

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY**

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1352

EDN: CUBZQM

УДК 612.11



Научная статья

**СОХРАННОСТЬ ФОРМЕННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ КРОВИ ПОД ЗАЩИТОЙ
КОМБИНИРОВАННОГО КРИОКОНСЕРВАНТА
ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАМОРОЗКЕ**

*А.А. Власов, С.Ф. Андрусенко, Е.В. Денисова,
А.Б. Эльканова, Д.А. Богословский, И.В. Сивун*

Аннотация

Обоснование. Криоконсервация нашла широко применение для различных целей, однако недостатки существующих криопротекторных агентов приводят к потере функциональности клеток, что может негативно сказаться на дальнейшем использовании сохраненного материала. Разработка эффективных криоконсервантов является актуальной задачей, требующей поиска низкотоксичных биосовместимых криоагентов.

Материалы и методы. Исследование проведено на 30 добровольцах donors в возрасте 18-23 лет, из числа которых были сформированы две группы. Объект исследования венозная кровь. Состав разработанного комбинированного криоконсерванта: глицерин, диметилсульфоксид, лактулоза, натрия аденозинтрифосфат, изотонический раствор хлорида натрия. Проводили общий анализ крови и компьютерное цитоморфометрическое исследование. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ IBM SPSS Statistic 23.0.

Цель. Оценка сохранности форменных элементов клеток крови под защитой разработанного комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке (-80°C).

Результаты. В ходе исследования в условиях сохранения образцов крови с применением комбинированного криоконсерванта после суточного замораживания при температуре -80°C процент сохранности форменных элементов клеток крови лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов составил $52,5 \pm 2,51\%$, $78,07 \pm 2,24\%$, $52,9 \pm 2,13\%$ соответственно в сравнении с контрольными образцами ($p < 0,05$).

Заключение. Выявлена морфологическая и функциональная сохранность форменных элементов крови с использованием комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке (-80°C) в течении одних суток. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать повышению эффективности и безопасности криоконсервации, открывая новые возможности для медицины и биологии.

Ключевые слова: комбинированный криоконсервант; лактулоза; форменные элементы крови; эритроциты; лейкоциты; тромбоциты; низкотемпературная заморозка

Для цитирования. Власов, А. А., Андрусенко, С. Ф., Денисова, Е. В., Эльканова, А. Б., Богословский, Д. А., & Сивун, И. В. (2025). Сохранность форменных элементов крови под защитой комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 11-31. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1352>

Original article

PRESERVATION OF BLOOD FORM ELEMENTS UNDER THE PROTECTION OF COMBINED CRYOPRESERVATIVE DURING LOW-TEMPERATURE FREEZING

*A.A. Vlasov, S.F. Andrusenko, E.V. Denisova,
A.B. Elkanova, D.A. Bogoslovsky, I.V. Sivun*

Abstract

Background. Cryopreservation has found wide application for various purposes but the disadvantages of existing cryoprotective agents lead to the loss of cell functionality, which can negatively affect the further use of preserved material. The development of effective cryopreservatives is an urgent task requiring the search for low-toxic biocompatible cryoagents.

Materials and methods. The study was carried out on 30 donor volunteers aged 18-23 years who were divided into 2 groups. The object of the study is venous blood. The combined cryopreservative consisted of: glycerin, dimethyl sulfoxide, lactulose, sodium adenosine triphosphate, isotonic sodium chloride solution. A general blood test and a computer cytomorphometric study was performed. Statistical processing of the data was carried out using the application program package IBM SPSS Statistic 23.0.

Purpose. The aim is to evaluate the preservation of blood cells form elements under the protection of the developed combined cryopreservative at low-temperature freezing (-80°C).

Results. In the course of the study under the conditions of blood samples preservation with the use of combined cryopreservative after daily freezing at -80°C the percentage of preservation of blood formations of leukocytes, erythrocytes, platelets was $52,5\pm 2,51\%$, $78,07\pm 2,24\%$, $52,9\pm 2,13\%$ respectively in comparison with control samples ($p<0,05$).

Conclusion. Morphologic and functional preservation of blood formed elements using combined cryopreservative at low-temperature freezing (-80°C) for one day was revealed. Further research in this field will contribute to the efficiency and safety of whole blood cryopreservation, opening new opportunities for medicine and biology.

Keywords: combined cryopreservative; lactulose; blood formations; erythrocytes; leukocytes; platelets; low-temperature freezing

For citation. Vlasov, A. A., Andrusenko, S. F., Denisova, E. V., Elkanova, A. B., Bogoslovsky, D. A., & Sivun, I. V. (2025). Preservation of blood form elements under the protection of combined cryopreservative during low-temperature freezing. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 11-31. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1352>

Введение

Криоконсервация является жизненно важной технологией в биологии и медицине, позволяющей сохранять биологические материалы, такие как клетки, ткани и органы, на длительный срок. Потеря функции в криоконсервированных клетках происходит после повреждений из-за осмотического шока, обезвоживания, механических повреждений в результате перекристаллизации льда во время замораживания и оттаивания. Криповреждения клеток можно уменьшить с помощью двух стратегий: использования криопротекторов и контролируемого охлаждения [20]. Однако в криоконсервации есть недостатки, связанные в основном или с

низкой эффективностью криоконсервантов [16] или токсичностью некоторых компонентов [6; 14; 26]. Криоконсервация в жидком азоте требует специализированного оборудования и обученного персонала, что делает ее более сложной и дорогостоящей, чем хранение крови при более высоких температурах. В связи с этим ведется поиск эффективных и безопасных криоагентов. Ключевыми направлениями в данной области являются работы, направленные на включение в состав криопротекторов природных компонентов с антифризными свойствами для уменьшения токсического действия существующих криоагентов [21; 25].

В качестве альтернативных нетоксичных веществ для включения в состав криопротекторов используют углеводы и сахарные спирты [8; 19; 30]. Хороший стабилизирующий эффект в составе криоконсервантов обеспечивают дисахариды сахароза и трегалоза [23; 27; 29], выполняющие функции ингибитора роста кристаллов льда в ходе замораживания и перекристаллизации льда в процессе оттаивания [18], что повышает устойчивость к криобиозу [24]. В тоже время в литературе недостаточно экспериментальных данных о криопротекторных свойствах ряда углеводов, в частности дисахарида лактулозы. В ходе исследований лактулозы были получены данные, свидетельствующие о ее безопасности [13] и отмечены защитные свойства на микроорганизмы при их заморозке [22].

Образцы цельной крови предпочтительны для анализа, но к недостаткам работы со свежими образцами крови относятся необходимость немедленной обработки после забора крови и ограниченное количество повторных анализов, которые можно провести без дополнительного забора крови, особенно при крупномасштабных исследованиях с участием большого количества пациентов [17]. Криоконсервация цельной крови менее распространена, чем криоконсервация отдельных компонентов крови, однако она востребована для выделения РНК [28], экстракции геномной ДНК для последующего генотипирования [10], при проведении генетических исследований [9]. Описан метод полевой криоконсервации цельной крови из пальца [15].

Криоконсервация цельной крови представляет собой сложную задачу из-за наличия различных типов клеток (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты), имеющих свои особенности и чувствительность к замораживанию. В связи с этим, актуален анализ морфофункциональных параметров криоконсервированной цельной крови в аспекте поиска не токсичных, эффективных и доступных криоагентов для длительного хранения биообъектов в широком диапазоне отрицательных температур. Ранее были представлены результаты

оценки морфофункциональных особенностей форменных элементов крови в комбинированном криоконсерванте с лактулозой после суточного хранения замороженной крови при температурах -20°C и -40°C [1; 4; 5].

Цель исследования – оценка сохранности форменных элементов клеток крови под защитой разработанного комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке (-80°C).

Материалы и методы исследования

Исследование проведено с участием 30 здоровых женщин-доноров в возрасте 18–23 лет. Контингент отобран на основании приоритетной группы населения, связанной с высокой частотой потери крови, особенно при родах. Исследование проводилось с разрешения этического комитета Северо-Кавказского федерального университета (протокол № 002 от 11 июля 2024 г.), все участники подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Критериями включения в исследование было отсутствие у доноров хронических заболеваний в периоде обострения, вредных привычек, видимых признаков аллергического или инфекционного заболевания. Пробы венозной крови объемом 15 мл отбирали однократно в утренние часы из локтевой вены в вакуумные пробирки с 3-замещенной калиевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (K_3 ЭДТА), каждый вакутейнер содержал 5 мл крови и 8 мг K_3 ЭДТА. Из числа проб были случайно сформированы контрольная и опытная группы по 15 образцов.

В образцах контрольной группы исследовали характеристики и параметры форменных элементов крови при температуре $+20\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. В образцы опытной группы вносили комбинированный криоконсервант при соотношении кровь/криоконсервант 2:1 по объему и выдерживали при комнатной температуре в течение 30 минут для обеспечения проникновения консерванта в клетки. Контейнер с образцом погружали в заполненную хладоносителем (96%-ный этиловый спирт) емкость, выдерживали в нем 30 мин и перемещали для замораживания и хранения в камеру электроморозильника с температурой $-80\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ на одни сутки. Размораживание образцов проводили на водяной бане UT-4334 («ULAB»; Россия) при температуре $+37\pm 1^{\circ}\text{C}$ в течение 5 мин и исследовали характеристик и параметров форменных элементов крови.

Состав разработанного комбинированного криоконсерванта имел следующие соотношения компонентов: глицерин (чда) – 20%, ДМСО (хч) – 10%, лактулоза (торговая марка «Лактусан» по ТУ 9229-004-53757476–04)

– 10%, натрия аденозинтрифосфат – 30% и изотонический (0,9%) раствор хлорида натрия до 100 %. Предварительно были проведены исследования по оптимизации концентраций используемых компонентов.

Компьютерное цитоморфометрическое исследование выполняли на аппаратно-программном комплексе «МЕКОС-Ц2» («Медицинские компьютерные системы»; Россия). При проведении общего анализа крови (ОАК) в лабораторных условиях использовали автоматический гематологический анализатор «Гемалайт 1270» (Dixion; Россия).

Для обработки полученных результатов использовали программное обеспечение статистический пакет версии IBM SPSS Statistic 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY; USA). Уровень статистической значимости межгрупповых различий при соответствии распределения значений показателя закону нормального распределения оценивали с помощью параметрического t-критерия Стьюдента для несвязанных выборок, для показателей с ненормальным распределением – при помощи непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Для показателей с нормальным распределением вычисляли среднее значение (M), ошибку среднего (m) и стандартное отклонение (δ). Межгрупповые различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Проводили анализ состояния лейкоцитарного звена в опытной и контрольной группах (табл. 1).

Таблица 1.

Лейкоцитарные показатели ОАК в группах исследований

Показатели ОАК	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	5,78 \pm 0,12	3,92 \pm 0,35*
Лимфоциты, %	3,63 \pm 0,29	2,17 \pm 0,36*
Гранулоциты, %	3,25 \pm 0,78	2,85 \pm 0,39
Процент средних клеток, %	100	52,5 \pm 2,51*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p < 0,01$)

При анализе лейкоцитарных показателей в опытной группе по сравнению с контролем, отмечено статистически значимое снижение количества лейкоцитов, 5,78 \pm 0,12 $\times 10^9/\text{л}$ ($p < 0,01$) против 3,92 \pm 0,35 $\times 10^9/\text{л}$. Несмотря

на межгрупповые различия данный показатель находился в диапазоне физиологических референсных значений. Процент сохранности лейкоцитов в образцах крови с внесенным криоконсервантом при воздействии отрицательных температур ($-80 \pm 1,0^\circ\text{C}$) составил $52,5 \pm 2,51\%$.

Компьютерная морфометрия позволяет получить математические характеристики клеточной популяции, а также дает возможность судить об активности внутриклеточных процессов. Для оценки функционального состояния клеток проводили анализ компьютерной цитоморфометрии лейкоцитов в контрольной группе и опытной группах (табл. 2).

Таблица 2.

Показатели различий компьютерной цитоморфометрии лейкоцитов в группах исследований

Свойства объекта	Контрольная группа, $+20^\circ\text{C}$ (n=15)	Опытная группа, -80°C (n=15)
Площадь клетки, мкм^2	$58,92 \pm 0,57$	$56,52 \pm 2,42^*$
Формфактор клетки	$18,1 \pm 0,36$	$17,22 \pm 0,75^*$
Индекс поляризации клетки	$0,33 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,03^*$
Площадь ядра, мкм^2	$40,45 \pm 0,89$	$32,06 \pm 1,17^*$
Ядерно-клеточное отношение	$0,96 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,02^*$

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$);

* – статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p < 0,01$)

Анализ данных компьютерной цитоморфометрии лейкоцитов показал, что в группе с консервантом замороженных при $-80 \pm 1,0^\circ\text{C}$ данные имеют тенденцию к снижению по всем показателям, однако полученные значения укладываются в пределы допустимых изменений форменных элементов.

Проводили анализ эритроцитарных показателей в контрольной группе и опытной группах (табл. 3).

Таблица 3.

Эритроцитарные показатели ОАК в группах исследований

Эритроцитарные показатели крови	Контрольная группа, $+20^\circ\text{C}$ (n=15)	Опытная группа, -80°C (n=15)
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$	$4,63 \pm 0,35$	$2,60 \pm 0,44^*$
Гемоглобин, г/л	$125,40 \pm 16,27$	$111,27 \pm 14,95$
Гематокрит, %	$38,58 \pm 2,48$	$33,15 \pm 1,12^*$
Средний объем эритроцита, фл	$81,67 \pm 4,87$	$78,35 \pm 3,64$

Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах, пг	28,69±1,78	22,39±0,81*
Насыщение эритроцита гемоглобином, г/л	350,78±21,33	221,47±10,74*
Степень отклонения размера эритроцитов, %	15,09 ±1,37	12,11±1,78*
Сохранность, %	100	78,07 ±2,24*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$);

* – статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p < 0,01$)

При выполнении общего анализа крови были получены значения, свидетельствующие о изменении количественных и расчетных показателей, а именно, был достоверно снижен уровень общего гемоглобина крови как в опытной группе $111,27 \pm 14,95$ г/л по отношению к группе контроля соответственно $125,40 \pm 16,27$ г/л. Также отмечали снижение среднего содержания гемоглобина в эритроцитах в опытной группе в сравнении с контрольной. Данные показатели имеют тенденцию к снижению, однако консервант в условиях комнатной температуры не приводит к критически значимым изменениям компонентов крови. Снижение содержания гемоглобина в эритроцитах объясняется тем, что компоненты криоконсерванта обеспечивающие сохранность клеток, в частности эритроцитов, проникают внутрь клеток, что и приводит к снижению внутриклеточного гемоглобина, по тому же механизму изменения соотношения внутриклеточных компонентов. Процент сохранности эритроцитов в образцах крови с внесенным криоконсервантом при воздействии отрицательных температур ($-80 \pm 1,0^\circ\text{C}$) – $78,07 \pm 2,24\%$.

Таблица 4.

Показатели различий компьютерной цитоморфометрии эритроцитов в группах исследований

Свойства объекта	Контрольная группа, $+20^\circ\text{C}$ (n=15)	Опытная группа, -80°C (n=15)
Площадь клетки, μm^2	52,06±2,97	36,09±3,44*
Средний диаметр, μm	7,75±0,32	6,20±0,39*
Фактор формы	13,50±0,27	11,24±0,65*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$);

* – статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p < 0,01$)

В ходе проведения компьютерной цитоморфометрии эритроцитов в опытной группе по сравнению с контрольной уменьшалась площадь клетки $36,09 \pm 3,44$ мкм² против $52,06 \pm 2,97$ мкм² в контроле. Значение среднего диаметра клетки так же имело тенденцию к уменьшению и составило $6,20 \pm 0,39$ мкм в сравнении с группой контроля $7,75 \pm 0,32$ мкм (табл. 4).

При сравнительном анализе тромбоцитарных показателей достоверно снижалось количество тромбоцитов, так в опытной группе значение составило $163,80 \pm 13,71$, против контрольных значений $241,10 \pm 36,38 \times 10^9/\text{л}$. Снижение количества клеток вероятнее всего обусловлено изменением объема исследуемой пробы на фоне внесения криоконсерванта (табл. 5).

Таблица 5.

Тромбоцитарные показатели ОАК в группах исследований

Показатели ОАК	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, -80 °С (n=15)
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$	$241,10 \pm 36,38$	$163,80 \pm 13,71^*$
Средний объем тромбоцитов, фл	$9,54 \pm 0,04$	$7,44 \pm 0,41^*$
Ширина распределения по объему, %	$12,78 \pm 2,06$	$10,43 \pm 1,87^*$
Тромбоцитрит, %	$0,18 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02^*$
Коэффициент больших тромбоцитов, %	$28,36 \pm 6,78$	$24,07 \pm 3,17$
Сохранность, %	100	$52,9 \pm 2,13^*$

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения ($M \pm m$);

* – статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p < 0,01$)

Процент сохранности тромбоцитов в образцах крови с внесенным криоконсервантом при воздействии температуры -80 °С составил $52,9 \pm 2,13\%$.

Все исследуемые показатели находились в диапазоне допустимых физиологических значений, следовательно, наблюдали реакцию адаптации тромбоцитов на воздействие чужеродного компонента, в частности криоконсерванта.

В ходе проведения компьютерной цитоморфометрии тромбоцитов в опытной группе отмечали изменение площади клеток $6,05 \pm 0,12$ мкм² по сравнению с контролем $7,25 \pm 0,31$ мкм². Несмотря на различия данный показатель отражает картину активности площади тромбоцитов с последующей адаптацией после заморозки. Отмеченные изменения находились в диапазоне физиологических референсных значений (табл. 6).

Таблица 6.

**Показатели компьютерной цитоморфометрии тромбоцитов
в группах исследований**

Свойства объекта	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Площадь, мкм ²	7,25±0,31	6,05±0,12*
Средний диаметр, мкм	2,95±0,57	2,36±0,26*
Фактор формы	12,18±0,23	10,43±0,68*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами (p<0,01)

Обсуждение

Традиционно, криоконсервация предполагает использование сверхнизких температур (–196°С, жидкий азот) для достижения максимальной сохранности клеток. Однако, в последние годы растет интерес к изучению возможности использования низких температур (например, –80°С) для криоконсервации, что может снизить затраты на хранение. Использование одного криоагента часто не обеспечивает достаточной защиты клеток при замораживании. Поэтому большее внимание уделяется разработке комбинированных криоконсервантов, сочетающих в себе несколько веществ с различными механизмами действия. Это позволяет достичь синергетического эффекта, обеспечивая более эффективную защиту клеток.

В работах Кирияновой Г.Ю. и соавт. в качестве криоконсерванта раствора «Криосин» процент сохранности эритроцитов при температуре –80°С составил – 31,1±3,09% [7]. В работах Ветошкина К.А. и соавт. при замораживании тромбоцитов под защитой криоконсерванта при температуре –80 °С их функциональная активность сохранялась в пределах 63,5–88,8 % [2]. В работах Худякова А.Н. и соавторов через 1 сутки холодового анабиоза при –80°С с применением криопротекторных растворов после отогрева наблюдалась сохранность лейкоцитов 78,1±5,9% и 57,3±5,9% (от исходного уровня) [11]. В работах Широких И.Г. и соавт. при исследовании действия полисахаридных фракций на криоконсервированную венозную кровь человека было установлено снижение осмолярности крови человека от 281 до 149 мОсм/л, это обусловлено тем, что функциональные группы полисахаридов взаимодействовали с осмотически активными веществами плазмы крови и приводило к снижению осмолярности среды и ускорению кристаллизации воды [12].

В ходе исследования в условиях сохранения образцов крови с применением разработанного криоконсерванта после суточного замораживания при температуре -80°C установлено, что процент сохранности форменных элементов клеток крови лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов составил $52,5 \pm 2,51\%$, $78,07 \pm 2,24\%$, $52,9 \pm 2,13\%$ соответственно в сравнении с образцами контроля. Таким образом, разработанный криоконсервант позволил более чем в половину от изначального значения сохранить количественный состав клеток крови. Результаты исследования нашли свое отражение в патенте на изобретение [3].

Заключение

Необходимость исследования криоконсервантов для цельной крови проявляется как в России, так и в мире, поскольку существует постоянная потребность в безопасных и эффективных методах хранения крови для экстренных случаев и плановых операций. В условиях растущего спроса на донорскую кровь, разработка новых криоконсервантов может существенно повысить уровень медицинской помощи. Криоконсервация форменных элементов крови при низких температурах (-80°C) может упростить и удешевить процесс хранения компонентов крови. Данное исследование позволило оценить перспективы применения лактулозы в качестве компонента для криоконсервантов. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать повышению эффективности и безопасности криоконсервации цельной крови, открывая новые возможности для медицины и биологии.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Андрусенко, С. Ф., Власов, А. А., Рыбчинская, Э. Е., & Сорокина, У. Е. (2024). Криопротектор для цельной крови. *Патент Российской Федерации* № 2816446. EDN: <https://elibrary.ru/PIKVMJ>
2. Ветошкин, К. А., Утемов, С. В., Шерстнев, Ф. С., Князев, М. Г., & Костяев, А. А. (2015). Результаты криоконсервирования донорских тромбоцитных концентратов при низких и ультранизких температурах. *Трансфузиология*, 16(2), 22–28. EDN: <https://elibrary.ru/VVHTIX>

3. Власов, А. А., & Андрусенко, С. Ф. (2025). Криопротектор для цельной крови при низкотемпературной заморозке. *Патент Российской Федерации* № 2837538. EDN: <https://elibrary.ru/OSKJAS>
4. Власов, А. А., Андрусенко, С. Ф., Анфиногенова, О. И., Эльканова, А. Б., Каданова, А. А., Сорокина, У. Е., и др. (2024). Использование лактулозы в составе криоконсерванта для сохранения клеток крови. *Медицина экстремальных ситуаций*, 26(4), 141–148. <https://doi.org/10.47183/mes.2024-26-4-141-148>. EDN: <https://elibrary.ru/IAWWVD>
5. Власов, А. А., Андрусенко, С. Ф., Денисова, Е. В., Эльканова, А. Б., Каданова, А. А., Мельченко, Е. А., и др. (2024). Морфофункциональное состояние криоконсервированных форменных элементов крови при умеренно низких температурах. *Вестник РГМУ*, (5), 73–79. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.038>. EDN: <https://elibrary.ru/XCWDAK>
6. Заикина, Е. В., Гончарова, А. С., Позднякова, В. В., Пандова, О. В., Пржедецкий, Ю. В., Воловик, В. Г., и др. (2022). Обзор современных методов криоконсервации различных видов биологического материала. *Современные проблемы науки и образования*, (4). <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31790> (дата обращения: 03.05.2025). <https://doi.org/10.17513/spno.31790>. EDN: <https://elibrary.ru/RKRSTU>
7. Кирьянова, Г. Ю., Волкова, С. Д., Касьянов, А. Д., Гришина, Г. В., Голованова, И. С., & Четкин, А. В. (2017). Криоконсервирование эритроцитов при температурах -40°C и -80°C . *Вестник Международной академии холода*, (1), 72–78. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-72-78>. EDN: <https://elibrary.ru/YKOPCT>
8. Кит, О. И., Гненная, Н. В., Филиппова, С. Ю., Чембарова, Т. В., Лысенко, И. Б., Новикова, И. А., и др. (2023). Криоконсервация гемопоэтических стволовых клеток периферической крови в трансплантологии: современное состояние и перспективы. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 22(11), 124–133. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3691>. EDN: <https://elibrary.ru/YTCTTM>
9. Скирко, О. П., Мешков, А. Н., Ефимова, И. А., Куценко, В. А., Киселева, А. В., Покровская, М. С., и др. (2020). Срок хранения образцов цельной крови в биобанке и выход выделенной из неё дезоксирибонуклеиновой кислоты при проведении генетических исследований. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 19(6), 2726. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2726>. EDN: <https://elibrary.ru/QHUGAO>
10. Файзуллина, Р. М., Гафурова, Р. Р., Маркелов, В. А., Викторов, В. В., & Данилко, К. В. (2022). Опыт использования и оценка эффективности коммер-

- ческого набора для экстракции геномной ДНК из цельной размороженной крови. *Медицинский вестник Башкортостана*, 17(5), 28–34. EDN: <https://elibrary.ru/NFNATC>
11. Худяков, А. Н. (2010). Возможность сохранения функций лейкоцитов крови при температуре -80°C под защитой различных криозащитных сред. *Молодой учёный*, (8), 2, 206–209. <https://moluch.ru/archive/19/1868>. EDN: <https://elibrary.ru/MUAXGX>
 12. Широких, И. Г., Полежаева, Т. В., Широких, А. А., Худяков, А. Н., Сергушкина, М. И., Назарова, Я. И., и др. (2020). Криозащитные свойства полисахаридсодержащей фракции *Hericium erinaceus* БП 16. *Известия РАН. Серия биологическая*, (1), 5–11. <https://doi.org/10.31857/s0002332920010129>. EDN: <https://elibrary.ru/BKZXES>
 13. Ait-Aissa, A., & Aider, M. (2014). Lactulose: Production and use in functional food, medical and pharmaceutical applications. Practical and critical review. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(5), 1245–1253. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12465>
 14. Awan, M., Buriak, I., Fleck, R., Fuller, B., Goltsev, A., Kerby, J., et al. (2020). Dimethyl sulfoxide: A central player since the dawn of cryobiology, is efficacy balanced by toxicity? *Regenerative Medicine*, 15(3), 1463–1491. <https://doi.org/10.2217/rme-2019-0145>. EDN: <https://elibrary.ru/UGCADO>
 15. Blackwell, A. D., Garcia, A. R., Keivanfar, R. L., & Bay, S. (2021). A field method for cryopreservation of whole blood from a finger prick for later analysis with flow cytometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 174(4), 670–685. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24251>. EDN: <https://elibrary.ru/GXRSYE>
 16. Bojic, S., Murray, A., Bentley, B. L., Spindler, R., Pawlik, P., Cordeiro, J. L., et al. (2021). Winter is coming: The future of cryopreservation. *BMC Biology*, 19, 56. <https://doi.org/10.1186/s12915-021-00976-8>. EDN: <https://elibrary.ru/SWFGPB>
 17. Dayal, R., Beyls, E., Vral, A., & Baeyens, A. (2024). The micronucleus assay on cryopreserved whole blood. *Journal of Visualized Experiments*, (204). <https://doi.org/10.3791/65855>. EDN: <https://elibrary.ru/XGJTIM>
 18. Yuying, H., Xiangjian, L., Fenglin, L., Jingxian, X., Qubo, Z., & Songwen, T. (2023). Trehalose in biomedical cryopreservation — properties, mechanisms, delivery methods, applications, benefits, and problems. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 9(3), 1190–1204. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.2c01225>. EDN: <https://elibrary.ru/AXEHNA>
 19. Guerreiro, B. M., Dionisio, M. M., Lima, J. C., Silva, J. C., & Freitas, F. (2024). Cryoprotective polysaccharides with ordered gel structures induce ice growth

- anticipation and survival enhancement during cell cryopreservation. *Biomacromolecules*, 25(6), 3384–3397. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.4c00040>. EDN: <https://elibrary.ru/AZLCIT>
20. Jahan, S., Kaushal, R., Pasha, R., & Pineault, N. (2021). Current and future perspectives for the cryopreservation of cord blood stem cells. *Transfusion Medicine Reviews*, 35(2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2021.01.003>. EDN: <https://elibrary.ru/FTVUSW>
21. Janis, B. R., Priddy, M. C., Otto, M. R., Kopeček, J. A., & Menze, M. A. (2021). Sonoporation enables high-throughput loading of trehalose into red blood cells. *Cryobiology*, 98, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.12.005>. EDN: <https://elibrary.ru/OWXAFO>
22. Killer, J., Bunešová, V. N., Modráčková, N., Vlková, E., Pechar, R., & Šplíchal, I. (2023). Lactulose in combination with soybean lecithin has a cryoprotective effect on probiotic taxa of bifidobacteria and Lactobacillaceae. *Letters in Applied Microbiology*, 76(2), ova008. <https://doi.org/10.1093/lambio/ova008>. EDN: <https://elibrary.ru/OTVQSB>
23. Li, J., Wang, H., Wang, L., Yu, D., & Zhang, X. (2024). Stabilization effects of saccharides in protein formulations: A review of sucrose, trehalose, cyclodextrins and dextrans. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2023.106625>. EDN: <https://elibrary.ru/SSJICX>
24. Wang, Y., Gao, S., Zhu, K., Ren, L., & Yuan, X. (2023). Integration of trehalose lipids with dissociative trehalose enables cryopreservation of human RBCs. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 9(1), 498–507. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.2c01154>. EDN: <https://elibrary.ru/YKELHI>
25. Whaley, D., Damyar, K., Witek, R. P., Mendoza, A., Alexander, M., & Lakey, J. R. (2021). Cryopreservation: An overview of principles and cell-specific considerations. *Cell Transplantation*, 30. <https://doi.org/10.1177/0963689721999617>. EDN: <https://elibrary.ru/YKOEESK>
26. Xiangjian, L., Yuxin, P., Fenglin, L., Yongju, H., Qubo, Z., Zhaolin, L., et al. (2021). A review of the material characteristics, antifreeze mechanisms, and applications of cryoprotectants (CPAs). *Journal of Nanomaterials*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2021/9990709>. EDN: <https://elibrary.ru/KBKQFX>
27. Xu, B., Wang, Z., Wang, R., Song, G., Zhang, Y., Su, R., et al. (2022). Metabolomics analysis of buck semen cryopreserved with trehalose. *Frontiers in Genetics*, 13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.938622>. EDN: <https://elibrary.ru/TLXLUFU>
28. Yamagata, H., Kobayashi, A., Tsunedomi, R., Seki, T., Kobayashi, M., Hagiwara, K., et al. (2021). Optimized protocol for the extraction of RNA and DNA

- from frozen whole blood sample stored in a single EDTA tube. *Scientific Reports*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96567-2>. EDN: <https://elibrary.ru/VYIOUR>
29. Yao, J., Shen, L., Chen, Z., Zhang, B., & Zhao, G. (2022). Hydrogel microencapsulation enhances cryopreservation of red blood cells with trehalose. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 8(5), 2066–2075. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00051>. EDN: <https://elibrary.ru/ENJISC>
30. Zhong, Y., McGrath, J. K., & Gong, B. (2021). Dipropinonates of sugar alcohols as water-soluble, nontoxic CPAs for DMSO-free cell cryopreservation. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 7(10), 4757–4762. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00995>. EDN: <https://elibrary.ru/DKIIJK>

References

1. Andrusenko, S. F., Vlasov, A. A., Rybinskaya, E. E., & Sorokina, U. E. (2024). Cryoprotectant for whole blood. *Russian Federation Patent № 2816446*. EDN: <https://elibrary.ru/PIKVMJ>
2. Vetoshkin, K. A., Utemov, S. V., Sherstnev, F. S., Knyazev, M. G., & Kostyaev, A. A. (2015). Results of cryopreservation of donor platelet concentrates at low and ultra-low temperatures. *Transfusiology*, 16(2), 22–28. EDN: <https://elibrary.ru/VVHTIX>
3. Vlasov, A. A., & Andrusenko, S. F. (2025). Cryoprotectant for whole blood during low-temperature freezing. *Russian Federation Patent № 2837538*. EDN: <https://elibrary.ru/OSKJAS>
4. Vlasov, A. A., Andrusenko, S. F., Anfinogenova, O. I., Elkanova, A. B., Kadanova, A. A., Sorokina, U. E., et al. (2024). Use of lactulose in the composition of a cryopreservative for preserving blood cells. *Medicine of Extreme Situations*, 26(4), 141–148. <https://doi.org/10.47183/mes.2024-26-4-141-148>. EDN: <https://elibrary.ru/IAWWVD>
5. Vlasov, A. A., Andrusenko, S. F., Denisova, E. V., Elkanova, A. B., Kadanova, A. A., Melchenko, E. A., et al. (2024). Morphofunctional state of cryopreserved formed blood elements at moderately low temperatures. *Bulletin of RSMU*, (5), 73–79. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.038>. EDN: <https://elibrary.ru/XCWDAK>
6. Zaikina, E. V., Goncharova, A. S., Pozdnyakova, V. V., Pandova, O. V., Przhedetsky, Yu. V., Volovik, V. G., et al. (2022). Review of modern methods of cryopreservation of various types of biological material. *Modern Problems of Science and Education*, (4). <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31790> (accessed: 03.05.2025). <https://doi.org/10.17513/spno.31790>. EDN: <https://elibrary.ru/RKRSTU>

7. Kiryanova, G. Yu., Volkova, S. D., Kasyanov, A. D., Grishina, G. V., Golovanova, I. S., & Chechetkin, A. V. (2017). Cryopreservation of erythrocytes at temperatures -40°C and -80°C . *Bulletin of the International Academy of Cold*, (1), 72–78. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-72-78>. EDN: <https://elibrary.ru/YKOPCT>
8. Kit, O. I., Gnennaya, N. V., Filippova, S. Yu., Chembarova, T. V., Lysenko, I. B., Novikova, I. A., et al. (2023). Cryopreservation of hematopoietic stem cells from peripheral blood in transplantology: current state and prospects. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 22(11), 124–133. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3691>. EDN: <https://elibrary.ru/YTCTTM>
9. Skirko, O. P., Meshkov, A. N., Efimova, I. A., Kutsenko, V. A., Kiseleva, A. V., Pokrovskaya, M. S., et al. (2020). Storage period of whole blood samples in a biobank and the yield of deoxyribonucleic acid isolated from it during genetic studies. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 19(6), 2726. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2726>. EDN: <https://elibrary.ru/QHUGAO>
10. Fayzullina, R. M., Gafurova, R. R., Markelov, V. A., Viktorov, V. V., & Danilko, K. V. (2022). Experience of using and evaluation of the effectiveness of a commercial kit for genomic DNA extraction from whole thawed blood. *Medical Bulletin of Bashkortostan*, 17(5), 28–34. EDN: <https://elibrary.ru/NF-NATC>
11. Khudyakov, A. N. (2010). Possibility of preserving blood leukocyte functions at -80°C under protection of various cryoprotective media. *Young Scientist*, (8), 2, 206–209. <https://moluch.ru/archive/19/1868>. EDN: <https://elibrary.ru/MUAXGX>
12. Shirokikh, I. G., Polezhaeva, T. V., Shirokikh, A. A., Khudyakov, A. N., Sergushkina, M. I., Nazarova, Ya. I., et al. (2020). Cryoprotective properties of the polysaccharide-containing fraction of *Herichium erinaceus* BP 16. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*, (1), 5–11. <https://doi.org/10.31857/s0002332920010129>. EDN: <https://elibrary.ru/BKZXES>
13. Ait-Aissa, A., & Aider, M. (2014). Lactulose: Production and use in functional food, medical and pharmaceutical applications. Practical and critical review. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(5), 1245–1253. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12465>
14. Awan, M., Buriak, I., Fleck, R., Fuller, B., Goltsev, A., Kerby, J., et al. (2020). Dimethyl sulfoxide: A central player since the dawn of cryobiology, is efficacy balanced by toxicity? *Regenerative Medicine*, 15(3), 1463–1491. <https://doi.org/10.2217/rme-2019-0145>. EDN: <https://elibrary.ru/UGCADO>
15. Blackwell, A. D., Garcia, A. R., Keivanfar, R. L., & Bay, S. (2021). A field method for cryopreservation of whole blood from a finger prick for later analysis

- with flow cytometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 174(4), 670–685. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24251>. EDN: <https://elibrary.ru/GXRSYE>
16. Bojic, S., Murray, A., Bentley, B. L., Spindler, R., Pawlik, P., Cordeiro, J. L., et al. (2021). Winter is coming: The future of cryopreservation. *BMC Biology*, 19, 56. <https://doi.org/10.1186/s12915-021-00976-8>. EDN: <https://elibrary.ru/SWFGPB>
 17. Dayal, R., Beyls, E., Vral, A., & Baeyens, A. (2024). The micronucleus assay on cryopreserved whole blood. *Journal of Visualized Experiments*, (204). <https://doi.org/10.3791/65855>. EDN: <https://elibrary.ru/XGJTIM>
 18. Yuying, H., Xiangjian, L., Fenglin, L., Jingxian, X., Qubo, Z., & Songwen, T. (2023). Trehalose in biomedical cryopreservation — properties, mechanisms, delivery methods, applications, benefits, and problems. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 9(3), 1190–1204. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01225>. EDN: <https://elibrary.ru/AXEHNA>
 19. Guerreiro, B. M., Dionísio, M. M., Lima, J. C., Silva, J. C., & Freitas, F. (2024). Cryoprotective polysaccharides with ordered gel structures induce ice growth anticipation and survival enhancement during cell cryopreservation. *Biomacromolecules*, 25(6), 3384–3397. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.4c00040>. EDN: <https://elibrary.ru/AZLCIT>
 20. Jahan, S., Kaushal, R., Pasha, R., & Pineault, N. (2021). Current and future perspectives for the cryopreservation of cord blood stem cells. *Transfusion Medicine Reviews*, 35(2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2021.01.003>. EDN: <https://elibrary.ru/FTVUSW>
 21. Janis, B. R., Priddy, M. C., Otto, M. R., Kopeček, J. A., & Menze, M. A. (2021). Sonoporation enables high-throughput loading of trehalose into red blood cells. *Cryobiology*, 98, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.12.005>. EDN: <https://elibrary.ru/OWXAFO>
 22. Killer, J., Bunešová, V. N., Modráčková, N., Vlková, E., Pechar, R., & Šplíchal, I. (2023). Lactulose in combination with soybean lecithin has a cryoprotective effect on probiotic taxa of bifidobacteria and Lactobacillaceae. *Letters in Applied Microbiology*, 76(2), ova008. <https://doi.org/10.1093/lambio/ova008>. EDN: <https://elibrary.ru/OTVQSB>
 23. Li, J., Wang, H., Wang, L., Yu, D., & Zhang, X. (2024). Stabilization effects of saccharides in protein formulations: A review of sucrose, trehalose, cyclodextrins and dextrans. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2023.106625>. EDN: <https://elibrary.ru/SSJICX>
 24. Wang, Y., Gao, S., Zhu, K., Ren, L., & Yuan, X. (2023). Integration of trehalose lipids with dissociative trehalose enables cryopreservation of human RBCs. *ACS*

- Biomaterials Science & Engineering*, 9(1), 498–507. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01154>. EDN: <https://elibrary.ru/YKELHI>
25. Whaley, D., Damyar, K., Witek, R. P., Mendoza, A., Alexander, M., & Lakey, J. R. (2021). Cryopreservation: An overview of principles and cell-specific considerations. *Cell Transplantation*, 30. <https://doi.org/10.1177/0963689721999617>. EDN: <https://elibrary.ru/YKOESK>
26. Xiangjian, L., Yuxin, P., Fenglin, L., Yongju, H., Qubo, Z., Zhaolin, L., et al. (2021). A review of the material characteristics, antifreeze mechanisms, and applications of cryoprotectants (CPAs). *Journal of Nanomaterials*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2021/9990709>. EDN: <https://elibrary.ru/KB-KQFX>
27. Xu, B., Wang, Z., Wang, R., Song, G., Zhang, Y., Su, R., et al. (2022). Metabolomics analysis of buck semen cryopreserved with trehalose. *Frontiers in Genetics*, 13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.938622>. EDN: <https://elibrary.ru/TLXLFU>
28. Yamagata, H., Kobayashi, A., Tsunedomi, R., Seki, T., Kobayashi, M., Hagiwara, K., et al. (2021). Optimized protocol for the extraction of RNA and DNA from frozen whole blood sample stored in a single EDTA tube. *Scientific Reports*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96567-2>. EDN: <https://elibrary.ru/VYIOUR>
29. Yao, J., Shen, L., Chen, Z., Zhang, B., & Zhao, G. (2022). Hydrogel microencapsulation enhances cryopreservation of red blood cells with trehalose. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 8(5), 2066–2075. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00051>. EDN: <https://elibrary.ru/ENJISC>
30. Zhong, Y., McGrath, J. K., & Gong, B. (2021). Dipropionates of sugar alcohols as water-soluble, nontoxic CPAs for DMSO-free cell cryopreservation. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 7(10), 4757–4762. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00995>. EDN: <https://elibrary.ru/DKIIJK>

ВКЛАД АВТОРОВ

Власов А.А.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, составление черновика рукописи.

Андрусенко С.Ф.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Денисова Е.В.: сбор и анализ данных.

Эльканова А.Б.: сбор и анализ данных.

Богословский Д.А.: сбор и анализ данных.

Сивун И.В.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aleksandr A. Vlasov: study conception and design, data collection and analysis, drafting of the manuscript.

Svetlana F. Andrusenko: study conception and design, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.

Evgeniya V. Denisova: data collection and analysis.

Aishat B. Elkanova: data collection and analysis.

Dmitry A. Bogoslovsky: data collection and analysis.

Inna V. Sivun: data collection and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Власов Александр Александрович, к.м.н., доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Кавказский федеральный универси-
тет»*

*ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
alecs-aspirini@yandex.ru*

Андрусенко Светлана Федоровна, к.б.н., доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Кавказский федеральный универси-
тет»*

*ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
svet1677@yandex.ru*

Денисова Евгения Владимировна, к.б.н., доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное уч-
реждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный
университет»*

*ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
den_ev@mail.ru*

Элканова Айшат Борисовна, к.м.н., доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное уч-
реждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный
университет»*

*ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
aishat.elkanowa@yandex.ru*

Богословский Дмитрий Алексеевич, преподаватель

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
dmitry_bogoslovsky@mail.ru

Сивун Инна Вячеславовна, к.б.н., доцент

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
biogeny@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr A. Vlasov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

North Caucasus Federal University

1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

alecs-aspirini@yandex.ru

SPIN-code: 5611-9308

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4598-8994>

Svetlana F. Andrusenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

North Caucasus Federal University

1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

svet1677@yandex.ru

SPIN-code: 5424-7116

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9588-6902>

Evgeniya V. Denisova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

North Caucasus Federal University

1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

den_ev@mail.ru

SPIN-code: 1026-1835

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3149-4376>

Aishat B. Elkanova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

North Caucasus Federal University

1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

aishat.elkanowa@yandex.ru

SPIN-код: 7442-5539

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8707-515X>

Dmitry A. Bogoslovsky, Lecturer

North Caucasus Federal University

1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

dmitry_bogoslovsky@mail.ru

SPIN-code: 9340-4944

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3700-3981>

Inna V. Sivun, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

North Caucasus Federal University

1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

biogeny@yandex.ru

SPIN-code: 7630-8685

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0653-6761>

Поступила 29.05.2025

После рецензирования 30.06.2025

Принята 09.07.2025

Received 29.05.2025

Revised 30.06.2025

Accepted 09.07.2025