рецензирования: 28.02.2024

Принята к публикации: 26.03.2024

Paper info

Received February 22, 2024

Reviewed February 28, 2024

Accepted March 26, 2024