

DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-235-247

УДК 577.356

## ВЛИЯНИЕ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ИОНИЗАЦИИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРОВИ IN VITRO

*А.К. Мартусевич, Х.А. Эминова,  
Е.С. Голыгина, В.В. Назаров*

*Целью исследования* служила оценка диэлектрических свойств крови при обработке различными ионизированными и неионизированными газовыми потоками.

*Материал и методы.* Эффекты газовых потоков изучали на 10 образцах цельной крови практически здоровых добровольцев, разделенных на 5 порций (контрольная, обработка гелием, аргоном и полученной из них холодной плазмой в течение 1 мин.). Диэлектрические свойства биологической жидкости изучали методом СВЧ-диэлектрметрии по проницаемости и проводимости биологической жидкости.

*Результаты.* Выявлено, что наличие ионизации и тип газа-носителя непосредственно определяют характер их воздействия на модельный биологический объект (цельную кровь).

Установлено, что неионизированные потоки гелия и аргона повышают проницаемость биологической жидкости, не влияя на ее проводимость. Напротив, ионизированные потоки демонстрируют более выраженные и специфичные сдвиги диэлектрических характеристик крови. Гелиевая холодная плазма существенно повышает проводимость биологической жидкости при сохранении ее проводимости, а аргоновая плазма снижает оба изучаемых показателя.

*Ключевые слова:* холодная плазма; гелий; аргон; диэлектрическая проницаемость; проводимость

*Для цитирования.* Мартусевич А.К., Эминова Х.А., Голыгина Е.С., Назаров В.В. Влияние газовых потоков различной степени ионизации на диэлектрические параметры крови in vitro // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 1. С. 235-247. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-235-247

## THE EFFECT OF GAS FLOWS OF VARIOUS DEGREES OF IONIZATION ON THE DIELECTRIC PARAMETERS OF BLOOD IN VITRO

*A.K. Martusevich, H.A. Eminova,  
E.S. Golygina, V.V. Nazarov*

*The aim of the study was to evaluate the dielectric properties of blood when treated with various ionized and non-ionized gas streams.*

*Material and methods.* The effects of gas flows were studied on 10 whole blood samples of practically healthy volunteers divided into 5 portions (control, treatment with helium, argon and cold plasma obtained from them for 1 min.). The dielectric properties of the biological fluid were studied by microwave dielectrometry on the permeability and conductivity of the biological fluid.

*Results.* It was revealed that the presence of ionization and the type of carrier gas directly determine the nature of their effect on a model biological object (whole blood). It has been found that non-ionized helium and argon fluxes increase the permeability of the biological fluid without affecting its conductivity. On the contrary, ionized flows demonstrate more pronounced and specific shifts in the dielectric characteristics of blood. Helium cold plasma significantly increases the conductivity of the biological fluid while maintaining its conductivity, and argon plasma reduces both studied indicators.

**Keywords:** cold plasma; helium; argon; dielectric permittivity; conductivity

**For citation.** Martusevich A.K., Eminova H.A., Golygina E.S., Nazarov V.V. The effect of gas flows of various degrees of ionization on the dielectric parameters of blood in vitro. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 235-247. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-235-247

Известно, что холодная плазма является биологически значимым физическим фактором, оказывающим существенное модулирующее влияние на состояние живых систем различного уровня организации [11-13, 14-18]. Холодная плазма образуется в результате ионизации газового потока при его обработке различными высокоэнергетическими агентами (барьерный, коронный разряды, импульсный ток и др.) [11, 13, 15-18], причем температура полученного потока непосредственно определяется степенью ионизации [11], а также расстоянием от «плазменного факела» до биологического объекта [17].

Показано, что холодная плазма модифицирует как метаболические процессы в тканях, так и их функциональное состояние в условиях *in vitro* и *in vivo*. В частности, для гелиевой плазмы нашими предшествующими исследованиями и данными других авторов было продемонстрировано влияние на параметры энергетического и окислительного метаболизма, активность ряда оксидоредуктаз крови и эритроцитов [11-13, 15, 17, 18]. При этом единой молекулярной мишенью изучаемого физического фактора являются свободнорадикальные процессы, протекающие в биологических жидкостях, интерстициальном пространстве и внутри клеток и опосредующие другие метаболические реакции на тканевом и органном уровнях [17]. Кроме того, эффективная модуляция обменных процессов оказывает трансформирующее влияние на параметры функционального состояния тканей, в частности, на интенсивность кровотока в системном кровотоке и микроциркуляторном русле [18].

С другой стороны, важным, до сих пор нераскрытым вопросом плазменной медицины является роль газа-носителя в формировании биологических эффектов холодной плазмы. На основании предшествующих кристаллоскопических исследований было установлено, что воздействие на образцы крови холодной гелиевой и аргоновой плазмы способствует формированию переменных сдвигов кристаллогенной активности биологической жидкости [15]. В то же время приведенные данные нуждаются в подтверждении и дополнении. В связи с этим целью исследования служила оценка диэлектрических свойств крови при обработке различными ионизированными и неионизированными газовыми потоками.

### **Материал и методы**

Материалом исследования служили 10 образцов крови практически здоровых добровольцев (возраст – 20-45 лет). Каждый образец делили на 5 равных порций, первая из которых была контрольной (с ней не производили никаких манипуляций, кроме измерения диэлектрических параметров), остальные обрабатывали различными газовыми потоками. Для обработки использовали гелий и аргон высокой чистоты (99,99%), а также холодную плазму, полученную при их ионизации. Получение холодной плазмы осуществляли с применением СВЧ-генератора собственной конструкции, описанного ранее [15, 17, 18], в едином режиме. Скорость газового потока во всех случаях была постоянной и составляла 2 л/мин. Длительность обработки всеми факторами равнялась 1 мин. Экспозиция после воздействия составляла 5 минут.

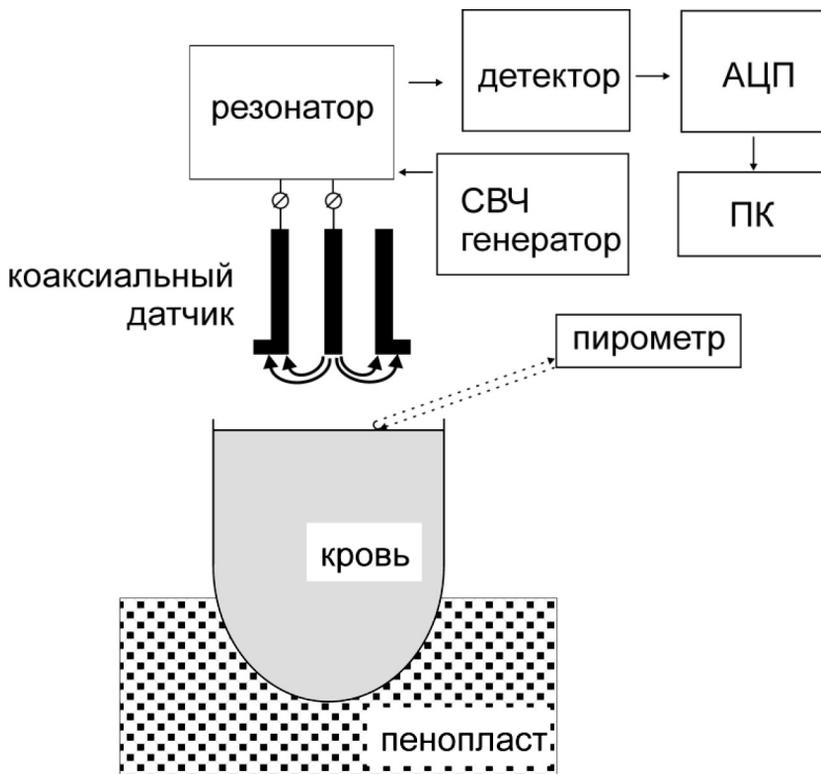


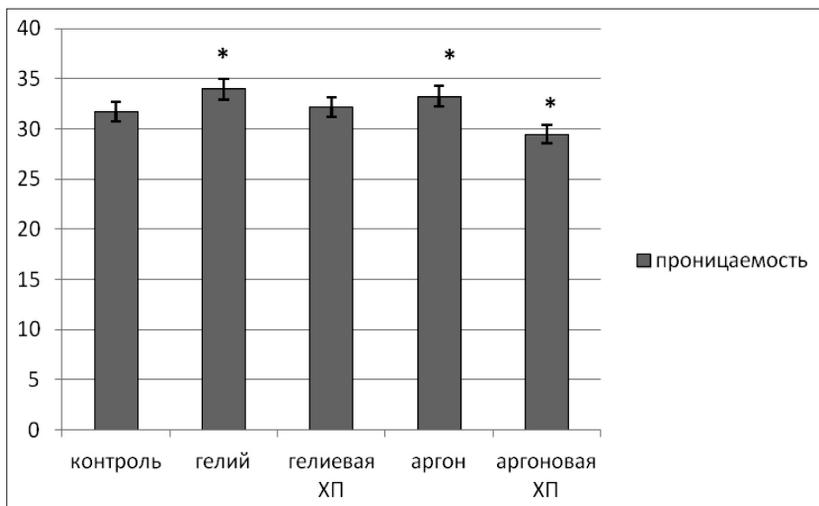
Рис. 1. Схема устройства для СВЧ-диэлектromетрии биологических жидкостей

Диэлектрические свойства биологической жидкости изучали по окончании периода экспозиции с помощью устройства, разработанного в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород) [16]. Схема устройства и установки для проведения эксперимента представлена на рисунке 1. Оценочными параметрами для метода СВЧ-диэлектromетрии служили диэлектрическая проницаемость среды и проводимость, рассчитываемые в условных единицах.

Статистическая обработка результатов эксперимента была выполнена с использованием пакета программ Statistica 6.0. Данные представляли в форме среднего значения и стандартного отклонения. Значимость различий между отдельными воздействиями оценивали путем применения t-критерия Стьюдента.

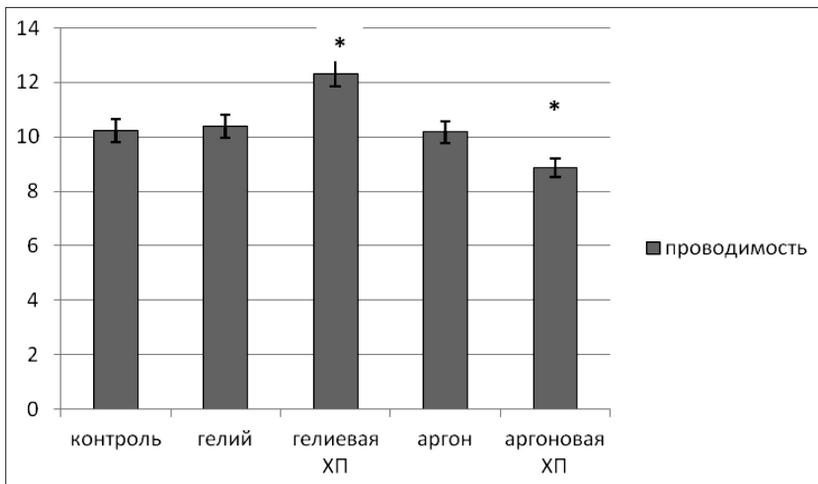
## Результаты

Установлено, что обработка крови изучаемыми газовыми потоками существенно изменяет ее диэлектрические характеристики (рис. 2 и 3).



**Рис. 2.** Влияние ионизированных потоков различной степени ионизации на диэлектрическую проницаемость крови («\*») – статистическая значимость различий относительно контрольного образца  $p < 0,05$ )

Так, зафиксирован статистически значимый рост диэлектрической проницаемости (рис. 2) при воздействии неионизированных газов на рассматриваемую биологическую жидкость (на 8 и 7% для гелия и аргона относительно контрольного образца;  $p < 0,05$  для обоих факторов). Это может быть связано с нарастанием концентрации неэлектролитов в жидкой части крови [2, 3, 5-7]. Напротив, воздействие гелиевой плазмы не изменяло проницаемость крови, а поток аргоновой плазмы уменьшал значение данного параметра (на 9% относительно интактного образца;  $p < 0,05$ ). По нашему мнению, подобная особенность действия аргоновой плазмы по сравнению с гелиевой обусловлена большей степенью ионизации первой (потенциал ионизации – 15,7 и 24,5 эВ соответственно [1, 14]) и, следовательно, реактивной генерацией в биологической жидкости повышенного количества активных форм кислорода и азота, опосредующих эффекты холодной плазмы в биообъектах [11-15, 17]. Это и предопределяет снижение диэлектрической проницаемости цельной крови при применении аргоновой плазмы.



**Рис. 3.** Влияние ионизированных потоков различной степени ионизации на диэлектрическую проводимость крови («\*») – статистическая значимость различий относительно контрольного образца  $p < 0,05$

Аналогичные разнонаправленные тенденции были зарегистрированы для проводимости изучаемой биологической жидкости (рис. 3). Выявлено, что неионизированные потоки гелия и аргона не влияют на проводимость цельной крови, поскольку не привносят в систему дополнительных ионов, способных обеспечить нарастание параметра. Об этом свидетельствует отсутствие различий уровня показателя относительно контрольного образца.

При этом наиболее интересна динамика изменения проводимости при обработке биосреды холодной гелиевой и аргоновой плазмой (рис. 3). Установлено, что данные варианты холодно-плазменного воздействия демонстрируют разнонаправленные и статистически значимые сдвиги параметра. Так, гелиевая плазма обеспечивает нарастание проводимости (на 18% относительно контрольного образца, с которым не производили никаких манипуляций;  $p < 0,05$ ), тогда как ионизированный поток аргона индуцирует снижение показателя (на 16% соответственно;  $p < 0,05$ ). Можно предположить, что такая динамика проводимости вызвана особенностями ионизации изучаемых газов. Известно, что при СВЧ-обработке гелия образуются только положительно заряженные частицы, тогда как в случае ионизации аргона дополнительно генерируются отрицательно заряженные ионы [11, 14]. Следовательно, при применении гелиевой плазмы

в биологической жидкости формируется переизбыток электронов, что и способно увеличивать проводимость крови [3-10, 21]. С другой стороны, эти данные косвенно указывают на неодинаковость влияния гелиевой и аргоновой плазмы на свободнорадикальные процессы в плазме крови и эритроцитах, которые рассматриваются как основная молекулярная мишень действия фактора [3, 9, 19, 20]. Приведенные сведения являются фундаментальным базисом для различия биологических эффектов холодной гелиевой и аргоновой плазмы на клеточно-тканевом (в модели изолированной биологической жидкости) и организменном (у лабораторных животных и человека) уровнях.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволяют заключить, что наличие ионизации и тип газа-носителя непосредственно определяют характер их воздействия на модельный биологический объект (цельную кровь практически здоровых людей). Это модулирующее влияние прослежено нами на основании анализа основных диэлектрических параметров биосреды (проницаемости и проводимости) методом ближнепольной резонансной СВЧ-диэлектротрии. Установлено, что неионизированные потоки гелия и аргона повышают проницаемость биологической жидкости, не влияя на ее проводимость. Можно предположить неспецифичность этого эффекта. Напротив, ионизированные потоки демонстрируют более выраженные и специфичные сдвиги диэлектрических характеристик крови. Гелиевая холодная плазма существенно повышает проводимость биологической жидкости при сохранении ее проводимости, а аргоновая плазма снижает оба изучаемых показателя. Это создает предпосылки для селективности биологических эффектов данных плазменных потоков и, следовательно, дифференцированного подхода к их потенциальному применению в биомедицине и ветеринарии.

*Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда №22-25-00652.*

### **Список литературы**

1. Белерини Г., Брианд Ф., Лефевр Ф., Чоуф К., Степанова М. Сварка твердотельными и CO<sub>2</sub>-лазерами листовой оцинкованной стали и нестандартных заготовок в среде аргона и в смесях на его основе // Фотоника. 2013. №4. С. 52-65.
2. Пархоменко М.П., Фон Гратовски С.В., Савельев С.В. Исследование диэлектрических свойств крови и разработка резонаторного метода для

- неинвазивного измерения содержания глюкозы в крови // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62, №3. С. 276-291. <https://doi.org/10.7868/S0033849417030159>
3. Романов А.Н., Винокурова Е.Ю., Ковригин А.О. и др. Диэлектрические характеристики биологических жидкостей человека при развитии онкологических заболеваний. Барнаул, 2008. 72 с.
  4. Романов А.Н., Ковригин А.О., Лазарев А.Ф., Лубенников В.А., Романов Д.А. Гистерезис зависимостей диэлектрических характеристик крови от температуры // Российский биотерапевтический журнал. 2015. Т. 14, №3. С. 69-74. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2015-14-3-69-74>
  5. Седунов Б.И., Франк-Каменецкий Д.А. Диэлектрическая проницаемость биологических объектов // Успехи физических наук. 1963. LXXIX, Вып. 4. С. 617–639.
  6. Суковатова А.О., Романов А.Н., Ковригин А.О. Использование регрессионного анализа для моделирования диэлектрических свойств биологических жидкостей на примере сыворотки крови // Известия Алтайского государственного университета. 2011. Т. 69, №1-1. С. 127-130.
  7. Шаталова Т.А., Адельянов А.В., Горобченко О.А., Николов О.Т., Гагаш С.В., Овсянникова Т.Н., Горшунская М.Ю. Влияние курса лечения на диэлектрические характеристики компонент крови больных сахарным диабетом 2 типа // Физика живого. 2012. Т. 20, №1. С. 50-56. <http://pa.science-center.net/Archive/2012%20Vol20%20N1/8%20Shatalova%20et%20al.pdf>
  8. Abdalla S. Gaussian distribution of relaxation through human blood // Physica B: Condensed Matter. 2011. Vol. 406, №3. P. 584–587. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2010.11.047>
  9. Bordi F., Cametti C., Gili T. Dielectric spectroscopy of erythrocyte cell suspensions. A comparison between Looyenga and Maxwell–Wagner–Hanai effective medium theory formulations // Journal of Non-Crystalline Solids. 2002. Vol. 305, №1–3. P. 278–284. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(02\)01111-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(02)01111-0)
  10. Chelidze T. Dielectric spectroscopy of blood // Journal of Non-Crystalline Solids. 2002. Vol. 305, №1–3. P. 285–294. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(02\)01101-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(02)01101-8)
  11. Dobrynin D., Fridman G. et al. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue // New J. Phys. 2009. Vol. 11. P. 1–26. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/11/11/115020>
  12. Alkawareek M., Gorman S. et al. Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma // Int J Antimicrob Agents. 2014. Vol. 43. № 2. P. 154-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2013.08.022>

13. Hoffmann C., Berganza C., Zhang J. Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology // *Medical Gas Research*. 2013. Vol. 3. P. 21. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-3-2>
14. Kogochev A. Yu., Kurskov S. Yu., Sysun V. I. Excitation processes in Ar-Ar collisions // *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2012. №8. Vol. 2. P. 86-89.
15. Martusevich A.K., Galka A.G., Golygina E.S., Fedotova A.S., Tuzhilkin A.N., Malinovskaya S.L. Comparative Study of the Influence of Helium and Argon Plasma on Crystallogenic Properties of the Blood // *Plasma Medicine*. 2021. Vol. 11, №1. P. 69-79. <https://doi.org/10.1615/PlasmaMed.2021038035>
16. Martusevich A.K., Galka A.G., Golygina E.S., Tuzhilkin A.N., Fedotova A.S. Method of near-field dielectrometry of biological fluid // *Archiv Euromedica*. 2020. Vol. 10, №2. P. 20-21. <http://dx.doi.org/10.35630/2199-885X/2020/10/2.5>
17. Martusevich A.K., Galka A.G., Karuzin K.A., Tuzhilkin A.N., Malinovskaya S.L. Cold helium plasma as a modifier of free radical processes in the blood: in vitro study // *AIMS Biophysics*. 2021. Vol. 8, N 1. P. 34-40. <https://doi.org/10.3934/biophy.2021002>
18. Martusevich A.K., Krasnova S.Yu., Galka A.G., Peretyagin P.V., Yanin D.V., Kostrov A.V. Estimation of the microcirculatory response to the effect of cold helium plasma // *Biophysics*. 2019. Vol. 64, No. 4. P. 610–613. <https://doi.org/10.1134/S0006350919040110>
19. Sudsiri J., Wachner D., Gimsa J. On the temperature dependence of the dielectric membrane properties of human red blood cells // *Bioelectrochemistry*. 2007. Vol. 70, №1. P. 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2006.03.010>
20. Wolf M., Gulich R., Lunkenheimer P., Loidl A. Broadband dielectric spectroscopy on human blood // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*. 2011. Vol. 1810, №8. P. 727–740. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.05.012>
21. Wolf M., Gulich R., Lunkenheimer P., Loidl A. Relaxation dynamics of a protein solution investigated by dielectric spectroscopy // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*. 2012. Vol. 1824, №5. P. 723–730. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2012.02.008>

### *References*

1. Belerini G., Briand F., Lefebvre F., Chouf K., Stepanova M. Svarka tverdotelnymi i SO<sub>2</sub>-lazerami listovoj ocinkovannoj stali i nestandartnyh zagotovok v srede argona i v smesyah na ego osnove [Welding of galvanized sheet steel and non-standard workpieces with solid-state and CO<sub>2</sub> lasers in argon medium and mixtures based on it]. *Fotonika* [Photonics], 2013, no. 4, pp. 52-65.

2. Parhomenko M.P., Fon Gratovski S.V., Savel'ev S.V. Issledovanie dielektricheskikh svoystv krovi i razrabotka rezonatornogo metoda dlya neinvazivnogo izmereniya soderzhaniya glyukozy v krovi [Investigation of dielectric properties of blood and development of a resonator method for noninvasive measurement of blood glucose]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radiotechnics and electronics], 2017, vol. 62, no. 3, pp. 276-291. <https://doi.org/10.7868/S0033849417030159>
3. Romanov A.N., Vinokurova E.YU., Kovrigin A.O. i dr. *Dielektricheskie harakteristiki biologicheskikh zhidkostej cheloveka pri razviti onkologicheskikh zabolevanij* [Dielectric characteristics of human biological fluids in the development of oncological diseases]. Barnaul, 2008. 72 p.
4. Romanov A.N., Kovrigin A.O., Lazarev A.F., Lubennikov V.A., Romanov D.A. Gisterezis zavisimostej dielektricheskikh harakteristik krovi ot temperatury [Hysteresis of the dependences of the dielectric characteristics of blood on temperature]. *Rossijskij bioterapevticheskij zhurnal* [Russian biotherapeutical journal], 2015, vol. 14, no. 3, pp. 69-74. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2015-14-3-69-74>
5. Sedunov B.I., Frank-Kameneckij D.A. Dielektricheskaya pronicaemost' biologicheskikh ob'ektov [Dielectric permittivity of biological objects]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in physical science], 1963, vol. 79, no. 4, pp. 617-639.
6. Sukovatova A.O., Romanov A.N., Kovrigin A.O. Ispol'zovanie regressionnogo analiza dlya modelirovaniya dielektricheskikh svoystv biologicheskikh zhidkostej na primere syvorotki krovi [Using regression analysis to model the dielectric properties of biological fluids on the example of blood serum]. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta* [Gerald Altai State University], 2011, vol. 69, no. 1-1, pp. 127-130.
7. Shatalova T.A., Adel'yanov A.V., Gorobchenko O.A., Nikolov O.T., Gatash S.V., Ovsyannikova T.N., Gorshunskaya M.YU. Vliyanie kursa lecheniya na dielektricheskie harakteristiki komponent krovi bol'nyh saharnym diabetom 2 tipa [The effect of the course of treatment on the dielectric characteristics of the blood components of patients with type 2 diabetes mellitus]. *Fizika zhivogo* [Physics of alive], 2012, vol. 20, no. 1, pp. 50-56. <http://pa.science-center.net/Archive/2012%20Vol20%20N1/8%20Shatalova%20et%20al.pdf>
8. Abdalla S. Gaussian distribution of relaxation through human blood. *Physica B: Condensed Matter*, 2011, vol. 406, no. 3, pp. 584-587. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2010.11.047>
9. Bordi F., Cametti C., Gili T. Dielectric spectroscopy of erythrocyte cell suspensions. A comparison between Looyenga and Maxwell-Wagner-Hanai effective medium theory formulations. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2002. vol. 305, no. 1-3, pp. 278-284. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(02\)01111-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(02)01111-0)

10. Chelidze T. Dielectric spectroscopy of blood. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2002, vol. 305, no. 1–3, pp. 285–294. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(02\)01101-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(02)01101-8)
11. Dobrynin D., Fridman D., Friedman G. et al. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue. *New J. Phys.*, 2009, vol. 11, pp. 1–26. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/11/11/115020>
12. Alkawareek M., Gorman S. et al. Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma. *Int J Antimicrob Agents*, 2014, vol. 43, no. 2, pp. 154-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2013.08.022>
13. Hoffmann C., Berganza C., Zhang J. Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology. *Medical Gas Research*, 2013, vol. 3, pp. 21. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-3-21>
14. Kogochev A. Yu., Kurskov S. Yu., Sysun V. I. Excitation processes in Ar-Ar collisions. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, 2012, vol. 2, no. 8, pp. 86-89.
15. Martusevich A.K., Galka A.G., Golygina E.S., Fedotova A.S., Tuzhilkin A.N., Malinovskaya S.L. Comparative study of the influence of helium and argon plasma on crystallogenic properties of the blood. *Plasma Medicine*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 69-79. <https://doi.org/10.1615/PlasmaMed.2021038035>
16. Martusevich A.K., Galka A.G., Golygina E.S., Tuzhilkin A.N., Fedotova A.S. Method of near-field dielectrometry of biological fluid. *Archiv Euromedica*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 20-21. <http://dx.doi.org/10.35630/2199-885X/2020/10/2.5>
17. Martusevich A.K., Galka A.G., Karuzin K.A., Tuzhilkin A.N., Malinovskaya S.L. Cold helium plasma as a modifier of free radical processes in the blood: in vitro study. *AIMS Biophysics*, 2021, vol. 8, no. 1, pp. 34-40. <https://doi.org/10.3934/biophy.2021002>
18. Martusevich A.K., Krasnova S.Yu., Galka A.G., Peretyagin P.V., Yanin D.V., Kostrov A.V. Estimation of the microcirculatory response to the effect of cold helium plasma. *Biophysics*, 2019, vol. 64, no. 4, pp. 610–613. <https://doi.org/10.1134/S0006350919040110>
19. Sudsiri J., Wachner D., Gimsa J. On the temperature dependence of the dielectric membrane properties of human red blood cells. *Bioelectrochemistry*, 2007, vol. 70, no. 1, pp. 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2006.03.010>
20. Wolf M., Gulich R., Lunkenheimer P., Loidl A. Broadband dielectric spectroscopy on human blood. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*, 2011, vol. 1810, no. 8, pp. 727–740. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.05.012>
21. Wolf M., Gulich R., Lunkenheimer P., Loidl A. Relaxation dynamics of a protein solution investigated by dielectric spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*, 2012, vol. 1824, no. 5, pp. 723–730. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2012.02.008>

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Мартусевич Андрей Кимович**, д.б.н., руководитель лаборатории медицинской биофизики

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации*

*пл. Минина, 10/1, г. Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация  
cryst-mart@yandex.ru*

**Эминова Хадижа Аслудиновна**, студентка

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации*

*пл. Минина, 10/1, г. Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация*

**Гольгина Елена Сергеевна**, лаборант-исследователь лаборатории медицинской биофизики

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации*

*пл. Минина, 10/1, г. Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация*

**Назаров Владимир Викторович**, младший научный сотрудник лаборатории медицинской биофизики

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации*

*пл. Минина, 10/1, г. Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Andrew K. Martusevich**, PhD, MD, Head of the Laboratory of Medical Biophysics

*Privolzhsky Research Medical University*

*10/1, Minin sq., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation*

*cryst-mart@yandex.ru*

*SPIN-code: 5618-4826*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0818-5316>*

*ResearcherID: AAY-6097-2020, G-1752-2011*

*Scopus Author ID: 22035825900*

**Hadija A. Eminova**, Student

*Privolzhsky Research Medical University*

*10/1, Minin sq., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7504-5287>*

**Elena S. Golygina**, Laboratory Assistant of the Laboratory of Medical Biophysics

*Privolzhsky Research Medical University*

*10/1, Minin sq., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6113-2267>*

**Vladimir V. Nazarov**, Junior Scientist of the Laboratory of Medical Biophysics

*Privolzhsky Research Medical University*

*10/1, Minin sq., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7197-2048>*

Поступила 11.01.2022

После рецензирования 26.01.2022

Принята 29.01.2022

Received 11.01.2022

Revised 26.01.2022

Accepted 29.01.2022