

<https://doi.org/10.47183/mes.2026-508>

УДК 613.12:613.646:612.112.9:612.42



ОЦЕНКА КЛЕТОЧНЫХ И ГУМОРАЛЬНЫХ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ В АРКТИКЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВЛИЯНИИ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ И ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА

Р.С. Рахманов^{1✉}, Д.А. Нарутдинов², Е.С. Богомолова¹, С.А. Разгулин¹¹ Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия² Красноярский государственный медицинский университет им. профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

Введение. При осуществлении профессиональной деятельности или длительном проживании в экстремальных условиях районов Крайнего Севера возрастает риск развития иммунопатологических состояний.

Цель. Оценка реакции факторов клеточного и гуморального иммунитета у военнослужащих, осуществляющих профессиональную деятельность в условиях Арктики.

Материал и методы. Исследование проведено с участием 60 человек (средний возраст $37,3 \pm 3,1$ года), проходящих службу по контракту в условиях Крайнего Севера (медианная длительность профессиональной деятельности в данных условиях достигала 7 [5; 9] лет). Изучение показателей выполнено у лиц 1-й и 2-й групп здоровья в ходе ежегодного планового медицинского обследования в летний период. Методом гелевого электрофореза на оборудовании «SAS-1plus» и «SAS-2» оценивали уровни IgA, IgM, IgG. Методом проточной цитометрии на анализаторе CELL-DYN RUBY с технологией MAPSS определяли В- и Т-лимфоциты (в т.ч. Т-хелперы, Т-киллеры), ТНК-клетки, активированные NK-клетки, NK-лимфоциты. Для иммунофенотипирования клеток (определения субпопуляций лимфоцитов, NK-клеток и др.) применяли моноклональные антитела CD3, CD4, CD8, CD19, CD16/56, меченные флуоресцентными красителями. По процентному содержанию лимфоцитов крови оценивали состояние неспецифических адаптационных реакций организма по Л.Х. Гаркави. Гигиеническая оценка условий труда проведена с использованием Руководства Р 2.2.2006-05. Статистическая обработка проведена с помощью пакета прикладных программ IBM SPSS Statistica 6.1.

Результаты. При анализе лейкоцитограммы у 54 (90%) военнослужащих медианное значение палочкоядерных нейтрофилов было статистически значимо меньше 0,5 [0,3; 0,8] референтных значений. При оценке неспецифической адаптационной реакции организма у 33 (55,0%) участников тип адаптационной реакции был определен как «тренировка», у 22 (36,7%) — как «спокойная активация» и только у 5 (8,3%) — как «повышенная активация». При рассмотрении гуморального звена иммунитета у военнослужащих уровни IgM отличались большей вариабельностью индивидуальных значений; у 11,7% его уровни снижены до 0,22–0,24 г/л. Показатели Т-клеточного звена иммунитета характеризовались разнонаправленными изменениями: снижением доли Т-лимфоцитов у 21 (35,0%) участника, снижением ТНК-лимфоцитов у 14 (23,3%), снижением NK-лимфоцитов у 7 (11,7%), а повышением у 30 (50,0%) военнослужащих. В структуре Т-лимфоцитов доля Т-киллеров снижена у 16 (26,7%) испытуемых; у 29 (48,3%) человек показатели превышали границы физиологической нормы. Условия труда военнослужащих характеризовались воздействием комплекса неблагоприятных факторов производственной среды и трудового процесса, обусловленных значительными физическими динамическими и статическими нагрузками, высоким сенсорным и эмоциональным напряжением, режимом профессиональной деятельности с нерегулярной сменностью и работой в ночное время.

Выводы. Процесс адаптации к воздействию экстремальных климатических факторов Арктики носит индивидуальный характер и зависит от адаптационных возможностей организма человека. Как сами показатели, отражающие особенности иммунного ответа у военнослужащих в Арктике (дисбаланс в клеточном звене иммунитета, недостаточность гуморального звена иммунной защиты и развивающийся дефицит иммуноглобулинозащиты), так и условия военно-профессиональной деятельности определяют важность комплексной оценки состояния здоровья контингента для обеспечения раннего выявления отклонений и формирования информационной базы для планирования и проведения профилактических мероприятий.

Ключевые слова: Арктика; военнослужащие по контракту; стаж работы; условия обитания и труда; лейкоциты; гуморальный и клеточный иммунитет; неспецифические адаптационные реакции

Для цитирования: Рахманов Р.С., Нарутдинов Д.А., Богомолова Е.С., Разгулин С.А. Оценка клеточных и гуморальных иммунных реакций у военнослужащих в Арктике при длительном влиянии факторов среды обитания и трудового процесса. *Экстремальная биомедицина*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-508>

Финансирование. Исследование выполнено без спонсорской поддержки.

Соответствие принципам этики. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России (протокол № 4 от 14.03.2022). Все участники подписали информированное согласие на участие в исследовании, а также использование обезличенных медицинских данных.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование инструментов ИИ. Авторы заявляют, что при подготовке статьи не использовали инструменты искусственного интеллекта.

✉ Рахманов Рофаиль Салыхович raf53@mail.ru

Статья поступила: 16.04.2026 **После доработки:** 16.06.2026 **Принята к публикации:** 30.06.2026 **Online first:** 16.09.2026

ASSESSMENT OF CELLULAR AND HUMORAL IMMUNE RESPONSES IN MILITARY PERSONNEL IN THE ARCTIC UNDER LONG-TERM EXPOSURE TO ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL FACTORS

Rofail S. Rakhmanov^{1✉}, Denis A. Narutdinov², Elena S. Bogomolova¹, Sergey A. Razgulin¹

¹ Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

² Prof. V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia

Introduction. When carrying out professional activities or living for a long time in the extreme conditions of the Far North, the risk of developing immunopathological conditions increases.

Objective. To assess cellular and humoral immune responses in military personnel deployed to the Arctic.

Materials and methods. The study involved 60 contracted military personnel (mean age: 37.3 ± 3.1 years) stationed in the Far North, with the median deployment duration reaching 7 [5; 9] years. This cohort, comprising individuals in medical categories 1 and 2, underwent evaluation during their annual routine medical examination in the summer. IgA, IgM, and IgG levels were quantified by gel electrophoresis using SAS-1plus and SAS-2 equipment. B and T lymphocytes (including T helper and T killer cells), NKT cells, activated NK cells, and NK lymphocytes were determined by flow cytometry with the CELL-DYN RUBY analyzer (MAPSS technology). Cell immunophenotyping (to identify lymphocyte subpopulations, NK cells, etc.) was performed using fluorescently labeled monoclonal antibodies against CD3, CD4, CD8, CD19, and CD16/56. Nonspecific adaptive reactions were profiled according to Garkavi's method based on the percentage of blood lymphocytes. Occupational health assessment of working conditions was carried out in accordance with Guidelines R 2.2.2006-05. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 6.1.

Results. Analysis of leukocyte differentials showed that in 54 (90%) military personnel, the median band neutrophil percentage (0.5 [0.3; 0.8]) was statistically significantly below the reference range. According to Garkavi's profiling of nonspecific adaptive responses, a "training reaction" was identified in 33 (55.0%) participants, "calm activation" in 22 (36.7%), and "increased activation" in only 5 (8.3%). Analysis of humoral immunity revealed greater variability in individual IgM levels; in 11.7% of cases, values were reduced to 0.22–0.24 g/L. Parameters of T-cell immunity showed multidirectional changes: the proportions of T, NKT, and NK cells were decreased in 21 (35.0%), 14 (23.3%), and 7 (11.7%) participants, respectively, while elevated NK-cell percentages were observed in 30 (50.0%) military personnel. Within the T-lymphocyte pool, the proportion of cytotoxic T cells (T killer cells) was reduced in 16 (26.7%) subjects, while in 29 (48.3%) individuals these values exceeded the physiological norm. The working conditions of the military personnel involved exposure to a complex of adverse occupational and environmental factors, including significant physical dynamic and static loads, high sensory and emotional stress, and irregular shift work with night rotations.

Conclusions. Adaptation to the extreme Arctic environment varies individually and depends on the body's adaptive capacity. The immune response in military personnel stationed in the Arctic — characterized by cellular immune imbalance, compromised humoral immunity, and developing immunoglobulin deficiency — along with deployment conditions, underscores the need for a comprehensive health status assessment in this cohort. This enables early detection of abnormalities and supports the planning and implementation of targeted preventive measures.

Keywords: Arctic; contracted military personnel; years of service; living and working conditions; leukocytes; humoral and cellular immunity; non-specific adaptive reactions

For citation: Rakhmanov R.S., Narutdinov D.A., Bogomolova E.S., Razgulin S.A. Assessment of cellular and humoral immune responses in military personnel in the Arctic under long-term exposure to environmental and occupational factors. *Extreme Medicine*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-508>

Funding. The study was conducted without sponsorship.

Compliance with the ethical principles. The study was approved by the local ethics committee of the Privolzhsky Research Medical University (Minutes No. 4 dated 14 Mar. 2022). All participants signed informed consent to participate in the study and for the use of anonymized medical data.

Potential conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

AI tools use. The authors declare no AI tools were used in the preparation of this article.

✉ Rofail S. Rakhmanov raf53@mail.ru

Received: 16 Apr. 2026 **Revised:** 16 June 2026 **Accepted:** 30 June 2026 **Online first:** 16 Sep. 2026

ВВЕДЕНИЕ

Человек, находящийся в условиях Крайнего Севера, подвергается воздействию комплекса неспецифических (природно-климатических), специфических (гелио-геофизических), а также психосоциальных факторов, которые при длительном влиянии могут приводить к истощению адаптивных реакций организма, развитию патологий и формированию хронического стресса [1–4]. Хронический стресс первоначально активизирует, а в дальнейшем тормозит иммунный ответ через изменения секреции иммунными клетками провоспалительных

и противовоспалительных цитокинов. Ввиду иммуносупрессии в организме развиваются различные болезненные состояния, впоследствии формирующие соматическую патологию [5].

Защитные реакции организма неразрывно связаны с риском развития иммунопатологических состояний, опосредованных клеточным и гуморальным звеньями иммунитета [6]. Так, в экстремальных условиях обитания у постоянных жителей арктической территории Кольского полуострова в зимний период отмечено снижение фагоцитарной активности нейтрофилов и лимфоцитов при дефиците Т-хелперов [7–9]. Некоторыми

авторами [10] отмечено напряжение клеточного звена иммунитета у женщин за счет недостаточной активности апоптоза на фоне повышенной цитотоксической активности Т-клеток. Реакция повышения уровней клеточно-опосредованной цитотоксичности на фоне дефицита фагоцитарной защиты, свидетельствующая о снижении резервных возможностей регуляции с риском формирования функциональной недостаточности Т-лимфоцитов и развитием вторичных экологически зависимых иммунных дисбалансов, выявлена у ведущих кочевой и оседлый образ жизни в тундре, работающих вахтовым методом в северных морях [11]. Установлено развитие реакции хронического стресса у некоренного населения, длительно проживающего в Арктике, которая сопровождалась нарушением клеточного и гуморального иммунитета [12].

На негативные изменения в иммунной системе военнослужащих в процессе профессиональной адаптации указывает ряд авторов [13, 14]. Логично предположить, что с увеличением стажа работы неблагоприятное влияние условий обитания и факторов трудового процесса у них может негативно отражаться на состоянии здоровья и усугублять реакцию иммунной системы организма.

Цель работы — оценка реакции факторов клеточного и гуморального иммунитета у военнослужащих, осуществляющих профессиональную деятельность в условиях Арктики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено с участием 60 военнослужащих, проходящих службу по контракту (ВПСК), в Арктике. Средний возраст участников составил $37,3 \pm 3,1$ года; медианная длительность профессиональной деятельности в данных условиях достигала 7 [5; 9] лет.

Критерии включения участников в исследование: нахождение в Арктике не менее 6 мес., отсутствие острых или обострения хронических заболеваний, неиспользование иммуномодулирующих средств и биологически активных добавок к пище. Критерии исключения: отказ от участия в исследовании, наличие острых и хронических заболеваний в фазе обострения, нахождение на отдыхе или в отпуске.

Изучение показателей проведено у лиц 1-й и 2-й групп здоровья в ходе ежегодного планового медицинского обследования в летний период. Испытуемые авиатранспортом прибыли в г. Дудинка, где на следующий день утром у них провели забор крови в вакуумные пробирки (LabVac) на базе Таймырской межрайонной больницы. Пробы без заморозки в течение 3 ч доставили в Центральную научно-исследовательскую лабораторию Красноярского государственного медицинского университета для выполнения общеклинического анализа крови, изучения показателей лейкоцитограммы с использованием автоматизированной гематологической системы Abbott (США) и оценки клеточного и гуморального звеньев иммунитета.

По процентному содержанию лимфоцитов в крови оценивали состояние неспецифических

адаптационных реакций организма (СНАРО) по Л.Х. Гаркави [15]. Выделяли следующие типы адаптационных реакций организма: «реакция тренировки» (РТ) — 20–27,5%; «спокойная активация» (РСА) — 28–34%; «повышенная активация» (РПА) — 34,5–44%; «переактивация» — более 40–44%.

Методом гелевого электрофореза на оборудовании «SAS-1plus» и «SAS-2» (HELENA, Великобритания) определяли IgA, IGM, IgG. Для визуализации белковых фракций, включая иммуноглобулины, использовали индикаторы Amido Black (амидо-черный, фирма «Крезол», Россия) для окраски белков и пиронин В (Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd., Китай) для контроля миграции альбумина, что позволило четко выявить линии преципитации после электрофореза в агаровом геле.

Методом проточной цитометрии на анализаторе CELL-DYN RUBY (Abbott, США), с использованием технологии MAPSS (Multi Angle Polarized Scatter Separation) для оптического анализа клеток с лазерным возбуждением, определяли В- и Т-лимфоциты (в т.ч. Т-хелперы, Т-киллеры), TNK-клетки, активированные NK-клетки и NK-лимфоциты. Для анализов использовались реагенты: дилуент / фокусирующий реагент (Diluent/Focus, США), лизирующий реагент для лейкоцитов (Leukocyte Lysing Agent, фирмы Shenzhen Dymind Biotechnology Co., Ltd., Китай) и безцианидный лизирующий реагент для гемоглобина (Hemoglobolytic Agent, США). Иммунофенотипирование клеток (определение субпопуляций лимфоцитов, NK-клеток и др.) осуществляли с помощью моноклональных антител CD3, CD4, CD8, CD19, CD16/56, меченных флуоресцентными красителями (FITC, PE, APC, фирма «Вектор», Россия), а также растворов для фиксации и пермеабиллизации клеток. По соотношению количества Т-хелперов (CD4⁺)/Т-киллеров (CD8⁺) определяли иммунорегуляторный индекс с оценкой соответствия референсным границам¹.

Гигиеническая оценка условий труда с установлением класса условий труда по гигиеническим критериям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса проведена на основании Руководства Р 2.2.2006-05².

Статистическая обработка исходных данных выполнена с использованием пакета прикладных программ IBM SPSS Statistica 6.1 (США). Нормальность распределения вычисляли по критерию Колмогорова — Смирнова. Для параметрических данных рассчитывали средние значения и их стандартные отклонения ($M \pm SD$), для непараметрических — медиану (M_e) и интерквартильный размах [Q_1 ; Q_3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки лейкоцитограммы свидетельствуют о том, что все показатели, за исключением доли нейтрофилов, находились в пределах границ нормы. При анализе лейкоцитограммы у 54 (90%) военнослужащих медианное значение палочкоядерных нейтрофилов было статистически значимо меньше 0,5 [0,3; 0,8] референтных значений и лишь у 6 (10,0%) обследованных находилось в пределах нижнего значения

¹ Ярец ЮИ. Интерпретация результатов иммунограммы. Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ»; 2020.

² Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006-05.

референтной нормы. Сниженная доля сегментоядерных нейтрофилов была зафиксирована у 7 (11,7%) человек, еще у 5 (8,3%) военнослужащих показатели находились на уровне нижней границы физиологической нормы (табл. 1).

Наши результаты совпадают с данными исследования [11], где было показано снижение сегментоядерных нейтрофилов, регистрируемое в 4 раза чаще, чем повышение, у 23,08% кочевых и оседлых мужчин Крайнего Севера. В работе [7] авторы также выявили у испытуемых нейтропению, регистрируемую в зимний период.

Роль нейтрофильных лейкоцитов заключается в обеспечении интенсивности фагоцитоза, выработке интерферона, катионных белков, лизосомальных энзимов, молочной кислоты, оказывающих бактериостатическое и бактериолитическое действие [16]. Дефицит их выработки чаще связан с недостаточностью витаминов B_{12} , B_9 и минеральных веществ (железа, меди), вероятно, вызванной повышенной потребностью в этих микронутриентах в условиях Крайнего Севера³ [17, 18]. В то же время в рационе питания военнослужащих, который осуществлялся по норме общевойскового пайка⁴, установлено недостаточное количество и других микронутриентов: витаминов А, С, B_1 , B_2 , РР, а также кальция [19, 20], а водоснабжение, осуществляемое за счет талого снега или льда, характеризуется низкой минерализацией, хотя в работах [21] отмечено незначительное содержание магния, кальция, натрия, калия, марганца, меди, цинка, железа в анализируемых пробах питьевой воды.

В исследовании [12] у некоренного населения, длительно проживающего в Субарктике (10 лет и более), отмечено повышение уровня нейтрофилов по сравнению с показателями у лиц, проживающих в комфортной зоне Западной Сибири, на фоне уменьшения доли моноцитов и лимфоцитов. В отличие от наших результатов, в сравнительном наблюдении [9] показано

повышение частоты определения лейкоцитоза, лимфоцитоза, нейтрофилиеза, моноцитоза, эозинофилии, базофилии у испытуемых, пребывающих в схожих климатических условиях. Однако авторами не указаны время года при проведении исследования, профессиональная принадлежность и длительность нахождения лиц основной группы в экстремальных условиях Севера [9, 12].

В ходе выполнения исследования у 33 (55,0%) военнослужащих тип неспецифической адаптационной реакции был определен как «тренировка», у 22 (36,7%) — как «спокойная активация» и только у 5 (8,3%) человек — как «повышенная активация». Адаптационные реакции, оцененные по уровню циркулирующих лимфоцитов в виде «тренировка» и «спокойная активация», как правило, являются ответом организма на действующие факторы «пороговой» величины (т.е. сохранение гомеостаза в пределах нижней половины зоны нормы), а также на действующие факторы «средней» интенсивности (сохранение гомеостаза в пределах верхней трети зоны нормы) [15]. Это свидетельствует об адаптации участников к данным условиям жизнедеятельности.

При оценке гуморального звена иммунитета у военнослужащих средние уровни иммуноглобулинов IgM, IgA, IgG находились в пределах референтных границ. Однако уровни IgM отличались большей вариабельностью индивидуальных значений: у 7 (11,7%) человек его уровни снижены до 0,22–0,24 г/л, у 4 (6,7%) участников они находились на уровне нижней границы нормы, что может свидетельствовать об ослаблении первой линии защиты организма (табл. 2).

Иммуноглобулины IgM, IgA, IgG — неотъемлемая часть гуморального иммунитета — классифицируются как естественные (врожденные) и адаптивные (иммунные или индуцированные) [22–25]; при этом в норме при гуморальном ответе первыми секретируются IgM.

Таблица 1. Показатели лейкоцитограмм у обследованных мужчин, $n = 60$

Показатели лейкоцитограммы	Значения показателей	
	Референтные ⁵	Фактические
Лейкоциты ¹ , $\times 10^9/\text{л}$	3,9–10,6	$6,5 \pm 0,56$
Нейтрофилы палочкоядерные ² , %	1–6	0,5 [0,3; 0,8]*
Нейтрофилы сегментоядерные ¹ , %	40–72	$45,3 \pm 3,43$
Эозинофилы ² , %	1–5	2,8 [1,8; 3,7]
Базофилы ² , %	0–1	0,5 [0,2; 0,8]
Лимфоциты ² , %	18–45	27,6 [25,4; 31,7]
Моноциты ¹ , %	2–10	$6,2 \pm 1,66$

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. ¹ — данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$); ² — данные представлены в виде медианы и интерквартильного разброса ($M_e [Q_1; Q_3]$); * — статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) по сравнению с референтными значениями.

³ Knott L. Neutropenic patients and neutropenic regimes neutropenia oncology. URL: <https://patient.info/doctor/neutropenic-patients-and-neutropenic-regimes>

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2007 № 946 «О продовольственном обеспечении военнослужащих и некоторых других категорий лиц, а также об обеспечении кормами (продуктами) штатных животных воинских частей и организаций в мирное время».

⁵ Кишкун АА. Руководство по лабораторным методам диагностики. М.: ГЭОТАР «Медицина»; 2007.

Таблица 2. Показатели сывороточных иммуноглобулинов

Класс иммуноглобулинов	Значения показателей	
	Референтные ⁶	Фактические (n = 60)
IgA, г/л	0,7–4,0	2,47 ± 0,54
IgM, г/л	0,4–2,3	0,53 ± 0,09
IgG, г/л	7,0–16,0	9,57 ± 0,69

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. Данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$).

Таблица 3. Показатели клеточного иммунитета, (n = 60)

Показатели В-, Т-, НК-лимфоцитов	Значения показателей			
	Фактические, %	Референтные ⁷	Фактические, кл./мкл	Референтные ⁸
В-лимфоциты ¹ , CD3 ⁺ CD19 ⁺	11,6 [8,4; 13,3]	9,1–12,4	237,8 [215,9; 295,8]	100–500
Т-лимфоциты ² , CD3 ⁺ CD45	68,9 ± 5,1	66–75	1372,7 ± 245,6	700–2100
Т-хелперы ² , CD3 ⁺ CD4	41,9 ± 6,9	35,4–46,6	868,4 ± 228,2	300–1400
Т-киллеры ² (цитотоксические) CD3 ⁺ CD8	26,2 ± 6,1	20,8–26,8	476,1 [380,9; 544,1]	200–900
TNK-клетки ² CD3 ⁺ CD16/56 ⁺	2,7 ± 0,6	2,5–5,8	95,6 ± 40,2	5–200
Иммунорегуляторный индекс ²	Фактические 1,68 ± 0,44 Референтные 1,4–2,1			
Активированные НК-клетки ¹ CD3 ⁺ CD8 ⁺	2,46 [1,47; 2,9]	0,8–2,3	41,2 [24,9; 48,7]	18–150
НК-лимфоциты ² CD3 ⁺ CD16 ⁺ 56	19,6 ± 6,6	8,8–17,1	320,9 [167,9; 401,2]	90–600

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. ¹ — данные представлены в виде медианы и интерквартильного разброса ($M_e [Q_1; Q_3]$); ² — данные представлены в виде средних арифметических величин и стандартных отклонений ($M \pm SD$).

В нашем исследовании все наблюдаемые лица были здоровы, в связи с чем группа IgM, вероятно, была представлена именно естественными иммуноглобулинами.

Наши данные отличаются от результатов, полученных другими авторами. Так, в исследовании [12] у лиц, длительно проживающих в Субарктике, было определено снижение уровней сывороточных иммуноглобулинов G и A, а IgM статистически значимо не отличался от показателей лиц группы сравнения из комфортной зоны Западной Сибири.

Средние показатели (доля и абсолютное количество клеток) В-лимфоцитов были в пределах референтных границ. Однако у 20 (33,3%) человек в структуре иммунограмм их доля была снижена, что свидетельствовало о недостаточности их выработки, а у 25 (41,7%) участников показатели регистрировали выше референтной границы, что, вероятно, связано с напряжением их синтеза. Повышение уровня В-лимфоцитов не отразилось на выработке иммуноглобулинов. Полученные

результаты указывают на риск снижения физиологической активности гуморального звена иммунитета, связанного с выработкой иммуноглобулинов [26].

Показатели Т-клеточного звена иммунитета (лимфоцитов CD3 и их субпопуляций), НК-лимфоцитов соответствовали референтным границам (табл. 3).

Однако индивидуальные характеристики структуры Т-, TNK- и НК-лимфоцитов в иммунограммах имели особенности. Так, сниженная доля Т-лимфоцитов выявлена у 21 (35,0%) участника, повышенная — у 14 (23,3%) человек. Доля TNK-лимфоцитов снижена у 14 (23,3%) испытуемых; снижение доли НК-лимфоцитов определено у 7 (11,7%), а повышение — у 30 (50,0%) военнослужащих.

В структуре Т-лимфоцитов доля Т-хелперов у 16 (26,7%) участников была снижена, а у 14 (23,3%) значения превышали референтную границу. В то же время доля Т-киллеров была снижена у 16 (26,7%) испытуемых, но у 29 (48,3%) военнослужащих показатели

⁶ Крастелева ИМ, Зубовская ЕТ, Дальнова ТС, Ходюкова АБ, Гушинская МК, Гринь ОР. Клинико-лабораторные показатели в педиатрии (референтные интервалы): учеб.-метод. пособие. Минск: БелМАПО; 2020.

⁷ Ярец ЮИ. Интерпретация результатов иммунограммы. Гомель: ГУ «РНПЦ РМИЭЧ»; 2020.

⁸ Там же.

превышали границы физиологической нормы, то есть в структуре Т-клеток преобладали цитотоксические лимфоциты.

Увеличение цитотоксической активности Т-клеток в условиях Севера отмечено и другими авторами [10, 11]. В исследовании [7], проведенном в зимний период, у 37% обследованных при снижении фагоцитарной активности нейтрофилов регистрировали дефицит Т-хелперов. В нашем исследовании также практически у трети обследованных был выявлен дефицит Т-хелперов в структуре Т-клеток крови.

Дисбаланс Т-хелперов и Т-киллеров обусловил отклонения иммунорегуляторного индекса от границ нормы у 28 (46,7%) военнослужащих, при этом у 31,7% участников индекс был снижен, а у 15,0% — повышен, что свидетельствует о дисрегуляторных процессах в клеточном звене иммунитета (табл. 4).

Условия труда военнослужащих характеризовались воздействием комплекса неблагоприятных факторов производственной среды и трудового процесса. Были выделены ведущие факторы риска для здоровья, а именно: тяжесть труда (при поддержании в рабочей готовности взлетно-посадочной полосы, заготовке запасов снега для использования в хозяйственно-питьевых целях, выполнении хозяйственных работ), обусловленная значительными физическими динамическими и статическими нагрузками: перемещением груза на расстояние до 5 м за смену (33 750 кг·м) — класс условий труда 3.1; подъемом и перемещением грузов вручную 17 кг (разово) — класс условий труда 3.1; суммарной массой грузов, перемещаемых с пола в течение каждого часа смены вручную (715 кг) — класс условий труда 3.2; величиной статической нагрузки при удержании груза — класс условий труда 3.1, а также вынужденной рабочей позой и наклонами корпуса (425 раз за смену) — класс условий труда 3.2.

Напряженность труда связана с высокими сенсорными и эмоциональными нагрузками — класс условий труда 3.2 (длительность сосредоточенного наблюдения более 75% рабочего времени, наблюдение за видеотерминалами; высокая степень ответственности за безопасность других лиц; режим

работы с нерегулярной сменностью и работой в ночное время.

По критериям вредности и опасности условия труда военнослужащих отнесены к вредным третьей степени (класс 3.3).

ВЫВОДЫ

1. Экстремальные условия Арктики при длительном проживании и профессиональной деятельности негативно влияют на резервные возможности военнослужащих; при этом происходит перестройка функционирования иммунной системы, проявляющаяся сдвигами в гуморальном и клеточном звеньях защиты организма. Клеточное звено иммунитета характеризуется снижением доли палочкоядерных у 90,0% и сегментоядерных нейтрофилов у 11,7% участников исследования, снижением доли В-клеток у 75,0%, Т-клеток у 58,3%, ТНК-клеток у 23,3%, NK-клеток у 61,7%, снижением иммунорегуляторного индекса у 46,7% военнослужащих.

2. Недостаточность гуморального звена иммунной защиты обусловлена снижением уровня IgM у 18,4% военнослужащих, вероятно, связанным с дисбалансом В-клеточного звена иммунитета. Развивающийся дефицит иммуноглобулинозащиты может свидетельствовать о формировании иммуносупрессии, обусловленной воздействием как природно-климатических факторов Крайнего Севера, так и характером военной профессиональной деятельности.

3. Определенные по доле лимфоцитов неспецифические адаптационные реакции организма — «тренировка» у 55,0% и «спокойная активация» у 36,7% участников — свидетельствуют об адаптации военнослужащих к данным условиям жизнедеятельности.

4. По критериям вредности и опасности условия труда военнослужащих отнесены к вредным третьей степени, что обусловлено воздействием неблагоприятных факторов производственной среды и трудового процесса. Ведущие факторы риска для их здоровья — высокие физические, психоэмоциональные, сенсорные нагрузки и нерациональный режим труда и отдыха с нерегулярной сменностью и работой в ночное время.

Таблица 4. Характеристика показателей клеточного иммунитета в структуре иммунограмм крови ($n = 60$)

Вид лимфоцитов	Значения лимфоцитов в структуре иммунограмм, %		
	Снижение	В пределах референтных границ	Повышение
Т-лимфоциты, CD3 ⁺ CD45, в т.ч.: Т-хелперы, CD3 ⁺ CD4 Т-киллеры (цитотоксические) CD3 ⁺ CD8	62,95 ± 1,71* 31,87 ± 1,57* 16,66 ± 1,89*	69,2 ± 2,5 35,4 ± 3,46 24,63 ± 1,66	77,32 ± 1,68* 52,13 ± 1,81* 32,38 ± 2,6*
ТНК-клетки CD3 ⁺ CD16/56 ⁺	1,66 ± 0,33*	3,06 ± 0,37	0,0
Иммунорегуляторный индекс	1,28 ± 0,26*	1,75 ± 0,2	2,78 ± 0,62*
В-лимфоциты	8,1 [7,05; 8,3]*	11,15 [10,2; 12,0]	14,3 [13,3; 15,0]
NK-лимфоциты CD3 ⁺ CD16 ⁺ 56	8,0 ± 0,33*	14,78 ± 3,23	25,69 ± 2,86*

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание. * — статистическая значимость различий ($p = 0,001$) доли сниженных показателей по сравнению с референтными значениями; ♦ — статистическая значимость различий ($p = 0,001$) доли повышенных показателей по сравнению с референтными значениями.

Литература / References

- Гудков АБ, Дегтева ГН, Шепелева ОА. Эколого-гигиенические проблемы на Арктических территориях интенсивной промышленной деятельности (обзор). *Общественное здоровье*. 2021;1(4):49–55. Gudkov AB, Degtyareva GN, Shepeleva OA. Ecological and hygienic problems in Arctic territories of intensive industrial activity (review). *Public Health*. 2021;1(4):49–55 (In Russ.). <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-4-49-55>
- Проворова АА, Смиреникова ЕВ, Уханова АВ. Здоровье населения российской Арктики: проблемы, вызовы и пути их решения. *Арктика и Север*. 2024;55:161–81. Provorova AA, Smirennikova EV, Ukhanova AV. Population health in the Russian Arctic: problems, challenges. *Arctic and North*. 2024;55:161–81 (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.55.161>
- Безменова ИН. Выбор информативных генетических маркеров для оценки адаптационного потенциала жителей-северян (обзор). *Здоровье населения и среда обитания* — ЗНISO. 2023;31(1):7–12. Bezmenova IN. Selection of informative genetic markers for assessment of adaptabilities of northerners: a review. *Public Health and Life Environment* — PH&LE. 2023;31(1):7–12 (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-1-7-12>
- Багнетова ЕА, Малукова ТИ, Болотов СВ. К вопросу об адаптации организма человека к условиям жизни в северном регионе. *Успехи современного естествознания*. 2021;4:111–6. Bagnetova EA, Malyukova TI, Bolotov SV. Adapting the human body to living conditions in the northern region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2021;4:111–6 (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37616>
- Barrett TJ, Corr EM, Solingen CV, Schlamp F, Brown EJ, Koelwyn GJ, et al. Chronic stress primes innate immune responses in mice and humans. *Cell Reports*. 2021;36(10):109595. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2021.109595>
- Джумаева ГГ. Иммуитет человека: системный анализ врожденных и адаптивных механизмов защиты. *Central Asian Journal of Academic Research*. 2026;4(1):9–16. Dzhumaeva GG. Human immunity: a systems analysis of innate and adaptive defense mechanisms. *Central Asian Journal of Academic Research*. 2026;4(1):9–16 (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.18480575>
- Balashova SN, Samodova AV, Dobrodeeva LK, Belisheva NK. Hematological reactions in the inhabitants of the Arctic on a polar night and a polar day. *Immunity, Inflammation and Disease*. 2020;8(3):415–22. <https://doi.org/10.1002/iid3.323>
- Dobrodeeva LK, Samodova AV, Balashova SN, Pashinskaya KO. Intercellular interactions in peripheral venous blood in practically healthy residents of high latitudes. *BioMed Research International*. 2021;7086108. <https://doi.org/10.1155/2021/7086108>
- Губкина ЛВ, Самодова АВ, Добродеева ЛК, Балашова СН, Пашинская КО. Особенности клеточных и гуморальных иммунных реакций у жителей Европейского Севера и Арктики. *Якутский медицинский журнал*. 2022;4:87–91. Gubkina LV, Samodova AV, Dobrodeeva LK, Balashova SN, Pashinskaya KO. Features of cellular and humoral immune reactions in the inhabitants of the European North and the Arctic. *Yakut Medical Journal*. 2022;4:87–91 (In Russ.). <https://doi.org/10.25789/YMJ.2022.80.23>
- Морозова ОС, Сергеева ТБ, Щеголева ЛС. Клеточный иммунитет у женщин старшей возрастной группы, проживающих на Крайнем Севере. *Журнал медико-биологических исследований*. 2020;8(3):235–40. Morozova OS, Sergeeva TB, Shchegoleva LS. Cellular immunity in women aged 40–60 years living in the Far North. *Journal of Medical and Biological Research*. 2020;8(3):235–40 (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z014>
- Каббани МС, Филиппова ОЕ, Шашкова ЕЮ, Меньшикова МВ, Щеголева ЛС. Формирование клеточных реакций в адаптивном иммунном ответе у женщин 40–60 лет, проживающих на Севере РФ. *Журнал медико-биологических исследований*. 2020;8(4):350–9. Kabbani MS, Filippova OE, Shashkova EYu, Men'shikova MV, Shchegoleva LS. Formation of cellular responses in the adaptive immune response of 40–60-year-old women living in Northern Russia. *Journal of Medical and Biological Research*. 2020;8(4):350–9 (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z027>
- Зырянов БН, Соколова ТФ. Адаптационные реакции и иммунитет у пришлого населения Крайнего Севера. *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2021;2(111):48–58. Zyryanov BN, Sokolova TF. Adaptation reactions and immunity in the migrant population of the Far North. *Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug*. 2021;2(111):48–58 (In Russ.). <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2021.111.2.003>
- Чурилов ЮК, Моисеев ЮБ, Ричей ИИ. Состояние иммунологической реактивности в процессе профессиональной адаптации летного состава. *Военно-медицинский журнал*. 2019;340(4):42–6. Churilov YuK, Moiseev YuB, Richey II. The state of immunological reactivity during the professional adaptation of flight personnel. *Military Medical Journal*. 2019;340(4):42–6 (In Russ.).
- Рахманов РС, Богомолова ЕС, Нарутдинов ДА, Разгулин СА, Потехина НН, Евдокимов АВ. Оценка состояния адаптации организма военнослужащих в Арктической зоне России: сравнительное исследование. *Морская медицина*. 2026;12(1):87–94. Rakhmanov RS, Bogomolova ES, Narutdinov DA, Razgulin SA, Potekhina NN, Evdokimov AV. Assessment of body adaptation state of military personnel in Arctic zone of Russia: comparative study. *Marine Medicine*. 2026;12(1):87–94 (In Russ.). EDN: [HVCBSBW](https://doi.org/10.35266/2949-3447-2024-4-9)
- Гаркави ЛХ. Активационная терапия: антистрессорные реакции активации и тренировки и их использование для оздоровления, профилактики и лечения. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета; 2006. Garkavi LKh. *Activation therapy: anti-stress reactions of activation and training and their use for health improvement, prevention, and treatment*. Rostov-on-Don: Rostov University Press; 2006 (In Russ.).
- Кисина ТЕ, Воробьева НА. Внеклеточные ловушки — новая функция нейтрофилов и их роль в воспалении и гемостазе. *Вестник СурГУ. Медицина*. 2024;17(4):63–74. Kisina TE, Vorobyeva NA. Extracellular traps: a new function of neutrophils and their role in inflammation and hemostasis. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2024;17(4):63–74 (In Russ.). <https://doi.org/10.35266/2949-3447-2024-4-9>
- Torrez M, Chabot-Richards D, Babu D, Lockhart E, Foucar K. How I investigate acquired megaloblastic anemia. *International Journal of Laboratory Hematology*. 2022;44(2):236–47. <https://doi.org/10.1111/ijlh.13789>
- Costanzo G, Sambugaro G, Mandis G, Vassallo S, Scuteri A. Pancytopenia secondary to vitamin B₁₂

- deficiency in older subjects. *Journal of Clinical Medicine*. 2023;12(5):2059.
<https://doi.org/10.3390/jcm12052059>
19. Субботина ТИ, Андриянов АИ, Сороколетова ЕФ, Сметанин АЛ, Ищук ЮВ. Роль адекватного нормирования питания в сохранении и укреплении здоровья военнослужащих, проходящих службу в Арктической зоне. *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2020;39(S3–5):169–72.
 Subbotina TI, Andrianov AI, Sorokoletova EF, Smetanin AL, Ishchuk YuV. The role of adequate food rationing in aintaining and improving the health of military personnel serving in the Arctic zone. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2020;39(S3–5):169–72 (In Russ.).
 EDN: [VBOGFD](#)
 20. Русаков ЕБ, Артюхова СИ. О перспективах создания и производства биопродуктов для питания военнослужащих, находящихся в условиях Арктики. *Актуальная биотехнология*. 2022;1:196–200.
 Rusakov EB, Artyukhova SI. On the prospects for the creation and production of bioproducts for nutrition of military personnel located in the Arctic. *Topical Biotechnology*. 2022;1:196–200 (In Russ.).
 21. Рахманов РС, Нарутдинов ДА, Богомолова ЕС, Разгулин СА, Аликберов МКХ, Непряхин ДВ. Оценка реакции организма военнослужащих в Арктике по показателям крови в условиях водопользования местными ресурсами. *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО*. 2023;31(7):48–54.
 Rakhmanov RS, Narutdinov DA, Bogomolova ES, Razgulin SA, Alikberov MKh, Nepryakhin DV. Assessment of the body response to snowmelt water consumption in military personnel serving in the arctic based on blood parameters. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2023;31(7):48–54 (In Russ.).
<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-7-48-54>
 22. Земсков АМ, Земскова ВА, Бакулева НИ, Глаголева АБ, Ширияев ОЮ. Иммуноглобулины — настоящее и будущее иммунотерапии. *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2021;86:61–72.
 Zemskov AM, Zemskova VA, Bakuleva NI, Glagoleva AB, Shiryayev OYu. Immunoglobulins are the present and future of immunotherapy. *Scientific and Medical Bulletin of the Central Chernozem region*. 2021;86:61–72 (In Russ.).
 EDN: [FTJRMJ](#)
 23. Василенко ВВ, Виноградов ДЛ, Бурлакова АС. IgG4-сопряженная патология: состояние проблемы. *Архивъ внутренней медицины*. 2017;7(2):95–106.
 Vasilenko VV, Vinogradov DL, Burlakova AS. IgG4-associated pathology: state of the art. *Archives of Internal Medicine*. 2017;7(2):95–106 (In Russ.).
<https://doi.org/10.20514/2226-6704-2017-7-2-95-106>
 24. Abokor AA, McDaniel GH, Golonka RM, Campbell C, Brahmandam S, Yeoh BS, et al. Immunoglobulin A, an active liaison for host-microbiota homeostasis. *Microorganisms*. 2021;9(10):2117.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms9102117>
 25. Gong S, Ruprecht RM. Immunoglobulin M: An ancient antiviral weapon — rediscovered. *Frontiers in Immunology*. 2020;11:1943.
<https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01943>
 26. Ermakov EA, Nevinsky GA, Buneva VN. Immunoglobulins with non-canonical functions in inflammatory and autoimmune disease states. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(15):5392.
<https://doi.org/10.3390/ijms21155392>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Р.С. Рахманов — разработка дизайна и концепции исследования, написание черновика рукописи; Д.А. Нарутдинов — сбор первичного материала, статистическая обработка материала; Е.С. Богомолова — редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; С.А. Разгулин — литературный и информационный поиск.

Об авторах:

Рахманов Рофаиль Салыхович, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1531-5518>
Нарутдинов Денис Алексеевич, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5438-8755>
Богомолова Елена Сергеевна, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1573-3667>
Разгулин Сергей Александрович, д-р мед. наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8356-2970>