

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.10>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОННОГО БАЛАНСА КРОВИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Научная статья

Тиньков Н.И.<sup>1,\*</sup>, Чернухин К.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID : 0009-0002-0666-2673;<sup>1,2</sup>Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (tinkov2015[at]gmail.com)

**Аннотация**

В работе представлены результаты исследований термоэлектрического эффекта в физиологических жидкостях животных, а также в модельных им растворах. Измерения проводились на образцах крови, а также на изотоничных плазме крови растворах Рингера. Выбранная в качестве объекта исследований свиная кровь в наибольшей степени близка по ионному составу к человеческой крови. В процессе приготовления образцов искусственно формировался дисбаланс между концентрациями катионов натрия и калия по отношению к нормальным пропорциям. Выявлено влияние концентрации ионов калия на электропроводность и величину термоэлектрической ЭДС. Полученные результаты могут быть использованы для выявления нарушений ионного баланса крови, а именно диагностики гипокалиемии и гиперкалиемии.

**Ключевые слова:** термоэлектрический эффект, ионный баланс, коэффициент термо-ЭДС, физиологические жидкости, гипокалиемия, гиперкалиемия.

## A STUDY OF THE INFLUENCE OF BLOOD ION BALANCE ON THERMOELECTRIC PROPERTIES

Research article

Tinkov N.I.<sup>1,\*</sup>, Chernukhin K.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID : 0009-0002-0666-2673;<sup>1,2</sup>Bunin Yelets State University, Elets, Russian Federation

\* Corresponding author (tinkov2015[at]gmail.com)

**Abstract**

The work presents the results of studies of thermoelectric effect in physiological fluids of animals, as well as in their model solutions. Measurements were carried out on blood samples, as well as on Ringer's solutions isotonic to blood plasma. The swine blood chosen as an object of research is the closest in ionic composition to human blood. In the process of sample preparation, an imbalance between concentrations of sodium and potassium cations in relation to normal proportions was artificially formed. The influence of potassium ion concentration on electrical conductivity and the value of thermoelectric EMF was detected. The obtained results can be used to detect blood ion balance disorders, namely, the diagnosis of hypokalaemia and hyperkalemia.

**Keywords:** thermoelectric effect, ion balance, thermo-EMF coefficient, physiological fluids, hypokalemia, hyperkalemia.

**Введение**

Термоэлектрические эффекты впервые обнаружены и детально исследованы в кристаллических полупроводниках и металлах. Фундаментальные теоретические положения кинетической теории и экспериментальные данные о зонной структуре полупроводников позволили создать эффективные преобразователи энергии, работающие на основе эффектов Пельтье и Зеебека [1], [2], [3].

Представления, основанные на изучении термоэлектрических эффектов в твердотельных структурах, позволили описать протекание схожих процессов в жидких электролитах, в коллоидных и мелкодисперсных системах [4]. Термоэлектрические эффекты в растворах электролитов, к которым также можно отнести физиологические жидкости, включая кровь, обусловлены переносом двух типов носителей – анионов и катионов [5], [6].

Проведенный теоретический обзор по проблеме исследования позволил сделать вывод об актуальности исследования термоэлектрических явлений в растворах электролитов [7]. Изучение кинетических явлений в физиологических жидкостях может быть продуктивно как с позиций фундаментальной физики коллоидных систем, так и иметь прикладное значение для биофизики и диагностики.

Тема исследования является актуальной, поскольку она направлена на изучение взаимосвязи между ионным балансом крови и термоэлектрическими свойствами, которые играют ключевую роль в процессе теплообмена и энергетического обмена в организме. Так, например, гипоталамо-гипофизарно-адреналовая система – главная нейрогормональная система в реализации стресса, изменяет свои функции под влиянием различных факторов, в том числе инфекционных (SARS-CoV-2), приводит к нарушениям электролитного обмена с избыточным выведением через почки  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  и развитием гипокалиемии и гипомагниемии, как правило, в виде сочетанного дисбаланса [8]. Калий – внутриклеточный микроэлемент, необходимый для нормального функционирования клеток, поддержания кислотно-щелочного и электролитного баланса, общего объема жидкости, обеспечения нервно-мышечной возбудимости и проводимости [9].

Измерение уровня калия в крови является важной задачей диагностики и решается различными методами. Так, в работе [10] были предприняты первые попытки по разработке методов автоматического контроля концентрации ионов с помощью мембранных электродов.

В работе авторов [11] отражен характер влияния нарушения ионного баланса крови, выявлено, что даже незначительное смещение баланса может вызвать проблемы с артериальным давлением, что в свою очередь приведет к нарушению работы сердца. В тяжелых случаях нарушения обмена калия могут привести к опасным для жизни нарушениям сердечной проводимости и нервно-мышечной дисфункции [12]. Поэтому разработка новых методов, позволяющих быстро выявлять данные нарушения является актуальной.

Цель работы: определить влияние ионного состава крови на величину электропроводности и коэффициента термо-ЭДС. Проанализировать зависимость термо-ЭДС и электропроводности крови от концентрации ионов  $K^+$  (гипо- и гиперкалиемия).

### Методы и принципы исследования

В проведенном исследовании изучалось влияние концентрации катионов калия на электропроводность и коэффициент термо-ЭДС растворов Рингера, а также образцов свиной крови. Схема экспериментальной установки и методика проведения измерений описана в работах [13], [14].

Аптечный раствор Рингера, изотоничный плазме крови, моделировал нормальный баланс катионов. Контролируемое добавление хлорида калия симулировало случай нарушения ионного обмена, характеризующееся избытком калия – так называемую гиперкалиемию. Подобным образом создавалась избыточная концентрация ионов  $K^+$  в образцах свиной крови.

Для приготовления растворов применялась химически чистая вода (дистиллят). Растворяемое вещество взвешивалось лабораторными весами АСОМ JW-1, погрешность которых не превышала 0,01 г. Для стимуляции процесса растворения использовалась магнитная мешалка с подогревом ES-612.

Измерения коэффициента электропроводности проводились с помощью лабораторного кондуктометра Mettler Toledo S30. Температура образцов составляла 22 °С.

Установка для проведения эксперимента представляла собой U-образную трубку, наполненную исследуемым раствором. Вокруг одного из колен трубки была намотана и жестко зафиксирована нихромовая спираль, запитываемая лабораторным блоком питания АТН-1232. Источник позволял получать постоянное выходное напряжение от 0 до 30 В, при выходной силе тока от 0 до 2 А, что давало возможность осуществлять нагрев с заданной мощностью, как правило, 5-10 Вт.

В «горячее» колено трубки помещались один из двух химических электродов сравнения ЭВЛ-1М4 и полупроводниковый термодатчик ДТУ-301. В «холодном» колене находился второй электрод. Перечисленные датчики подключались к лабораторному рН-метру Мультитест, который в свою очередь был подключен к ПЭВМ посредством интерфейса. Использование такой конфигурации оборудования позволило автоматизировать сбор и обработку получаемых в ходе эксперимента данных, а также дало возможность получать значения величины термоэлектрической ЭДС и температуры с частотой опроса 0,5 с.

В ходе исследования были получены значения термоэлектрической ЭДС и удельной электропроводности для вышеуказанных растворов электролитов. В результате проведенных измерений нами были получены экспериментальные зависимости ЭДС от времени. С помощью ПЭВМ строилась зависимость термо-ЭДС от разности температур.

### Основные результаты

Задачей представленной работы было провести серию экспериментов на модельных человеческой крови растворах с имитированием нарушения ионного баланса.

Для приготовления модельных растворов, повторяющих водно-катионный баланс крови человека, использовались хлориды металлов: К, Na, Са. Образованные в ходе процесса растворения анионы хлора вносили незначительный вклад в протекание термоэлектрических процессов и практически не влияли на итоговые результаты. Это утверждение соответствует выводам одной из ранних работ авторов [14].

Для определения влияния ионов калия на величину электропроводности и коэффициента термоэлектрической ЭДС нами были исследованы модельные растворы крови, модифицированные различной концентрацией хлоридов калия КСl. Его концентрация напрямую влияет на коэффициент электропроводности среды  $\sigma$  [2]:

$$\sigma = F \sum_i |z_i| c_i u_i \quad (1)$$

где  $F$  – постоянная Фарадея,  $z_i$  – электрический заряд частицы в единицах заряда электрона,  $c_i$  – объемная концентрация частиц вида  $i$ .

Коэффициент термоэлектродвижущей силы  $\alpha = \Delta\phi/\Delta T$  до момента времени, когда в растворе еще не сформировались высокие градиенты концентрации [3]:

$$\alpha \propto - \sum_i \frac{u_i Q_i}{T z_i} \quad (2)$$

где  $z_i$  – электрический заряд частицы вида  $i$  в единицах заряда электрона.

В качестве модельного раствора здоровой крови человека использовался аптечный раствор Рингера со следующим катионным балансом на 1 литр химически чистой воды:

КСl – 0,3 г.; NaCl – 8,6 г.; СаCl – 0,25 г.

Показатели гиперкалиемии крови достигались путем добавления к исходному раствору Рингера 0,2 г. КСl в расчете на 280 мл раствора.

Гипокалиемия моделировалась нами самостоятельно, так как разбавление раствора Рингера в любом соотношении ведет к уменьшению концентрации всех катионов, а не только катионов К. Таким образом, гипокалиемия крови моделировалась следующими пропорциями реактивов на 1 л. химически чистой воды:

KCl – 0,19 г.; NaCl – 8,6 г.; CaCl – 0,25 г.

Исследования проводились в широком интервале концентраций катионов калия, моделирую тем самым гипокалиемию и гиперкалиемию крови. Перед каждым измерением термоэлектрического коэффициента фиксировалась электропроводность исследуемых растворов. В общей сложности были исследованы 42 образца растворов электролитов, включая образцы свиной крови. Характерные зависимости термо-ЭДС от разности температуры для различных соотношений концентраций ионов приведены на рис. 1.

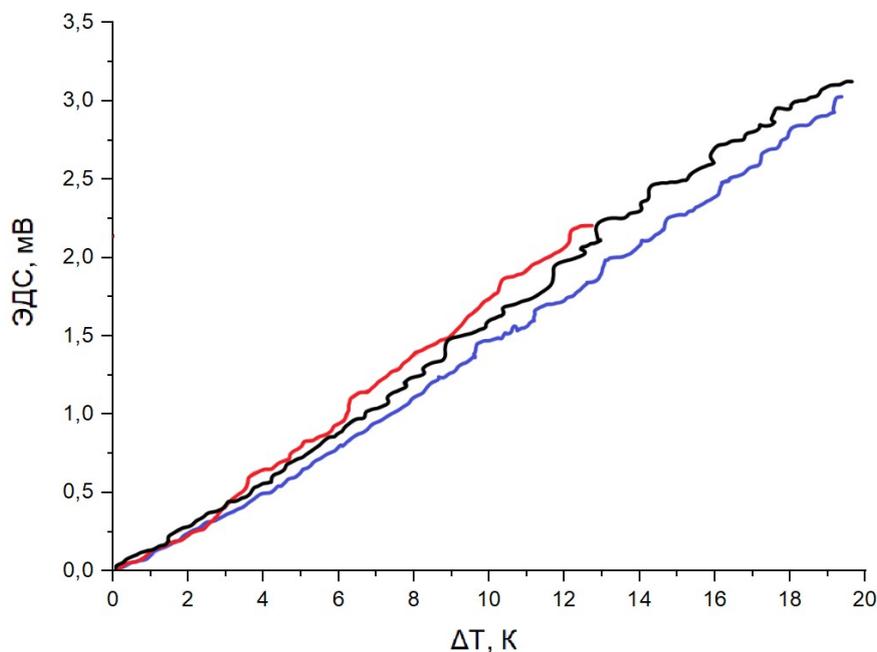


Рисунок 1 - Зависимость термоЭДС от разности температур модельных растворов, соответствующих дисбалансу ионного состава:

*красный* - гиперкалиемия; *черный* - нормальный случай; *синий* - гипокалиемия

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.10.1>

На графике видно, что значимое изменение темпа роста ЭДС происходит уже при разности температур в 4°C.

Аналогичные измерения были проведены на образцах свиной крови. Следует заметить, что кровь теплокровных животных, прежде всего свиней, близка по своему составу к крови человека. Ионный состав плазмы крови в основном определяют катионы натрия, калия и кальция, а также анионы хлора. Согласно исследованиям физиологов [15], [16] содержание ионов калия в плазме крови человека: 3,6 – 5,0 (mmol/l), свиньи 7 (mmol/l).

Для симуляции гиперкалиемии в исходные образцы свиной крови добавляли хлорид калия из расчета 0,04 г. на 250 г. плазмы. Смоделировать образцы, соответствующие гипокалиемии, не представляется возможным, поскольку разбавление исходного раствора уменьшает концентрации всех ионов. Результаты измерения термо-ЭДС представлены на Рис. 2.

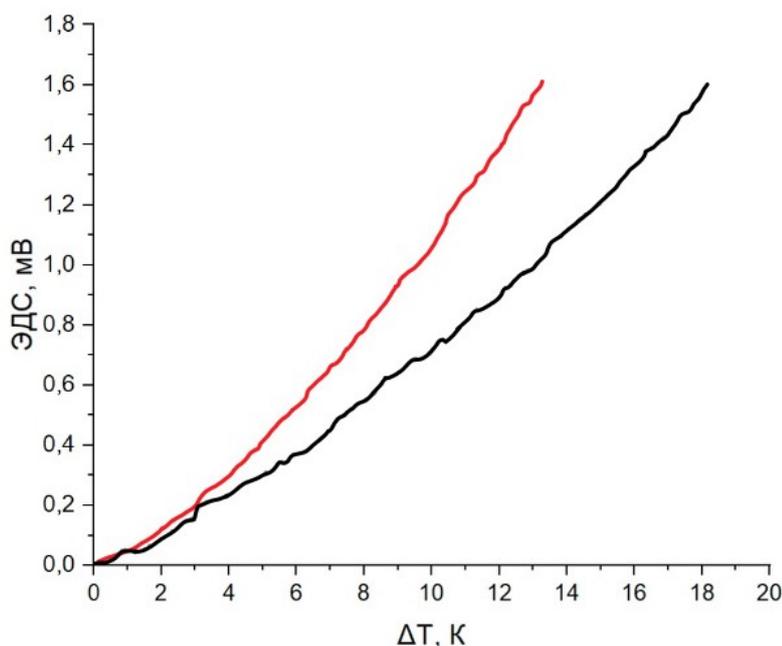


Рисунок 2 - Зависимость термо-ЭДС образцов свиной крови от разности температур:  
 черный - исходный образец; красный - симуляция гиперкалиемии  
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.10.2>

Отметим, что значимое изменение темпа роста ЭДС при измерении свиной крови происходит при нагревании всего на 3°C и далее становится более ярко выраженным, чем при измерении модельных растворов.

В таблице 1 представлены результаты обработки данных полученных в ходе измерений электропроводности  $\sigma$  и термо-ЭДС  $\alpha$  модельных растворов:

Таблица 1 - Значения измерений электропроводности  $\sigma$  и термо-ЭДС  $\alpha$  модельных растворов с различным ионным балансом

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.10.3>

№ п/п	Баланс раствора	$\sigma$ , $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\alpha$ , $\mu\text{V}/\text{K}$
1	Нормальный	242±3	0,17809±0,00047
2	Недостаток ионов $\text{K}^+$	225± 3	0,16843±0,00035
3	Избыток ионов $\text{K}^+$	246±3	0,18723±0,00060

Таким образом, наблюдаются значимые отличия измеряемых величин от концентрации ионов калия.

В ходе эксперимента на свиной крови измерения электропроводности производились при  $t=22^\circ\text{C}$ . Значения коэффициента термо-ЭДС получены путем линейной аппроксимации функции, показывающей зависимость термоэлектрической разности потенциалов от градиента температуры:

- 1) нормальный баланс  $\sigma=232\pm 3$  мСм/см,  $\alpha=0,09128\pm 0,00052$  мВ/К;
- 2) гиперкалиемия  $\sigma=256\pm 4$  мСм/см,  $\alpha=0,12365\pm 0,00111$  мВ/К.

Полученные данные согласуются с классической термоэлектрической теорией и наглядно демонстрируют влияние разности подвижности ионов на коэффициент термо-ЭДС. Серийные эксперименты, проведенные на 3-х группах образцов, ионный состав которых полностью моделировал ионный состав крови при рассматриваемых нами заболеваниях показали состоятельность данного метода как метода диагностики отклонений.

Новизна данного исследования заключается в том, что оно направлено на выявление взаимосвязи между ионным балансом крови и термоэлектрическими свойствами организма, как сложной системы. К настоящему времени количество исследований, развивающихся не только в направлении диагностики нарушения ионного баланса крови человека, но и занимающихся вопросами генерации и использования организмом термоэлектрической энергии, предельно мало.

В настоящее время для коммерческих анализов баланса крови используются дорогостоящие ион-селективные электроды [17], [18] в то время как предлагаемая методика, основанная на измерение термоэлектрической ЭДС подразумевает использование широко распространенных доступных платиновых электродов. Также следует отметить срок проведения диагностики, который занимает 24 часа при традиционных методах и всего 10 минут по предлагаемой методике.

Предлагаемая методика состоит в измерении термоэлектрической ЭДС в образцах сыворотки крови в диапазоне до 1,5 мВ от создаваемой разности температур 5-10 градусов Цельсия. Объем исследуемой пробы порядка 10 мл, что соответствует общепринятым диагностическим стандартам забора крови.

Данные о влиянии ионного баланса крови на термоэлектрические свойства могут быть использованы для создания компактных устройств экспресс-диагностики отклонений баланса калия.

### Заключение

Обнаружено, что увеличение концентрации ионов калия в образцах плазмы крови и модельных ей растворах электролитов приводит к увеличению термо-ЭДС, что делает возможным установление связи концентрации ионов с величиной ЭДС.

Совместные измерения величины коэффициента термо-ЭДС и электропроводности образцов физиологических жидкостей (крови) могут быть использованы для экспресс-диагностики нарушений ионного баланса.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Анатычук Л.И. Термоэлектричество: Термоэлектрические преобразователи энергии: в 2 т.; / Л.И. Анатычук. — Киев-Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. — 2 т.
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Электродинамика сплошных сред: в 10 т.; / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Москва: Физматлит, 2019. — 8 т.
3. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов / Р. Хаазе — Москва: Мир, 1967. — 545 с.
4. Vacek J. Mechanical Tuning of Conductance and Thermopower in Helicene Molecular Junctions / J. Vacek, J. Chocholousova, I. Stary, Y. Dubi // *Nanoscale*. — 2015. — 7. DOI: 10.1039/C5NR01297J.
5. Грабов В.М. Термоэлектрокинетический эффект в слабых водных растворах электролитов / В.М. Грабов, А.А. Зайцев, Д.В. Кузнецов, А.В. Сидоров, В.И. Новиков // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». — 2008. — 3. — с. 112-122.
6. Сидоров А.В. Термоэлектрические и термоэлектрокинетические явления в коллоидных системах, модельных биологическим жидкостям живых организмов / А.В. Сидоров, В.М. Грабов, А.А. Зайцев, Д.В. Кузнецов // Журнал технической физики. — 2020. — 10. — с. 1650-1655.
7. Булат Л.П. Термоэлектричество в России: история и современное состояние / Л.П. Булат, Е.К. Иорданишвили, А.А. Пустовалов, М.И. Федоров // Термоэлектричество. — 2009. — 4. — с. 7-31.
8. Burtis C. A. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics – E-Book: Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics – E-Book / C. A. Burtis, E. R. Ashwood, D. E. Brunis — Amsterdam: Elsevier Health Sciences, 2011. — 2256 p.
9. Эбзеева Е. Ю. Дефицит электролитов на фоне новой коронавирусной инфекции и постковидного астенического синдрома / Е. Ю. Эбзеева, О. Д. Остроумова, И. Ф. Кроткова, Е. В. Миронова, Р. Р. Романовский // РМЖ. Медицинское обозрение. — 2021. — 5. — с. 245-251. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-245-251/.
10. Durst R. Automated Analyzer for the Determination of Potassium and Sodium in Whole Blood / R. Durst // *Clinica Chimica Acta*. — 1977. — 80. — p. 225-234. DOI: 10.1016/0009-8981(77)90283-2.
11. Kazbanov I. Effect of Global Cardiac Ischemia on Human Ventricular Fibrillation: Insights from a Multi-scale Mechanistic Model of the Human Heart / I. Kazbanov, R. Clayton, M. Nash, C. Bradley, D. Paterson, M. Hayward, P. Taggart, A. Panfilov // *PLoS Computational Biology*. — 2014. — 10. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1003891.
12. Viera A.J. Potassium Disorders: Hypokalemia and Hyperkalemia / A.J. Viera, N. Wouk // University of North Carolina at Chapel Hill School of Medicine. — 2015. — 6. — p. 487-495.
13. Тиньков Н.И. Влияние катионного состава на термоэлектрические свойства водных растворов электролитов / Н.И. Тиньков, К.В. Чернухин, А.А. Зайцев // Необратимые процессы в природе и технике; под ред. Морозов А.Н. — Вып. 1. — Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. — с. 105-108.
14. Зайцев А.А. Исследование термоэлектрического эффекта в крови животных / А.А. Зайцев, В.М. Грабов, А.В. Сидоров, Д.В. Кузнецов // Журнал технической физики. — 2022. — 7. — с. 1069-1073.
15. Петровский Б.В. Большая медицинская энциклопедия: Криохирургия: в 30 т.; / Б.В. Петровский. — Москва: Советская энциклопедия, 1980. — 12 т.
16. Пожарская Л.С. Кровь убойных животных и ее переработка / Л.С. Пожарская, С.Г. Либерман, В.М. Горбатов — Москва: Пищепром, 1960. — 304 с.
17. Писаков О.Г. Определение содержания ионов K, Na и Cl в биологических жидкостях с помощью ионоселективных электродов / О.Г. Писаков, А.А. Борисенко, В.Г. Гуслев, В.В. Егоров, К.К. Коваленко, С.В. Ломако, Б.А. Николаев, Е.М. Рахманько, А.А. Ратько // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2: химия. Биология. География. — 2000. — 1. — с. 22-25.

18. Остроумова О. Д. Лекарственно-индуцированный дефицит электролитов. Часть 1. Лекарственно-индуцированная гипокалиемия / О. Д. Остроумова, А. П. Переверзев // РМЖ. — 2020. — 11. — с. 20-28.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Anatyshuk L.I. Termoelektrichestvo [Thermoelectricity]: Termoelektricheskie preobrazovateli energii [Thermoelectric Energy Converters]: in 2 vol.; / L.I. Anatyshuk. — Kyiv-Chernovtsy: Institute of Thermoelectricity, 2003. — 2 vol. [in Russian]
2. Landau L.D. Teoreticheskaja fizika [Theoretical Physics]: Elektrodinamika sploshnyh sred [Electrodynamics of Continuous Media]: in 10 vol.; / L.D. Landau, E.M. Lifshits. — Moscow: Fizmatlit, 2019. — 8 vol. [in Russian]
3. Haaze R. Termodinamika neobratimyh protsessov [Thermodynamics of Irreversible Processes] / R. Haaze — Moskva: Mir, 1967. — 545 p. [in Russian]
4. Vacek J. Mechanical Tuning of Conductance and Thermopower in Helicene Molecular Junctions / J. Vacek, J. Chocholousova, I. Stary, Y. Dubi // *Nanoscale*. — 2015. — 7. DOI: 10.1039/C5NR01297J.
5. Grabov V.M. Termoelektrokineticheskij effekt v slabyh vodnyh rastvorah elektrolitov [Thermoelectrokinetic Effect in Weak Aqueous Solutions of Electrolytes] / V.M. Grabov, A.A. Zajtsev, D.V. Kuznetsov, A.V. Sidorov, V.I. Novikov // *Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Ser. "Natural Sciences"*. — 2008. — 3. — p. 112-122. [in Russian]
6. Sidorov A.V. Termoelektricheskie i termoelektrokineticheskie javlenija v kolloidnyh sistemah, model'nyh biologicheskim zhidkostjam zhivyh organizmov [Thermoelectric and Thermoelectrokinetic Phenomena in Colloidal Systems, Model Biological Fluids of Living Organisms] / A.V. Sidorov, V.M. Grabov, A.A. Zajtsev, D.V. Kuznetsov // *Journal of Technical Physics*. — 2020. — 10. — p. 1650-1655. [in Russian]
7. Bulat L.P. Termoelektrichestvo v Rossii: istorija i sovremennoe sostojanie [Thermoelectricity in Russia: History and Current State] / L.P. Bulat, E.K. Jordanishvilli, A.A. Pustovalov, M.I. Fedorov // *Thermoelectricity*. — 2009. — 4. — p. 7-31. [in Russian]
8. Burtis C. A. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics – E-Book: Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics – E-Book / C. A. Burtis, E. R. Ashwood, D. E. Bruns — Amsterdam: Elsevier Health Sciences, 2011. — 2256 p.
9. Ebzeeva E. Ju. Defitsit elektrolitov na fone novoj koronavirusnoj infektsii i postkovidnogo astenicheskogo sindroma [Electrolyte Deficiency after the Novel Coronavirus Infection and Post-covid Asthenia] / E. Ju. Ebzeeva, O. D. Ostroumova, I. F. Krotkova, E. V. Mironova, R. R. Romanovskij // *RMJ. Medical Review*. — 2021. — 5. — p. 245-251. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-245-251/. [in Russian]
10. Durst R. Automated Analyzer for the Determination of Potassium and Sodium in Whole Blood / R. Durst // *Clinica Chimica Acta*. — 1977. — 80. — p. 225-234. DOI: 10.1016/0009-8981(77)90283-2.
11. Kazbanov I. Effect of Global Cardiac Ischemia on Human Ventricular Fibrillation: Insights from a Multi-scale Mechanistic Model of the Human Heart / I. Kazbanov, R. Clayton, M. Nash, C. Bradley, D. Paterson, M. Hayward, P. Taggart, A. Panfilov // *PLoS Computational Biology*. — 2014. — 10. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1003891.
12. Viera A.J. Potassium Disorders: Hypokalemia and Hyperkalemia / A.J. Viera, N. Wouk // *University of North Carolina at Chapel Hill School of Medicine*. — 2015. — 6. — p. 487-495.
13. Tin'kov N.I. Vlijanie kationnogo sostava na termoelektricheskie svojstva vodnyh rastvorov elektrolitov [Influence of Cationic Composition on Thermoelectric Properties of Aqueous Solutions of Electrolytes] / N.I. Tin'kov, K.V. Chernuhin, A.A. Zajtsev // *Irreversible Processes in Nature and Technology*; edited by Morozov A.N. — Issue 1. — Moskva: MGTU im. N. E. Baumana, 2023. — p. 105-108. [in Russian]
14. Zajtsev A.A. Issledovanie termoelektricheskogo effekta v krovi zhivotnyh [Investigation of the Thermoelectric Effect in Animal Blood] / A.A. Zajtsev, V.M. Grabov, A.V. Sidorov, D.V. Kuznetsov // *Journal of Technical Physics*. — 2022. — 7. — p. 1069-1073. [in Russian]
15. Petrovskij B.V.. Bol'shaja meditsinskaja entsiklopedija [Great Medical Encyclopedia]: Kriohirurgiya [Cryosurgery]: in 30 vol.; / B.V. Petrovskij. — Moscow: Soviet Encyclopaedia, 1980. — 12 vol. [in Russian]
16. Pozharskaja L.S. Krov' ubojnyh zhivotnyh i ee pererabotka [Blood of Slaughtered Animals and its Processing] / L.S. Pozharskaja, S.G. Liberman, V.M. Gorbato — Moskva: Pischeprom, 1960. — 304 p. [in Russian]
17. Pisakov O.G. Opredelenie sodержanija ionov K, NA i CL v biologicheskikh zhidkostjah s pomosh'ju ionoselektivnyh elektrodov [Determination of the Content of K, NA and CL Ions in Biological Fluids Using Ion-selective Electrodes] / O.G. Pisakov, A.A. Borisenko, V.G. Guslev, V.V. Egorov, K.K. Kovalenko, S.V. Lomako, B.A. Nikolaev, E.M. Rahman'ko, A.A. Rat'ko // *Bulletin of the Belarusian State University. Series 2: Chemistry. Biology. Geography*. — 2000. — 1. — p. 22-25. [in Russian]
18. Ostroumova O. D. Lekarstvenno-indutsirovannyj defitsit elektrolitov. Chast' 1. Lekarstvenno-indutsirovannaja gipokaliemija [Drug-induced Electrolyte Imbalance. Part 1. Drug-induced Hypokalemia] / O. D. Ostroumova, A. P. Pereverzev // *RMJ*. — 2020. — 11. — p. 20-28. [in Russian]