

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-37-42>

УДК 631.445.12:630*43:631.1:631.436



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВ САМОВОЗГОРАНИЯ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов[✉], А.С. Гузалов

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований способности торфяной почвы самовозгораться в зависимости от степени ее разложения, зольности, химического состава и объемной плотности. Целью лабораторных экспериментальных исследований являлось изучение влияния физико-химических свойств торфа на возникновение эффекта самовозгорания. Среди осушенных земель наиболее перспективными для целей сельскохозяйственного производства являются торфяники, которые обладают необходимым плодородием и площадь которых в РФ достигает порядка 320 млн га. Больше половины из них имеют слой торфяной почвы не менее 30 см, что отвечает требованиям, предъявляемым к почвам, рекомендуемым для введения в сельскохозяйственный оборот. Следует отметить, что более 70% почв Нечерноземной зоны России представлено малоплодородными дерново-подзолистыми почвами, и произведенная на них продукция растениеводства обладает высокой себестоимостью по причине низкой урожайности и необходимости внесения высоких доз удобрений. Органическое вещество торфа состоит из углерода, водорода, кислорода, серы и азота, поэтому торф обладает высоким плодородием и представляет интерес для целей выращивания сельскохозяйственных культур. Тем не менее следует отметить, что данный тип почв является пожароопасным. Торф имеет сложный химический состав, который определяется условиями генезиса, химическим составом растений-теплообразователей и степенью разложения. Элементарный состав торфа на горючую массу: углерод – 50-60%; водород – 5-6,5%; кислород – 30-40%; азот – 1-3%; сера – 0,5-2,5%. Присутствие в торфе серы дает в результате взаимодействия с кислородом сернистый газ (SO_2), который раздражающе действует на верхние дыхательные пути человека и глаза, и сероводород (H_2S) – очень токсичное газообразное вещество. Показателями, определяющими способность торфа к возгоранию, являются степень разложения, зольность и объемная плотность.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-16-00081 (URL: <https://rscf.ru/project/24-16-00081/>).

Ключевые слова: торфяная почва, объемная плотность, степень разложения, зольность, пожары, земли сельскохозяйственного назначения

Формат цитирования: Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Гузалов А.С. Экспериментальные исследования возникновения очагов самовозгорания на торфяных почвах Тверской области // Природообустройство. 2024. № 5. С. 37-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-37-42>

Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE OCCURRENCE OF SPONTANEOUS COMBUSTION CENTERS ON PEAT SOILS OF THE TVER REGION

O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov[✉], A.S. Guzalov¹ Russian Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkin; 127434, Moscow, Timiryazevskaya street, 49, Russia

Abstract. This article presents the results of experimental studies of the ability of peat soil to spontaneously ignite, depending on its degree of decomposition, ash content, chemical composition and bulk density. The purpose of conducting laboratory experimental studies was to study the effect of physicochemical properties of peat on the occurrence of the spontaneous combustion effect. Among drained lands, the most promising for agricultural production are peatlands that have the necessary fertility, the area of which in the Russian Federation reaches about 320 million hectares, more than half

of which have a peat soil layer of at least 30 cm, which meets the requirements for soils recommended for introduction into agricultural circulation. It should be noted that more than 70% of the soils of the Non-Chernozem zone of Russia are represented by low-fertility sod-podzolic soils, and plant products produced on them have a high cost due to low yields and the need for high doses of fertilizers. Organic matter of peat consists of carbon, hydrogen, oxygen, sulfur and nitrogen, therefore peat has high fertility and is of interest for the purposes of growing agricultural crops, however, it should be noted that this type of soil is fire hazardous. Peat has a complex chemical composition, which is determined by the conditions of genesis, the chemical composition of heat-generating plants and the degree of decomposition. The elemental composition of peat: carbon 50-60%, hydrogen 5-6.5%, oxygen 30-40%, nitrogen 1-3%, sulfur 0.5-2.5% of combustible mass. The presence of sulfur in peat produces sulfur dioxide (SO_2) as a result of interaction with oxygen, which irritates the upper respiratory tract of a person and eyes, and hydrogen sulfide (H_2S) – a very toxic gaseous substance. The indicators that determine the ability of peat to ignite are the degree of decomposition, ash content and bulk density.

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-16-00081 (URL: <https://rscf.ru/project/24-16-00081/>).

Keywords: peat soil, bulk density, degree of decomposition, ash content, fires, agricultural land

Format of citation: Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.S. Experimental studies of the occurrence of spontaneous combustion centers on peat soils of the Tver region // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 37-42. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-37-42>

Введение. В летний период в Нечерноземной зоне России выпадает незначительное количество осадков. Температура воздуха достигает высоких значений, что определяет глубокое положение грунтовых вод, разрыв капиллярных связей с поверхностью торфа, увеличение его инфильтрационной способности, и как результат – рост числа возгораний на торфяниках. Такая ситуация складывается в первую очередь на осушенных землях, предназначенных для сельскохозяйственного использования, после проведения на них рекультивационных работ, а также на неосушенных болотах верхового и переходного типов с атмосферным типом водного питания. Ситуация осложняется и тем, что в результате глобального потепления климата происходит повышение дневных и ночных температур воздуха, что негативно сказывается на пожарной обстановке [1].

Торф обладает склонностью к самовозгоранию в зависимости от условий его образования и состава торфообразующих природных компонентов. Он химически и энергетически неоднороден, поэтому его пожароопасность также неоднородна. Как правило, окислительные процессы, протекающие в торфяной почве, происходят с выделением значительного количества теплоты, которая накапливается и при недостаточном ее теплоотводе приводит к эффекту саморазогрева, что инициирует процесс самовозгорания, который на начальной стадии протекает в режиме тления [2].

Материалы и методы исследований.

Отбор проб был произведен на территории месторождения торфа Васильевский мох Тверской

области, на землях сельскохозяйственного назначения, в двух точках – соответственно с маркировкой Т1 и Т2. На рисунках 1, 2 показаны места, где брались пробы.

Был определен физико-химический состав проб по стандартным методикам [3-7]. Результаты анализа приведены в таблице.

Лабораторный эксперимент теплофизических процессов самовозгорания, происходящих в торфяной почве под действием температур окружающего воздуха, проводился по методике, разработанной ВНИИПО [8-11].

Контейнеры с торфом размещались в лабораторном сушильном шкафу, внутри их устанавливались термодатчики ДТКП-0,5-4, фиксирующие значения температур у поверхности и в центре торфяной почвы. Опыт считался завершенным при появлении очага тления, что фиксировалось комплексом компании ОВЕН. Принципиальная схема представлена на рисунке 3.

В процессе лабораторных исследований использовалось оборудование: сушильный шкаф СНОЛ-3.5; термодатчики ДТКП-0.5-4; измеритель-регистратор 8-канальный ОВЕН; программное обеспечение ОВЕН; весы АСЗЕТ СУ-513, предел взвешивания – 510 г, точность – 0,001 г; контейнер из латунной сетки 30 × 30 мм.

В процессе экспериментальных исследований в сушильном шкафу задавалась температура 58°C для моделирования природных условий. Определялась также температура активации химического процесса саморазогрева образцов торфа в зависимости от его физико-химического состава (табл.).

	Информация
Тип	Объект недвижимости
Вид	Земельный участок
Кадастровый номер	69:10:0000030:472
Адрес	Российская Федерация, Тверская область, мкр-н Калининский
Площадь уточненная	1069749 кв. м
Статус	Учтенный
Категория земель	Земли сельскохозяйственного назначения
Разрешенное использование	Для сельскохозяйственного производства



Рис. 1. Место отбора образцов торфа с маркировкой Т1

Fig. 1. Peat sampling site marked

	Информация
Тип	Объект недвижимости
Вид	Земельный участок
Кадастровый номер	69:10:0000029:1005
Адрес	Российская Федерация, Тверская область, р-н Калининский, с/п Верхневолжское
Площадь уточненная	2473303 кв. м
Статус	Учтенный
Категория земель	Земли сельскохозяйственного назначения
Разрешенное использование	Для сельскохозяйственного производства



Рис. 2. Место отбора образцов торфа с маркировкой Т2

Fig. 2. Peat sampling site marked T2

Таблица. Физико-химический состав образцов торфа

Table. Physical and chemical composition of peat samples

№	Гигроскопическая влажность, % <i>Hygroscopic humidity</i>	Сера подвижная, млн-1 <i>Mobile sulfur, mln-1</i>	Массовая доля железа, млн-1 (валовая форма) <i>Mass fraction of iron (weight form), mln-1</i>	Массовая доля зольности, % <i>Mass fraction of ash content, %</i>	Общий (органический) углерод <i>Total (organic) carbon</i>	Метод степени разложения <i>Decomposition degree method</i>
	ГОСТ 5180 <i>GOST 5180</i>	ГОСТ 26490 <i>GOST 26490</i>	М МВИ-80-2008	ГОСТ 27784-88 <i>GOST 27784-88</i>	Метод сухого сжигания <i>Dry burning method</i>	ГОСТ 10650 <i>GOST 10650</i>
T1	13,88	19,5	3287,5	77,53	22,47	35,2
T2	20,14	6,6	2381,25	33,99	66,0	4,8

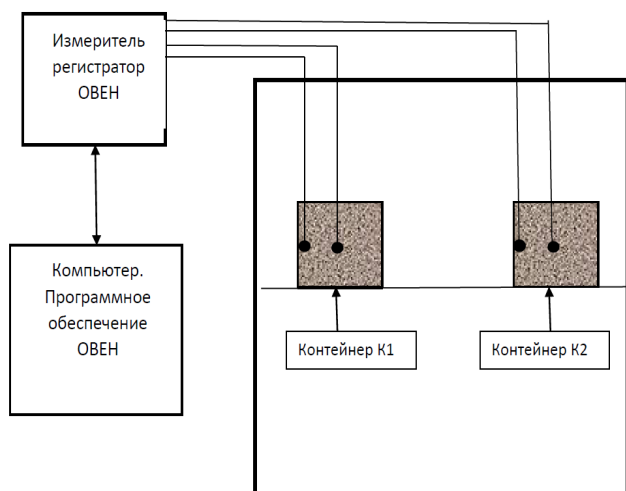


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки

Fig. 3. Schematic diagram of the experimental facility

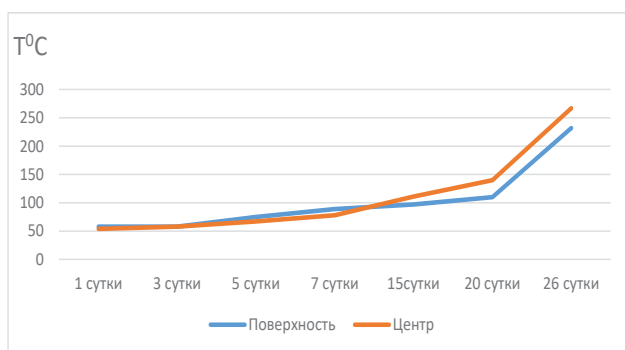


Рис. 4. Динамика саморазогрева торфа Т1 плотностью 1 г/см^3 до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К1

Fig. 4. Dynamics of self-heating of peat T1 with a density of 1 г/см^3 before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K1

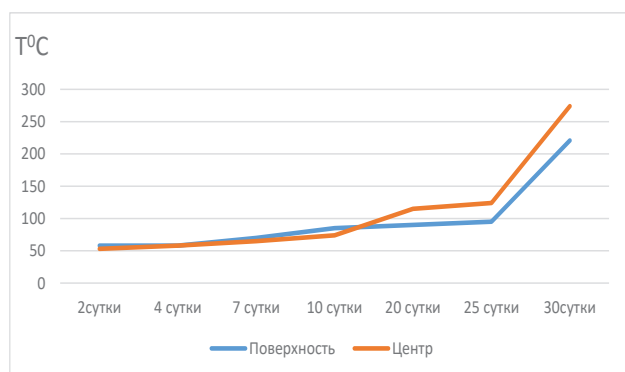


Рис. 5. Динамика саморазогрева торфа Т1 плотностью $1,15 \text{ г/см}^3$ до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К2

Fig. 5. Dynamics of self-heating of peat T1 with a density of $1,15 \text{ г/см}^3$ before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K2

Образцы торфа с маркировкой Т1 испытывались при исходной влажности $36,05\%$ и температуре окружающей среды 58°C , маркировка Т2 – соответственно $36,53\%$, при указанной выше температуре. Значения температуры поверхности и теплофизического центра образцов фиксировались с частотой в 1 с. В процессе эксперимента в сушильном шкафу с 8.00 до 18.00 поддерживалась температура 58°C , в вечернее и ночное время она составляла 20°C , что соответствует природным условиям. Согласно нашим исследованиям температура поверхности торфяной почвы может достигать 80°C и выше.

Плотность образцов для Т1 составила, соответственно, $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$ для первого контейнера К1 и $\rho_2 = 1,15 \text{ г/см}^3$ для второго контейнера К2. Результаты представлены на рисунках 4, 5 соответственно.

Из результатов сравнения результатов следует, что при большей плотности эффект самовозгорания происходит через больший промежуток времени. На рисунке 6 представлена фотография тлеющего образца торфа, из которой можно сделать вывод о том, что самовозгорание произошло в центре контейнера с образцом торфяной почвы.

Эксперимент был выполнен также с образцами торфа с маркировкой Т2. Физико-химический состав представлен в таблице при плотности $\rho_1 = 0,9 \text{ г/см}^3$ (контейнер К1) и $\rho_2 = 1,2 \text{ г/см}^3$ (контейнер К2). Данный образец характеризуется малой степенью разложения по сравнению с Т1-6,6 и 35,2, меньшей зольностью – 33,99 и 77,53, большим содержанием общего углерода – 66,0 и 22,47 соответственно. Результаты представлены рисунках 7, 8, из которых следует, что так же, как и с образцом Т1, с увеличением плотности торфа увеличивается время до его самовозгорания.

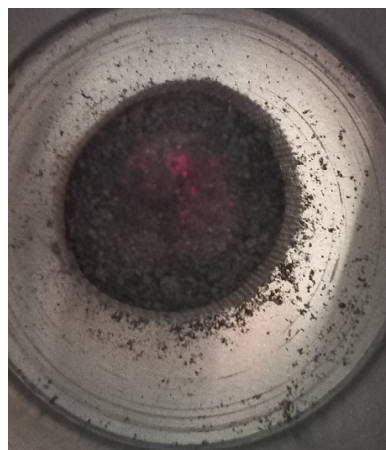


Рис. 6. Тление образца торфа Т1
Fig. 6. Smoldering of a T1 peat sample

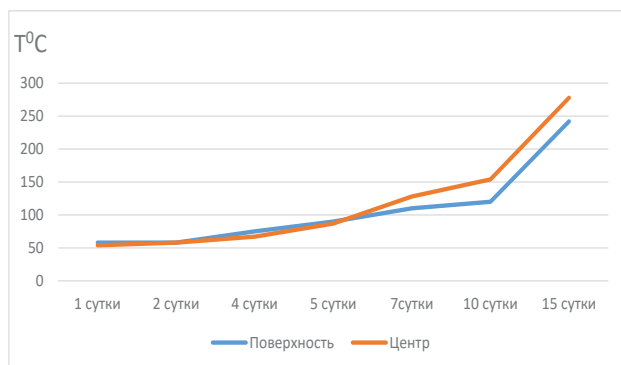


Рис. 7. Динамика саморазогрева торфа Т2 плотностью 0,9 г/см³ до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К1

Fig. 7. Dynamics of self-heating of peat T2 with a density of 0.9 g/cm³ before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K1

Выводы

1. Из результатов экспериментальных исследований следует, что поверхности и центры образцов торфа с маркировками Т1 и Т2 с большей плотностью имели температуру ниже, чем менее плотные, что увеличивало время до их самовозгорания.

2. Более плотные образцы самовозгорались за больший промежуток времени, чем менее плотные, что говорит о снижении пожароопасности торфяной почвы с увеличением ее плотности.

Список использованных источников

1. Зайдельман Ф.Р. Гидрогеологический режим почв Нечерноземной зоны. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 328 с.
2. Зайдельман Ф.Р. О глубоком осушении торфяников // Гидротехника и мелиорация. 1960. № 11. С. 25-31.
3. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. URL: <https://www.stroymoslab.ru/sites/default/files/uslugi/5180-2015.pdf>.
4. ГОСТ 26490-85 действующий. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО Soils. Determination of mobile sulfur by CINAO method 07.11.201207.1.201201.07.1986.
5. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложений методами атомно-абсорбционной спектроскопии. Санкт-Петербург, 2008. URL: <https://www.opengost.ru/iso/4519-m-mvi-80-2008-metodika-vypolneniya-izmereniy-massovoy-doli-elementov-v-probah-pochv-gruntov-i-donnyh-otlozheniyah-metodami-atomno-emissionnoy-spektrometrii.html?ysclid=m24tpd621s908483595>.
6. ГОСТ 27784-88. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. URL: https://rosgosts.ru/file/gost/13/080/gost_27784-88.pdf?ysclid=m24tqvwm23131695.

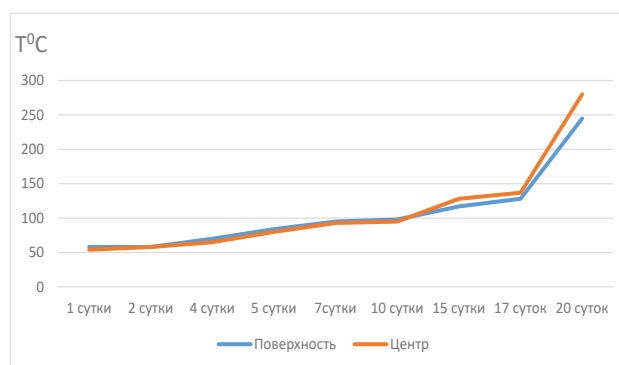


Рис. 8. Динамика саморазогрева торфа Т2 плотностью 1,2 г/см³ до наступления эффекта самовозгорания, контейнер К2

Fig. 8. Dynamics of self-heating of peat T2 with a density of 1.2 g/cm³ before the onset of the effect of spontaneous combustion, container K2

3. С уменьшением плотности торфяной почвы длина волны горения становится короче, повышается ее насыщенность кислородом, что сокращает время до ее самовозгорания.

4. Самовозгорание образцов торфа с маркировкой Т2 наступало раньше, чем самовозгорание торфяной почвы Т1, на 4 и 5 суток соответственно, в зависимости от плотности и по причине того, что они имели меньшую степень разложения и большее содержание углерода.

5. Пожарную безопасность торфяных почв можно повысить почвенными обработками для увеличения ее плотности.

References

1. Seidelman F.R. Hydrological regime of soils of the Non-Chernozem zone. L.: Hydrometeoizdat, 1985. 328 p.
2. Seidelman F.R. On deep drainage of peat bogs // Hydraulic engineering and land reclamation. 1960. No. 11. P. 25-31.
3. GOST 5180-2015 Soils methods for laboratory determination of physical characteristics. <https://www.stroymoslab.ru/sites/default/files/uslugi/5180-2015.pdf>
4. GOST 26490-85 is valid. Soils. Determination of mobile sulfur by the TSINAO Soils method. Determination of mobile sulfur by CINAO method 07.11.201207.11.2012 01.07.1986.
5. M-MVI-80-2008. The method of measuring the mass fraction of elements in samples of soils, soils and bottom sediments by atomic absorption spectrometry. St. Petersburg, 2008. <https://www.opengost.ru/iso/4519-m-mvi-80-2008-metodika-vypolneniya-izmereniy-massovoy-doli-elementov-v-probah-pochv-gruntov-i-donnyh-otlozheniyah-metodami-atomno-emissionnoy-spektrometrii.html?ysclid=m24tpd621s908483595>
6. GOST 27784-88 Method for determining the ash content of peat. And detached soil horizons. https://rosgosts.ru/file/gost/13/080/gost_27784-88.pdf?ysclid=m24tqvwm23131695

7. ГОСТ 10650-2013. Торф. Методы определения степени разложения. Технические условия 01.02.2020. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/56057/?ysclid=m24ts2dfdr643891897>.

8. Дидманидзе О.Н., Парлюк Е.П., Евграфов А.В. Результаты исследований температурного режима осушаемой торфяной почвы // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 1. С. 45-49. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-45-49. EDN: VDZKKJ.

9. Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.В. Физические модели горения в системе пожарной безопасности: монография / МЧС России; Санкт-Петербургский государственный университет противопожарной службы. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 347 с.

10. Kasichke E.S., Bruhwiler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fire in 1998 // *J. Geophys. Res.* 2003. 108 (D1). 8146. DOI: 10.1029/2001JD000461.

11. Larson T.V., Koenig J.Q. Wood smoke Emissions and Non Cancer Respiratory Effects // *Annual Review of Public Health*. 1994. Vol. 15. Pp. 133-156.

7. GOST 10650-2013 Peat. Methods for determining the degree of decomposition. Technical specifications 01.02.2020. <https://internet-law.ru/gosts/gost/56057/?ysclid=m24ts2dfdr643891897>

8. Didmanidze O.N. Results of studies of the temperature regime of drained peat soil / O.N. Didmanidze, E.P. Parlyuk, A.V. Evgrafov // *Agroengineering*. 2023. T. 25, No. 1. pp. 45-49. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-1-45-49. – ED. VDZKKJ.

9. Kiselev Ya.S. Physical gorenje models in the fire safety system: monograph / Khoroshilov O.A., Demekhin F.V. / EMERCOM of Russia St. Petersburg State University. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2009, 347 p. ISBN: 978-5-7422-2150-0

10. Kasichke E.S., Bruviler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide and methane as a result of forest fires in boreal forests in 1998//*J. Geophys. Res.* 2003. 108 (D1). 8146, doi: 10.1029/2001JD000461.

11. Larson T.V., Koenig J.K. Wood smoke emissions and non-cancer-related respiratory effects // *Annual review of Public Health*. 1994. Volume 15. P. 133-156.

Об авторах

Отари Назирович Дидманидзе, академик РАН, д-р техн. наук, профессор; ORSID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; didmanidze@rgau-msha.ru

Алексей Владимирович Евграфов, д-р техн. наук, доцент; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; labpoliv@list.ru

Артембек Сергеевич Гузалов, канд. техн. наук; ORSID: 0000-0003-3526-4332; AuthorID: 1036988; aguzalov@mail.ru

About the authors

Otari N. Didmanidze, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, ORSID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; didmanidze@rgau-msha.ru

Alexey V. Evgrafov, Doctor of Technical Sciences, associate professor; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; labpoliv@list.ru

Artembek S. Guzalov, Ph.D., Associate Professor; ORSID: 0000-0001-8984-4426, AuthorID: 416620; aguzalov@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Гузалов А.С. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 08.08.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.09.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.09.2024

Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Guzalov A.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.