

УДК 617-089

DOI 10.34014/2227-1848-2025-1-33-43

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АЭРОИОНОВ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ

А.Н. Беляев, Е.В. Бояркин, И.С. Полькина, М.Д. Романов, Е.В. Кимяев

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия

Отрицательные аэроионы (ОАИ) – это электрически отрицательно заряженные молекулы в атмосфере. Они обладают высокой биологической активностью и оказывают лечебный эффект, заключающийся в нормализации психологического здоровья и общего самочувствия, повышении работоспособности при физических нагрузках, улучшении дыхательной функции легких и крови. Важным аспектом действия ОАИ является нейтрализация частиц пыли, аэроаллергенов и микроорганизмов в воздушном пространстве помещений. Механизмом лечебного действия ОАИ может быть активация собственной антиоксидантной системы, а также обезвреживание микробов и вирусов путем окислительного повреждения их липидных и нуклеиновых комплексов. Имеющиеся работы по обоснованию эффективности применения ОАИ при хирургических заболеваниях указывают на перспективность исследований в этом направлении.

Ключевые слова: отрицательные аэроионы, микроорганизмы, окислительное повреждение, раны.

Введение. Отрицательные аэроионы (ОАИ) были открыты более 100 лет назад. Большая заслуга в их изучении принадлежит русскому ученому А.Л. Чижевскому, который в течение нескольких десятков лет анализировал биологическое действие ОАИ на растительный и животный мир. В воздушной среде отрицательная молекула газа образуется при получении достаточной для выброса электрона энергии [1]. Далее электрон может присоединиться к другой нейтральной молекуле, после чего она приобретает отрицательный заряд и начинает проявлять повышенную биологическую активность [2].

Цель исследования. Дать анализ современному состоянию исследований по использованию отрицательных аэроионов в медицине и оценить перспективы применения ОАИ в хирургической практике.

Как известно, технический прогресс связан с загрязнением не только почвы и воды, но и атмосферы, что приводит к снижению в ней содержания ОАИ, которое в свою очередь неблагоприятно влияет на физическое и психическое здоровье населения [3, 4].

На начальных этапах исследования ОАИ А.Р. Krueger, Е.Ј. Reed [5] предположили, что

механизм их биологического действия реализуется через активацию серотонина – одного из нейротрансмиттеров, связанных с нейробиологическими механизмами, оказывающими стимулирующее влияние (сосудисто-нервное, эндокринное, метаболическое) на организм человека и животных

Анализ публикаций, затрагивающих проблему воздействия ОАИ на человека, показал, что их лечебный эффект связан с улучшением общего самочувствия, психоэмоционального фона и продуктивности [6–11], повышением работоспособности при физических нагрузках [12], возрастанием функциональной активности и дыхательных объемов легких у курильщиков [13, 14] и студентов с нарушенной дыхательной функцией легких [15]. Также имеются сведения, что использование ОАИ приводит к уменьшению симптомов воспаления в клеточной линии кератиноцитов человека, дезактивации спор плесени и различных аллергенов (в результате чего снижается выраженность симптомов аллергии на эти частицы), т.е. отрицательные аэроионы проявляют противовоспалительное и антиоксидантное действие [8, 16].

В других публикациях показано, что воздух, обогащенный ОАИ, нормализует артериальное давление и реологию крови, поддерживает насыщение тканей кислородом, облегчает стрессовые состояния и повышает устойчивость к неблагоприятным факторам [17–20]. Высокие концентрации отрицательных аэроионов с лечебной целью рекомендуется использовать в ревматологии, иммунологии, дерматологии, пульмонологии [21, 22].

В ряде исследований обнаружено, что ОАИ подавляют рост и размножение различных бактерий [23–26], в т.ч. вследствие прямого бактерицидного действия или потенцирования антибактериального эффекта некоторых антисептиков при совместном применении.

В настоящее время для удаления из воздуха микрочастиц пыли, микроорганизмов, аллергенов растительного и животного происхождения широко используются очистители воздуха помещений – в основном это ионные излучатели различных типов [27, 28]. А. Тапакка, Y.A. Zhang [29] сообщили, что отрицательные аэроионы снижают количество вдыхаемой пыли на 46 %. Ее концентрация после 2-часовой обработки офисного помещения (50 м³) генератором ОАИ была снижена почти на два порядка [30]. Эффективность ОАИ в удалении твердых частиц из воздуха была показана и в других работах [31–34].

A.R. Escombe et al. [35] экспериментально показали, что ультрафиолетовое излучение и отрицательная ионизация воздуха предотвращали передачу туберкулеза воздушно-капельным путем у морских свинок. Таким образом, использование ОАИ может быть эффективным и недорогим способом борьбы с туберкулезной инфекцией в клинических учреждениях.

Во время пандемии коронавирусной инфекции 2019 г. (COVID-19) был предложен портативный ионизатор, генерирующий ОАИ, который эффективно уничтожал коронавирусы (SARS-CoV-2) и вирусы гриппа А (штамм CA04) – эффективность дезинфекции составила более 99,8 % после 1-часового воздействия. Кроме того, с эффективностью более 87,8 % через 10 мин ОАИ разрушали аэро-

зольные вирусы [36]. Не исключено, что положительный эффект ОАИ также связан с усилением выработки собственных антиоксидантных ферментов [37, 38].

R.V. Badhe, S.S. Nipate [39] полагают, что периодическое использование ионизатора, генерирующего отрицательные кластеры ионов кислорода $[O_2^-(H_2O)_n]$, и распылителя бикарбоната натрия, генерирующего HCO_3^- , при подключении к аппарату искусственной вентиляции легких нейтрализует шиповидный белок коронавируса в легких путем окислительного повреждения белковых и липидных комплексов [40, 41] и изменяет среду на нейтральную (или щелочную), способствуя повышению содержания кислорода в крови.

Повышение эффективности воздействия ОАИ возможно путем изменения применяемых доз. T.V. Sirota et al. [42] показали, что высокие дозы могут вызвать состояние окислительного стресса вследствие повышенного образования озона и озонидов, которые, являясь сильными окислителями, также повышают общий окислительный потенциал.

Имеются работы, посвященные использованию ОАИ в онкологической практике. В публикации R. Yamada et al. [43] показано, что ОАИ повышают активность собственных киллерных клеток организма, уничтожающих опухолевые клетки и защищающих организм от рака. В исследовании показано, что если мышей, у которых вызывали опухоль путем введения определенного химического вещества, подвергали воздействию ОАИ, то через 5 нед. у них наблюдалось уменьшение размеров и веса опухоли, а также рост выживаемости.

Интерес представляют исследования по изучению воздействия ОАИ на кожные раны различной этиологии. На модели ожоговой раны у крыс было продемонстрировано, что обработка аэрозолем с ОАИ не только увеличила скорость заживления, но и улучшила качество регенерации глубоких повреждений. Кроме того, ОАИ подавляли выраженность воспалительных реакций за счет снижения экспрессии провоспалительных цитокинов с последующим усилением ангиогенеза в ожоговой ране [44]. Опубликовано сообщение о

применении аэрозоля, заряженного ОАИ, 67 пациентами с хроническими ранами [45]. В контрольную группу вошли 73 больных, которые получали стандартное лечение. Аппаратом SQ-365 генерировался аэрозоль с отрицательным зарядом и размером аэрозольных частиц около 5 мкм. Эти отрицательно заряженные однородные аэрозоли могут через верхние дыхательные пути или напрямую через раневое ложе воздействовать как системно, так и местно. При нанесении на раны аэрозоль оказывает биоцидное действие и способствует заживлению, влияя на клеточный метаболизм. Полученные результаты показали снижение инфицированности ран в опытной группе по сравнению с контрольной. Также в опытной группе размер ран в различные сроки наблюдения (14-й, 21-й, 28-й дни) был значительно меньше и наблюдалась более ранняя полная эпителизация. В сообщении других авторов показано, что совместное использование ОАИ и оксида азота способствовало повышению количества микрососудов и улучшению кровоснабжения хронических ран у больных сахарным диабетом [46].

В ряде работ изучались перспективы использования ОАИ в плановой и неотложной хирургии. Так, в патентном экспериментальном исследовании на модели острого перитонита показана возможность их применения для профилактики спайкообразования [47]. В качестве электроэффлювиального генератора отрицательных аэроионов выступала люстра Чижевского. Эксперименты проводились на 58 собаках, разделенных на 4 группы. Интенсивность аэроионизации составляла 500 тыс. аэроионов (АИ) в 1 кубическом сантиметре воздуха. Время воздействия определялось дозой (от 0,5 до 6 ч). Авторы экспериментально показали, что аэроионотерапия дозой от 30 до 80 биологических единиц (3 и 4 группы) в предоперационном периоде позволяет эффективно предупредить развитие адгезивного процесса в брюшной полости. С.В. Аксеновой установлено, что применение ОАИ в комплексном лечении перитонита и ишемии кишечника способствует коррекции расстройств липидного обмена вследствие снижения интенсивно-

сти свободнорадикальных процессов и активности фосфолипазных систем, что проявляется восстановлением функционального состояния печени и снижением выраженности эндотоксемии [48]. В другом исследовании обнаружено, что использование ОАИ при острой ишемии кишечника приводило к нормализации гиперкоагуляционных нарушений системы гемостаза за счет гипокоагуляционного и фибринолитического действия, а также уменьшения агрегационной тромбоцитарной активности [49]. В связи с этим автор считает целесообразным перед хирургическим вмешательством на кишечнике проведение двух сеансов аэроионотерапии дозой 20 биологических единиц для предупреждения гемостатических расстройств и профилактики тромбоэмболических осложнений в послеоперационном периоде.

Также была показана эффективность отрицательных аэроионов в лечении механической желтухи [50–52]. Экспериментально разработанная авторами методология заключалась в том, что у крыс после моделирования механической желтухи на 3-и сут выполняли декомпрессию желчевыводящих протоков. Затем животных помещали в клетку с установленным в металлической сетке-крышке источником ионизации от генератора отрицательно заряженных аэроионов и проводили аэроионотерапию продолжительностью 60 мин и концентрацией ОАИ 10 тыс. АИ в 1 см³ ежедневно в течение 30 дней. В результате наблюдали повышение системного антиоксидантного потенциала и снижение активности цитолитических процессов в печени, что сопровождалось ростом выживаемости подопытных животных [53].

В клинической практике метод аэроионотерапии был опробован О.В. Диковой [54, 55]. Методика заключалась в ежедневном применении электроэффлювиальной люстры А.Л. Чижевского в течение 14 дней сеансами по 20 биологических доз. Автором было показано, что использование ОАИ в комплексном лечении экземы повышало его эффективность: сокращались сроки стационарного лечения при росте числа выздоровевших лиц. В публикации Iwama H. et al. [56] сообщается о

применении отрицательных аэроионов с целью снижения предоперационного психологического напряжения в амбулаторной хирургической практике.

Однако стоит отметить, что в некоторых работах не найдено доказательств воздействия как положительных, так и отрицательных ионов на сердечную и дыхательную функции [57, 58]. Неоднозначные результаты могут быть стимулом для дальнейших экспериментальных и клинических исследований.

Заключение. Краткий аналитический обзор свидетельствует о возможности уничто-

жения микробов и снижения количества аллергенов в окружающем воздухе с помощью отрицательных аэроионов. Их источником могут быть специальные ионизаторы, выпускаемые медицинской промышленностью. Эффективность применения отрицательных аэроионов в профилактике распространения вирусов, коррекции липидных расстройств, а также гипокоагуломическое и дезагрегационное действие при плановых и urgentных хирургических операциях свидетельствуют о перспективах исследований в области применения отрицательных аэроионов в клинической практике.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования: Беляев А.Н.

Литературный поиск, участие в исследовании, обработка материала: Бояркин Е.В., Полькина И.С., Кимяев И.В.

Анализ и интерпретация данных: Беляев А.Н., Романов М.Д.

Написание и редактирование текста: Беляев А.Н., Романов М.Д.

Литература

1. Laza V. The environment and gaseous ions. Cent. Eur. J. Occup. Environ. Med. 2000; 6: 3–10.
2. Goldstein N., Arshavskaya T.V. Is atmospheric super oxide Vitally necessary? Accelerated death of animals in a quasi-neutral electric atmosphere. Z. Naturforsch C. 1997; 52: 396–404. DOI: 10.1515/znc-1997-5-619.
3. Jia X., Yang X., Hu D., Dong W., Yang F., Liu Q., Li H., Pan L., Shan J., Niu W., Wu S., Deng F., Guo X. Short-term effects of particulate matter in metro cabin on heart rate variability in young healthy adults: impacts of particle size and source. Environ Res. 2018; 167: 292–298. DOI: 10.1016/j.envres.2018.07.017.
4. Gui H.L., Ren G.L., Zhang X.H. Atmospheric negative oxygen ions and their variation in different environments. Heilongjiang Meteorol. 2018; 35 (01): 18–19.
5. Krueger A.P., Reed E.J. Biological impact of small air ions. Science. 1976; 193: 1209–1213. DOI: 10.1126/science.959834.
6. Flory R., Ametep J., Bowers B. A randomized, placebo-controlled trial of bright light and high-density negative air ions for treatment of seasonal affective disorder. Psychiatry Res. 2010; 177 (1-2): 101–108. DOI: 10.1016/j.psychres.2008.08.011.
7. Ogungbe A.S., Akintoye O.H., Idowu B.A. Effects of gaseous ions on the environment and human performance. Trends Appl. Sci. Res. 2011; 6: 130–133. DOI: 10.3923/tasr.2011.130.133.
8. Pino O., Ragione F.L. There's something in the air: Empirical evidence for the effects of negative air ions (NAI) on psychophysiological state and performance. Res. Psychol. Behav Sci. 2013; 1: 48–53.
9. Perez V., Alexander D.D., Bailey W.H. Air ions and mood outcomes: A review and meta-analysis. BMC Psychiatry. 2013; 13: 29. DOI: 10.1186/1471-244X-13-29.
10. Jiang S.Y., Ma A., Ramachandran S. Negative air ions and their effects on human health and air quality improvement. Int J Mol Sci. 2018; 19 (10): 2966. DOI: 10.3390/ijms19102966.
11. Chu C.H., Chen S.R., Wu C.H., Cheng Y.C., Cho Y.M., Chang Y.K. The effects of negative air ions on cognitive function: an event-related potential (ERP) study. Int J Biometeorol. 2019; 63 (10): 1309–1317. DOI: 10.1007/s00484-019-01745.

12. *Nimmerichter A., Holdhaus J., Mehnen L., Vidotto C., Loidl M., Barker A.R.* Effects of negative air ions on oxygen uptake kinetics, recovery and performance in exercise: a randomized, double-blinded study. *Int J Biometeorol.* 2014; 58 (7): 1503–1512. DOI: 10.1007/s00484-013-0754-8.
13. *Su Y.F., Wenjie L., Chunlei Z., Hui L.* Effects of load breathing training combined with air negative oxygen ion intervention on lung function in smokers with moderate and mild chronic obstructive pulmonary disease. *Chin J Gerontol.* 2018; 38 (13): 3134–3136.
14. *Wenjie L., Chunlei Z., Hui L.* Effects of load breathing training combined with air negative oxygen ion intervention on lung function in smokers with moderate and mild chronic obstructive pulmonary disease. *Chin J Gerontol.* 2018; 38 (13): 3134–3136.
15. *Wen L.Y.* Effect of air negative oxygen ion concentration on respiratory training of students with poor pulmonary function. *Mod Prev Med.* 2017; 44 (07): 1187–1190.
16. *Goldstein N.* Reactive oxygen species as essential components of ambient air. *Biochemistry.* 2002; 67: 161–170. DOI: 10.1023/A:1014405828966.
17. *Iwama H.* Negative air ions created by water shearing improve erythrocyte deformability and aerobic metabolism. *Indoor Air.* 2004; 14 (4): 293–297. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00254.x.
18. *Voeikov V.L.* Reactive oxygen species (ROS) pathogens or sources of vital energy? Part 1. ROS in normal and pathologic physiology of living systems. *J. Altern. Complement. Med.* 2006; 12: 111–118. DOI: 10.1089/acm.2006.12.111.
19. *Wiszniewski A., Suchanowski A., Wielgomas B.* Effects of Air-Ions on Human Circulatory Indicators. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2014; 2: 521–531.
20. *Liu S., Li C., Chu M., Zhang W., Wang W., Wang Y., Guo X., Deng F.* Associations of forest negative air ions exposure with cardiac autonomic nervous function and the related metabolic linkages: a repeated-measure panel study. *Sci Total Environ.* 2022; 850: 158019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158019.
21. *Lazzerini F., Orlando M., Pra W.* Progress of negative air ions in health tourism environments applications. *Boletín Sociedad Española Hidrología Médica.* 2018; 33: 27–46. DOI: 10.23853/bsehm.2018.0450.
22. *Day D.B., Xiang J., Mo J., Clyde M.A., Weschler C.J., Li F., Gong J., Chung M., Zhang Y., Zhang J.* Combined use of an electrostatic precipitator and a high-efficiency particulate air filter in building ventilation systems: effects on cardiorespiratory health indicators in healthy adults. *Indoor Air.* 2018; 28 (3): 360–372. DOI: 10.1111/ina.12447.
23. *Tyagi A.K., Nirala B.K., Malik A., Singh K.* The effect of negative air ion exposure on *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens*. *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.* 2008; 43: 694–699. DOI: 10.1080/10934520801959831.
24. *Dobrynin D., Friedman G., Fridman A., Starikovskiy A.* Inactivation of bacteria using DC corona discharge: Role of ions and humidity. *New J. Phys.* 2011; 13: 103033. DOI: 10.1088/1367-2630/13/10/103033.
25. *Noyce J.O., Hughes J.F.* Bactericidal effects of negative and positive ions generated in nitrogen on *Escherichia coli*. *J. Electrostatics.* 2002; 54: 179–187. DOI: 10.1016/S0304-3886(01)00179-6.
26. *Timoshkin I.V., Maclean M., Wilson M.P., Given M.J., MacGregor S.J., Wang T., Anderson J.G.* Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2012; 40: 2322–2333. DOI: 10.1109/TPS.2012.2193621.
27. *Grinshpun S.A., Mainelis G., Trunov M., Adhikari A., Reponen T., Willeke K.* Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces. *Indoor Air.* 2005; 15 (4): 235–245. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00364.x>.
28. *Zhou P., Yang Y., Huang G., Lai A.C.K.* Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Build Environ.* 2018; 127: 204–210. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.11.006.
29. *Tanaka A., Zhang Y.* Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. *J. Agr. Saf. Health.* 1996; 2: 39–47. DOI: 10.13031/2013.19440.
30. *Grabarczyk Z.* Electiveness of indoor air cleaning with corona ionizers. *J. Electrostat.* 2001; 51: 278–283. DOI: 10.1016/S0304-3886(01)00058-4.
31. *Zhao X., Li Y., Hua T., Jiang P., Yin X., Yu J., Ding B.* Low-Resistance Dual-Purpose Air Filter Releasing Negative Ions and Effectively Capturing PM_{2.5}. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2017; 9 (13): 12054–12063. DOI: 10.1021/acsami.7b00351.
32. *Fei L., Yang P., Bin D., Xuerao L., Tingting L., Sha X.* Cognition of negative oxygen ions in air of residents near Fengxiang Wetland Park in Haikou city. *Chin J Convalescent Med.* 2020; 29 (08): 794–797.

33. Tyagi A.K., Malik A. Antimicrobial action of essential oil vapours and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *Int J Food Microbiol.* 2010; 143 (3): 205–210. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.023.
34. Seo K.H., Mitchell B.W., Holt P.S., Gast R.K. Bactericidal effects of negative air ions on airborne and surface *Salmonella enteritidis* from an artificially generated aerosol. *J Food Prot.* 2001; 64 (1): 113–116. DOI: 10.4315/0362-028x-64.1.113.
35. Escombe A.R., Moore D.A., Gilman R.H., Navincopa M., Ticona E., Mitchell B., Noakes C., Martínez C., Sheen P., Ramirez R., Quino W., Gonzalez A., Friedland J.S., Evans C.A. Upper-room ultraviolet light and negative air ionization to prevent tuberculosis transmission. *PLoS Med.* 2009; 6 (3): e43. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000043.
36. Zhang C., Cui H., Zhang C., Chen Z., Jiang X., Liu J., Wan Z., Li J., Liu J., Gao Y., Jin N., Guo Z. Aerosol Transmission of the Pandemic SARS-CoV-2 and Influenza A Virus Was Blocked by Negative Ions. *Front Cell Infect Microbiol.* 2022; 12: 897416. DOI: 10.3389/fcimb.2022.897416.
37. Темное А.В., Сирота Т.В., Ставровская И.Г., Фойгель А.Г., Кондрашова М.Н. Влияние супероксида воздуха на структурную организацию и фосфорилирующее дыхание митохондрий II. *Биохимия.* 1997; 62 (10): 1072–1079.
38. Kim M., Jeong G.J., Hong J.Y., Park K.Y., Lee M.K., Seo S.J. negative air ions alleviate particulate matter-induced inflammation and oxidative stress in the human keratinocyte cell line HaCaT. *Ann Dermatol.* 2021; 33 (2): 116–121. DOI: 10.5021/ad.2021.33.2.116.
39. Badhe R.V., Nipate S.S. The use of negative oxygen ion clusters [O²⁻(H₂O)_n] and bicarbonate ions [HCO₃⁻] as the supportive treatment of COVID-19 infections: A possibility. *Medical Hypotheses.* 2021; 154: 110658. DOI: 10.1016/j.mehy.2021.110658.
40. Comini S., Mandras N., Iannantuoni M.R., Menotti F., Musumeci A.G., Piersigilli G., Allizond V., Banche G., Cuffini A.M. Positive and Negative Ions Potently Inhibit the Viability of Airborne Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. *Microbiol Spectr.* 2021; 9 (3): e0065121. DOI: 10.1128/Spectrum.00651-21.
41. Davide De Forni, Barbara Poddesu, Giulia Cugia, Giovanni Gallizia, Massimo La Licata, Julianna Lisziewicz, James G. Chafouleas, Franco Lori. Low Ozone Concentration and Negative Ions for Rapid SARS-CoV-2 Inactivation. *Journal of Biotechnology and Biomedicine.* 2024; 7: 166–174.
42. Sirota T.V., Safronova V.G., Amelina A.G., Mal'tseva V.N., Avkhacheeva N.V., Sofin A.D., Ianin V.A., Mubarakshina E.K., Romanova L.K., Novoselov V.I. Effect of negative air ions on respiratory organs and blood. *Biofizika.* 2008; 53: 886–893. DOI: 10.1134/S0006350908050242.
43. Yamada R., Yanoma S., Akaike M., Tsuburaya A., Sugimasa Y., Takemiya S., Motohashi H., Rino Y., Takanashi Y., Imada T. Water-generated negative air ions activate NK cell and inhibit carcinogenesis in mice. *Cancer Lett.* 2006; 239: 190–197. DOI: 10.1016/j.canlet.2005.08.002.
44. Zhao J., Zhou F., Chen L. Negatively-charged aerosol improves burn wound healing by promoting eNOS-dependent angiogenesis. *American Journal of Translation Research.* 2018; 10 (1): 246–255.
45. Xie X., Chen L., Zhang Z.Q., Shi Y., Xie J. Clinical study on the treatment of chronic wound with negatively-charged aerosol. *Int J Clin Exp Med.* 2013; 6 (8): 649–654.
46. Yang Y., Yin D., Wang F., Hou Z., Fang Z. In situ eNOS/NO up-regulation—a simple and effective therapeutic strategy for diabetic skin ulcer. *Sci Rep.* 2016; 6: 30326. DOI: 10.1038/srep30326.
47. Власов А.П., Федаев А.А., Подеров В.Н., Коньшева О.В., Аксенова С.В., Харитонов Е.А. Патент РФ № 2161995С2; 2001.
48. Аксенова С.В. Роль липидмодифицирующего компонента в патогенетическом действии различных лечебных агентов при энтеральных повреждениях: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.16. Саранск; 2007. 25.
49. Аширова Н.А. Влияние ионизированного кислорода на некоторые показатели гомеостаза кишечника при острой ишемии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.16. Саранск; 2008. 18.
50. Беляев А.Н., Бояркин Е.В., Беспалов Н.Н., Костин С.В., Паркин П.Н., Бабась Д.В. Применение отрицательных аэроионов в лечении механической желтухи. Биорадикалы и антиоксиданты. 2021; 2: 25–27.
51. Беляев А.Н., Костин С.В., Бояркин Е.В. Патент РФ № 2774027; 2022.

52. *Беляев А.Н., Бояркин Е.В., Костин С.В., Беспалов Н.Н., Бабась Д.В., Фролова В.В.* Антиоксидантное действие отрицательных аэроионов в коррекции печеночной дисфункции при механической желтухе. *Анналы хирургической гепатологии.* 2023; 1: 48–52.
53. *Бояркин Е.В., Беляев А.Н., Беспалов Н.Н.* Способ лечения механической желтухи отрицательными аэроионами. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки.* 2021; 11: 125–131.
54. *Дикова О.В.* Отрицательные аэроионы кислорода в лечении экземы. *Вестник новых медицинских технологий.* 2009; 1: 71–74.
55. *Дикова О.В.* Применение димефосфона и аэроионотерапии при экземе. *Казанский медицинский журнал.* 2009; 3: 411–413.
56. *Iwama H, Ohmizo H, Obara S.* The relaxing effect of negative air ions on ambulatory surgery patients. *Can J Anaesth.* 2004; 51 (2): 187–188. DOI: 10.1007/BF03018784.
57. *Gui H.L., Ren G.L., Zhang X.H.* Atmospheric negative oxygen ions and their variation in different environments. *Heilongjiang Meteorol.* 2018; 35 (01): 18–19.
58. *Liu S., Huang Q., Wu Y., Song Y., Dong W., Chu M., Yang D., Zhang X., Zhang J., Chen C., Zhao B., Shen H., Guo X., Deng F.* Metabolic linkages between indoor negative air ions, particulate matter and cardiorespiratory function: a randomized, double-blind crossover study among children. *Environ Int.* 2020; 138: 105663. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105663.

Поступила в редакцию 25.09.2024; принята 08.11.2024.

Авторский коллектив

Беляев Александр Назарович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей хирургии имени профессора Н.И. Атясова, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва». 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68; e-mail: belyaevan@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0698-3007>.

Бояркин Евгений Викторович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей хирургии имени профессора Н.И. Атясова, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва». 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68; e-mail: boyarkin_ev@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3698-4465>.

Полькина Ирина Сергеевна – ординатор кафедры общей хирургии имени профессора Н.И. Атясова, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва». 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68; e-mail: polckinairina@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6012-3617>.

Романов Михаил Дмитриевич – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры госпитальной хирургии, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва». 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68; e-mail: mdromanov@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9646-4007>.

Кимяев Евгений Викторович – аспирант кафедры общей хирургии имени профессора Н.И. Атясова, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва». 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68; e-mail: kimyaev1@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0384-4829>.

Образец цитирования

Беляев А.Н., Бояркин Е.В., Полькина И.С., Романов М.Д., Кимяев Е.В. Перспективы использования отрицательных аэроионов в хирургической практике. *Ульяновский медико-биологический журнал.* 2025; 1: 33–43. DOI: 10.34014/2227-1848-2025-1-33-43.

PROSPECTS FOR NEGATIVE AIR IONS IN SURGICAL PRACTICE

A.N. Belyaev, E.V. Boyarkin, I.S. Pol'kina, M.D. Romanov, E.V. Kimyaev

National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev, Saransk, Russia

Negative air ions (NAIs) are negatively charged gas molecules in the air. They are highly potential and have a therapeutic effect, as they normalize psychological health and general well-being, increase performance under physical exertion, improve the respiratory function of the lungs and blood. An important aspect of NAI is charge neutralization of dust particles, aeroallergens and microorganisms in the indoor air. The mechanism of NAI therapeutic action involves the activation of antioxidant system, and microbe and virus filtering by oxidative damage to their lipid and nucleic complexes. Existing studies on NAI effectiveness in surgical diseases indicate the prospects of further research in this area.

Key words: negative air ions, microorganisms, oxidative damage, wounds.

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

Author contributions

Research concept and design: Belyaev A.N.

Literature search, participation in the study, data processing: Boyarkin E.V., Pol'kina I.S., Kimyaev I.V.

Data analysis and interpretation: Belyaev A.N., Romanov M.D.

Text writing and editing: Belyaev A.N., Romanov M.D.

References

1. Laza V. The environment and gaseous ions. *Cent. Eur. J. Occup. Environ. Med.* 2000; 6: 3–10.
2. Goldstein N., Arshavskaya T.V. Is atmospheric super oxide Vitally necessary? Accelerated death of animals in a quasi-neutral electric atmosphere. *Z. Naturforsch C.* 1997; 52: 396–404. DOI: 10.1515/znc-1997-5-619.
3. Jia X., Yang X., Hu D., Dong W., Yang F., Liu Q., Li H., Pan L., Shan J., Niu W., Wu S., Deng F., Guo X. Short-term effects of particulate matter in metro cabin on heart rate variability in young healthy adults: impacts of particle size and source. *Environ Res.* 2018; 167: 292–298. DOI: 10.1016/j.envres.2018.07.017.
4. Gui H.L., Ren G.L., Zhang X.H. Atmospheric negative oxygen ions and their variation in different environments. *Heilongjiang Meteorol.* 2018; 35 (01): 18–19.
5. Krueger A.P., Reed E.J. Biological impact of small air ions. *Science.* 1976; 193: 1209–1213. DOI: 10.1126/science.959834.
6. Flory R., Ametepe J., Bowers B. A randomized, placebo-controlled trial of bright light and high-density negative air ions for treatment of seasonal affective disorder. *Psychiatry Res.* 2010; 177 (1-2): 101–108. DOI: 10.1016/j.psychres.2008.08.011.
7. Ogungbe A.S., Akintoye O.H., Idowu B.A. Effects of gaseous ions on the environment and human performance. *Trends Appl. Sci. Res.* 2011; 6: 130–133. DOI: 10.3923/tasr.2011.130.133.
8. Pino O., Ragione F.L. There's something in the air: Empirical evidence for the effects of negative air ions (NAI) on psychophysiological state and performance. *Res. Psychol. Behav Sci.* 2013; 1: 48–53.
9. Perez V., Alexander D.D., Bailey W.H. Air ions and mood outcomes: A review and meta-analysis. *BMC Psychiatry.* 2013; 13: 29. DOI: 10.1186/1471-244X-13-29.
10. Jiang S.Y., Ma A., Ramachandran S. Negative air ions and their effects on human health and air quality improvement. *Int J Mol Sci.* 2018; 19 (10): 2966. DOI: 10.3390/ijms19102966.
11. Chu C.H., Chen S.R., Wu C.H., Cheng Y.C., Cho Y.M., Chang Y.K. The effects of negative air ions on cognitive function: an event-related potential (ERP) study. *Int J Biometeorol.* 2019; 63 (10): 1309–1317. DOI: 10.1007/s00484-019-01745.

12. Nimmerichter A., Holdhaus J., Mehnen L., Vidotto C., Loidl M., Barker A.R. Effects of negative air ions on oxygen uptake kinetics, recovery and performance in exercise: a randomized, double-blinded study. *Int J Biometeorol.* 2014; 58 (7): 1503–1512. DOI: 10.1007/s00484-013-0754-8.
13. Su Y.F., Wenjie L., Chunlei Z., Hui L. Effects of load breathing training combined with air negative oxygen ion intervention on lung function in smokers with moderate and mild chronic obstructive pulmonary disease. *Chin J Gerontol.* 2018; 38 (13): 3134–3136.
14. Wenjie L., Chunlei Z., Hui L. Effects of load breathing training combined with air negative oxygen ion intervention on lung function in smokers with moderate and mild chronic obstructive pulmonary disease. *Chin J Gerontol.* 2018; 38 (13): 3134–3136.
15. Wen L.Y. Effect of air negative oxygen ion concentration on respiratory training of students with poor pulmonary function. *Mod Prev Med.* 2017; 44 (07): 1187–1190.
16. Goldstein N. Reactive oxygen species as essential components of ambient air. *Biochemistry.* 2002; 67: 161–170. DOI: 10.1023/A:1014405828966.
17. Iwama H. Negative air ions created by water shearing improve erythrocyte deformability and aerobic metabolism. *Indoor Air.* 2004; 14 (4): 293–297. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00254.x.
18. Voeikov V.L. Reactive oxygen species (ROS) pathogens or sources of vital energy? Part 1. ROS in normal and pathologic physiology of living systems. *J. Altern. Complement. Med.* 2006; 12: 111–118. DOI: 10.1089/acm.2006.12.111.
19. Wiszniewski A., Suchanowski A., Wielgomas B. Effects of Air-Ions on Human Circulatory Indicators. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2014; 2: 521–531.
20. Liu S., Li C., Chu M., Zhang W., Wang W., Wang Y., Guo X., Deng F. Associations of forest negative air ions exposure with cardiac autonomic nervous function and the related metabolic linkages: a repeated-measure panel study. *Sci Total Environ.* 2022; 850: 158019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158019.
21. Lazzerini F., Orlando M., Pra W. Progress of negative air ions in health tourism environments applications. *Boletín Sociedad Española Hidrología Médica.* 2018; 33: 27–46. DOI: 10.23853/bsehm.2018.0450.
22. Day D.B., Xiang J., Mo J., Clyde M.A., Weschler C.J., Li F., Gong J., Chung M., Zhang Y., Zhang J. Combined use of an electrostatic precipitator and a high-efficiency particulate air filter in building ventilation systems: effects on cardiorespiratory health indicators in healthy adults. *Indoor Air.* 2018; 28 (3): 360–372. DOI: 10.1111/ina.12447.
23. Tyagi A.K., Nirala B.K., Malik A., Singh K. The effect of negative air ion exposure on *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens*. *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.* 2008; 43: 694–699. DOI: 10.1080/10934520801959831.
24. Dobrynin D., Friedman G., Fridman A., Starikovskiy A. Inactivation of bacteria using DC corona discharge: Role of ions and humidity. *New J. Phys.* 2011; 13: 103033. DOI: 10.1088/1367-2630/13/10/103033.
25. Noyce J.O., Hughes J.F. Bactericidal effects of negative and positive ions generated in nitrogen on *Escherichia coli*. *J. Electrostatics.* 2002; 54: 179–187. DOI: 10.1016/S0304-3886(01)00179-6.
26. Timoshkin I.V., Maclean M., Wilson M.P., Given M.J., MacGregor S.J., Wang T., Anderson J.G. Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2012; 40: 2322–2333. DOI: 10.1109/TPS.2012.2193621.
27. Grinshpun S.A., Mainelis G., Trunov M., Adhikari A., Reponen T., Willeke K. Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces. *Indoor Air.* 2005; 15 (4): 235–245. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00364.x>.
28. Zhou P., Yang Y., Huang G., Lai A.C.K. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Build Environ.* 2018; 127: 204–210. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.11.006.
29. Tanaka A., Zhang Y. Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. *J. Agr. Saf. Health.* 1996; 2: 39–47. DOI: 10.13031/2013.19440.
30. Grabarczyk Z. Effectiveness of indoor air cleaning with corona ionizers. *J. Electrostat.* 2001; 51: 278–283. DOI: 10.1016/S0304-3886(01)00058-4.
31. Zhao X., Li Y., Hua T., Jiang P., Yin X., Yu J., Ding B. Low-Resistance Dual-Purpose Air Filter Releasing Negative Ions and Effectively Capturing PM_{2.5}. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2017; 9 (13): 12054–12063. DOI: 10.1021/acsami.7b00351.
32. Fei L., Yang P., Bin D., Xuerao L., Tingting L., Sha X. Cognition of negative oxygen ions in air of residents near Fengxiang Wetland Park in Haikou city. *Chin J Convalescent Med.* 2020; 29 (08): 794–797.

33. Tyagi A.K., Malik A. Antimicrobial action of essential oil vapours and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *Int J Food Microbiol.* 2010; 143 (3): 205–210. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.023.
34. Seo K.H., Mitchell B.W., Holt P.S., Gast R.K. Bactericidal effects of negative air ions on airborne and surface *Salmonella enteritidis* from an artificially generated aerosol. *J Food Prot.* 2001; 64 (1): 113–116. DOI: 10.4315/0362-028x-64.1.113.
35. Escombe A.R., Moore D.A., Gilman R.H., Navincopa M., Ticona E., Mitchell B., Noakes C., Martínez C., Sheen P., Ramirez R., Quino W., Gonzalez A., Friedland J.S., Evans C.A. Upper-room ultraviolet light and negative air ionization to prevent tuberculosis transmission. *PLoS Med.* 2009; 6 (3): e43. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000043.
36. Zhang C., Cui H., Zhang C., Chen Z., Jiang X., Liu J., Wan Z., Li J., Liu J., Gao Y., Jin N., Guo Z. Aerosol Transmission of the Pandemic SARS-CoV-2 and Influenza A Virus Was Blocked by Negative Ions. *Front Cell Infect Microbiol.* 2022; 12: 897416. DOI: 10.3389/fcimb.2022.897416.
37. Temnoe A.V., Sirota T.V., Stavrovskaya I.G., Foygel' A.G., Kondrashova M.N. Vliyanie superoksida vozdukh na strukturnuyu organizatsiyu i fosforiliruyushchee dykhanie mitokhondriy II [Effect of air superoxide on the structure and phosphorylating respiration of mitochondria II]. *Biokhimiya.* 1997; 62 (10): 1072–1079 (in Russian).
38. Kim M., Jeong G.J., Hong J.Y., Park K.Y., Lee M.K., Seo S.J. negative air ions alleviate particulate matter-induced inflammation and oxidative stress in the human keratinocyte cell line HaCaT. *Ann Dermatol.* 2021; 33 (2): 116–121. DOI: 10.5021/ad.2021.33.2.116.
39. Badhe R.V., Nipate S.S. The use of negative oxygen ion clusters [O₂-(H₂O)_n] and bicarbonate ions [HCO₃⁻] as the supportive treatment of COVID-19 infections: A possibility. *Medical Hypotheses.* 2021; 154: 110658. DOI: 10.1016/j.mehy.2021.110658.
40. Comini S., Mandras N., Iannantuoni M.R., Menotti F., Musumeci A.G., Piersigilli G., Allizond V., Banche G., Cuffini A.M. Positive and Negative Ions Potently Inhibit the Viability of Airborne Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. *Microbiol Spectr.* 2021; 9 (3): e0065121. DOI: 10.1128/Spectrum.00651-21.
41. Davide De Forni, Barbara Poddesu, Giulia Cugia, Giovanni Gallizia, Massimo La Licata, Julianna Lisziewicz, James G. Chafouleas, Franco Lori. Low Ozone Concentration and Negative Ions for Rapid SARS-CoV-2 Inactivation. *Journal of Biotechnology and Biomedicine.* 2024; 7: 166–174.
42. Sirota T.V., Safronova V.G., Amelina A.G., Mal'tseva V.N., Avkhacheeva N.V., Sofin A.D., Ianin V.A., Mubarakshina E.K., Romanova L.K., Novoselov VI. Effect of negative air ions on respiratory organs and blood. *Biofizika.* 2008; 53: 886–893. DOI: 10.1134/S0006350908050242.
43. Yamada R., Yanoma S., Akaike M., Tsuburaya A., Sugimasa Y., Takemiya S., Motohashi H., Rino Y., Takanashi Y., Imada T. Water-generated negative air ions activate NK cell and inhibit carcinogenesis in mice. *Cancer Lett.* 2006; 239: 190–197. DOI: 10.1016/j.canlet.2005.08.002.
44. Zhao J., Zhou F., Chen L. Negatively-charged aerosol improves burn wound healing by promoting eNOS-dependent angiogenesis. *American Journal of Translation Research.* 2018; 10 (1): 246–255.
45. Xie X., Chen L., Zhang Z.Q., Shi Y., Xie J. Clinical study on the treatment of chronic wound with negatively-charged aerosol. *Int J Clin Exp Med.* 2013; 6 (8): 649–654.
46. Yang Y., Yin D., Wang F., Hou Z., Fang Z. In situ eNOS/NO up-regulation—a simple and effective therapeutic strategy for diabetic skin ulcer. *Sci Rep.* 2016; 6: 30326. DOI: 10.1038/srep30326.
47. Vlasov A.P., Fedaev A.A., Poderov V.N., Konysheva O.V., Aksenova S.V., Kharitonov E.A. *Patent RF № 2161995S2* [RF Patent No. 2161995C2; 2001]; 2001 (in Russian)
48. Aksenova S.V. *Rol' lipidomodifitsiruyushchego komponenta v patogeneticheskom deystvii razlichnykh lechebnykh agentov pri enteral'nykh povrezhdeniyakh* [The role of the lipid-modifying component in the pathogenesis of various therapeutic agents in enteric lesions]: avtoref. dis. ... d-ra med. nauk: 14.00.16. Saransk; 2007. 25 (in Russian).
49. Ashirova N.A. *Vliyanie ionizirovannogo kisloroda na nekotorye pokazateli gomeostaza kishchnika pri ostroy ishemii* [Effect of ionized oxygen on some parameters of intestinal homeostasis in acute ischemia]: avtoref. dis. ... kand. med. nauk: 14.00.16. Saransk; 2008. 18 (in Russian).
50. Belyaev A.N., Boyarkin E.V., Bepalov N.N., Kostin S.V., Parkin P.N., Babas' D.V. *Primenenie otritsatel'nykh aeroionov v lechenii mekhanicheskoy zheltukhi* [Use of negative air ions in mechanical jaundice treatment]. *Bioradikaly i antioksidanty.* 2021; 2: 25–27 (in Russian).

51. Belyaev A.N., Kostin S.V., Boyarkin E.V. *Patent RF № 2774027* [RF Patent No. 2774027]; 2022 (in Russian).
52. Belyaev A.N., Boyarkin E.V., Kostin S.V., Bepalov N.N., Babas' D.V., Frolova V.V. Antioksidantnoe deystvie otritsatel'nykh aeroionov v korrektsii pechenochnoy disfunktsii pri mekhanicheskoy zheltukhe [Antioxidant effect of negative air ions in correction of hepatic dysfunction in mechanical jaundice]. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii*. 2023; 1: 48–52 (in Russian).
53. Boyarkin E.V., Belyaev A.N., Bepalov N.N. Sposob lecheniya mekhanicheskoy zheltukhi otritsatel'nymi aeroionami. Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki [Method for treatment of mechanical jaundice with negative air ions]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2021; 11: 125–131 (in Russian).
54. Dikova O.V. Otritsatel'nye aeroiony kisloroda v lechenii ekzemy [Negative oxygen air ions in eczema treatment]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2009; 1: 71–74 (in Russian).
55. Dikova O.V. Primenenie dimefosfona i aeroionoterapii pri ekzeme [Dimphosphone and aeroionotherapy in eczema treatment]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2009; 3: 411–413 (in Russian).
56. Iwama H, Ohmizo H, Obara S. The relaxing effect of negative air ions on ambulatory surgery patients. *Can J Anaesth*. 2004; 51 (2): 187–188. DOI: 10.1007/BF03018784.
57. Gui H.L., Ren G.L., Zhang X.H. Atmospheric negative oxygen ions and their variation in different environments. *Heilongjiang Meteorol*. 2018; 35 (01): 18–19.
58. Liu S., Huang Q., Wu Y., Song Y., Dong W., Chu M., Yang D., Zhang X., Zhang J., Chen C., Zhao B., Shen H., Guo X., Deng F. Metabolic linkages between indoor negative air ions, particulate matter and cardiorespiratory function: a randomized, double-blind crossover study among children. *Environ Int*. 2020; 138: 105663. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105663.

Received September 25, 2024; accepted November 08, 2024.

Information about the authors

Belyaev Aleksandr Nazarovich, Doctor of Science (Medicine), Professor, Head of the Chair of General Surgery named after Professor N.I. Atyasov, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. 430005, Russia, Saransk, Bol'shevistskaya St., 68; e-mail: belyaevan@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0698-3007>.

Boyarkin Evgeniy Viktorovich, Candidate of Science (Medicine), Associate Professor, Chair of General Surgery named after Professor N.I. Atyasov, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. 430005, Russia, Saransk, Bol'shevistskaya St., 68; e-mail: boyarkin_ev@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3698-4465>.

Pol'kina Irina Sergeevna, Resident, Chair of General Surgery named after Professor N.I. Atyasov, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. 430005, Russia, Saransk, Bol'shevistskaya St., 68; e-mail: polckinairina@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6012-3617>.

Romanov Mikhail Dmitrievich, Doctor of Science (Medicine), Professor, Chair of Hospital Surgery, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. 430005, Russia, Saransk, Bol'shevistskaya St., 68; e-mail: mdromanov@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9646-4007>.

Kimyaev Evgeniy Viktorovich, Postgraduate Student, Chair of General Surgery named after Professor N.I. Atyasov, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. 430005, Russia, Saransk, Bol'shevistskaya St., 68; e-mail: kimyaev1@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0384-4829>.

For citation

Belyaev A.N., Boyarkin E.V., Pol'kina I.S., Romanov M.D., Kimyaev E.V. Perspektivy ispol'zovaniya otritsatel'nykh aeroionov v khirurgicheskoy praktike [Prospects for negative air ions in surgical practice]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2025; 1: 33–43. DOI: 10.34014/2227-1848-2025-1-33-43 (in Russian).