

Е.В. Голобородько, А.С. Кретов, Д.Ю. Макаров

НЕМЕДИКАМЕНТОЗНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Евгений Владимирович Голобородько, e-mail: egoloborodko@fmbcfmba.ru

РЕФЕРАТ

Ионизирующее излучение представляет значительную угрозу для здоровья, вызывая окислительный стресс, повреждение ДНК и системное воспаление. В дополнение к фармакологическим средствам защиты – радиопротекторам – возрастает интерес к немедикаментозным стратегиям, направленным на усиление эндогенной защиты. В настоящем обзоре систематизированы современные данные о немедикаментозных методах повышения радиорезистентности, включая диету, коррекцию образа жизни и применение природных биологически активных соединений. Проанализированы механизмы их действия, такие как активация антиоксидантных систем (Nrf2-путь), репарация ДНК, модуляция иммунного ответа и микробиома. Наиболее эффективным является комбинированное применение нескольких подходов.

Ключевые слова: радиорезистентность, повышение, немедикаментозные методы, окислительный стресс, антиоксиданты, ограничение калорий, Nrf2, микробиом, обзор

Для цитирования: Голобородько Е.В., Кретов А.С., Макаров Д.Ю. Немедикаментозные методы повышения радиорезистентности (обзор литературы) // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 3. С. 30–33. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-3-30-33

E.V. Goloborodko, A.S. Kretov, D.Yu. Makarov

Non-Drug Methods of Increasing the Radioresistance (Literature Review)

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: E.V. Goloborodko, e-mail: egoloborodko@fmbcfmba.ru

ABSTRACT

Ionizing radiation poses a significant health threat, causing oxidative stress, DNA damage, and systemic inflammation. In addition to pharmacological protective measures and radioprotectors, interest in non-pharmacological strategies aimed at enhancing endogenous defenses is growing. This review systematizes current data on non-pharmacological methods for enhancing radioresistance, including diet, lifestyle modification, and the use of natural bioactive compounds. We analyze their mechanisms of action, including activation of antioxidant systems (the Nrf2 pathway), induction of DNA repair, and modulation of the immune response and microbiome. A combination of several approaches is most effective.

Keywords: radioresistance, enhancing, non-drug approaches, oxidative stress, antioxidants, calorie restriction, Nrf2, microbiome, review

For citation: Goloborodko EV, Kretov AS, Makarov DYu. Non-Drug Methods of Increasing the Radioresistance (Literature Review). Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(3):30–33. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-3-30-33

Введение

Проблема защиты от повреждающего действия ионизирующего излучения сохраняет свою актуальность в связи с риском радиационных аварий, профессиональным облучением и применением лучевой терапии в онкологии [1, 2]. Традиционные фармакологические радиопротекторы зачастую обладают выраженными побочными эффектами, что ограничивает их широкое профилактическое применение. В этой связи немедикаментозные методы, направленные на активацию естественных механизмов устойчивости организма, представляются перспективным дополнением к существующим методам и средствам радиационной защиты [3]. Особенную актуальность данный подход приобретает в свете представлений о том, что в развитии пострадиационных изменений на уровне целого организма играют особую роль общебиологические процессы наследственного и приобретенного характера, общие для широкого кру-

га воздействий и нестрого специфические для радиации [4].

Цель данного обзора – систематизировать и проанализировать современные научные данные о немедикаментозных стратегиях повышения радиорезистентности.

Результаты и обсуждение

Немедикаментозные методы повышения радиорезистентности организма можно условно разделить на три группы, к которым относятся: стратегия питания, применение биологически активных соединений и соблюдение определенного режима.

1. Стратегии питания

Ионизирующее излучение наносит ущерб организму в основном через окислительный стресс (генерация свободных радикалов) и воспаление. Пища не может бло-

кировать воздействие ионизирующего излучения подобно физическим методам защиты, но может выполнять две ключевые функции: радиопротекция посредством укрепления естественных антиоксидантных систем организма для нейтрализации возникающих свободных радикалов, и стимуляция репарации и детоксикации посредством активации систем восстановления ДНК и выведения радионуклидов.

1.1. Обогащение рациона природными антиоксидантами

Рацион, обогащенный природными антиоксидантами, позволит уменьшить негативные последствия ионизирующего излучения, опосредованные окислительным стрессом. Кроме того, данный подход требует минимальных дополнительных затрат при коррекции стандартного рациона.

Полифенолы (флавоноиды, антоцианы, куркумин, ресвератрол) и каротиноиды, содержащиеся в растительной пище, являются ключевыми компонентами защиты. Кроме того, их механизм действия выходит за рамки прямого антиоксидантного действия. Они активируют эндогенные антиоксидантные системы через Nrf2-путь (*Nuclear factor erythroid 2-related factor 2*), который регулирует экспрессию более 200 генов, включая гены глутатионпероксидазы, супероксиддисмутазы и NAD(P)H-хиноноксидоредуктазы 1 [5].

Исследование на животных моделях показало, что предварительное введение куркумина в дозе 30 мг/кг массы тела значительно снижало частоту хромосомных aberrаций в костном мозге и повышало выживаемость у мышей после гамма-облучения в дозе 10 Гр [6].

Полифенолы содержатся, например, в следующих продуктах: куркумин – в куркуме; ресвератрол – в винограде, кверцетин – в яблоках и луке, антоцианы – в ягодах, сульфорофан – в брокколи и других крестоцветных.

Пероральное применение высокомолекулярного пигмента природного происхождения меланина, содержащегося, например, в гречихе, в течение 30 сут после гамма и рентгеновского облучения мышей в дозе 6,5–7,5 Гр позволило увеличить выживаемость животных на 13–18% по сравнению с контролем [7, 8].

1.2. Ограничение калорийности и прерывистое голодание

Умеренное (20–30%) ограничение калорийности рациона и режимы прерывистого голодания являются мощными индукторами метаболической и клеточной адаптации. Активация сиртуинов и АМФ-активируемой протеинкиназы вследствие такого режима питания приводят к увеличению интенсивности утилизации поврежденных клеточных компонентов, что улучшает репарацию ДНК и способствует выживанию клеток в условиях стресса [9].

Голодание и ограничение калорийности пищи обладают радиозащитным эффектом у грызунов, который заключается в снижении заболеваемости злокачественными новообразованиями и повышении выживаемости [10].

В исследованиях А.А. Иванова с соавт. (2024) показано, что ограничение объема питания до 40% у мышей снижает негативное влияние однократного рентгеновского облучения в дозе 2 и 6,5 Гр по показателям 30-суточной выживаемости, повышается митотическая активность клеток костного мозга и снижается уровень цитогенетических нарушений [11].

Способ может быть противопоказан для ослабленных пациентов, при беременности, эндокринных нарушениях.

1.3. Коррекция микробиома кишечника

Кишечник является одним из наиболее радиочувствительных органов. Поддержание его барьерной функции критически важно для предотвращения бактериальной транслокации и сепсиса. Пробиотики (штаммы *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*) и пребиотики (инулин, пектины) поддерживают целостность плотных контактов кишечного эпителия, подавляют рост патогенных бактерий и модулируют системный иммунный ответ [12]. В исследовании Ciorba et al. (2012) показано, что пробиотик *Lactobacillus rhamnosus GG* значительно снижал тяжесть радиационного энтерита и сохранял структуру слизистой оболочки кишечника у мышей при гамма-облучении с мощностью дозы 80,7 сГр/мин при общей дозе 12 Гр [13].

Новое поколение пробиотиков, включающее такие штаммы бактерий, как *Akermansia muciniphila* и *Faecalibacterium prausnitzii*, которые естественным образом встречаются в кишечнике человека, но традиционно не используются в качестве пробиотиков, поддерживает барьерную функцию кишечника и обладает противовоспалительными свойствами. Исследования на животных моделях показали, что добавление этих бактерий снижает кишечную проницаемость и ослабляет воспаление после радиационного воздействия [14].

Наиболее перспективным представляется применение смеси пребиотиков (неперевариваемых пищевых ингредиентов, которые избирательно стимулируют рост или активность полезных микроорганизмов кишечника, таких как олигосахариды, инулин и резистентные крахмалы) и пробиотиков (олигосахариды, *L. acidophilus* и *Lactobacillus casei*) [14].

Вместе с тем, данный подход следует применять с осторожностью при тяжелой иммуносупрессии из-за высокого риска бактериемии.

2. Применение биологически активных соединений, получаемых в концентрированном виде из продуктов растительного или животного происхождения, повышающих неспецифическую резистентность организма к низкоинтенсивному излучению

2.1. Мелатонин

Мелатонин является многофункциональным радиопротектором. В основе механизма его действия лежит прямая нейтрализация реактивных форм кислорода и азота, стимуляция синтеза глутатиона и антиоксидантных ферментов (глутатионпероксидазы), а также подавление провоспалительного фактора *NF-κB* [15]. В рандомизированном контролируемом клиническом исследовании показано, что применение мелатонина значительно снижало частоту и тяжесть радиационно-индуцированного мукозита полости рта и дерматита у пациентов, проходящих лучевую терапию [16].

2.2. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты

Эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты обладают мощным противовоспалительным потенциалом. Конкурируя с арахидоновой кислотой, омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты приводят к образованию менее активных эйкозаноидов (простагландинов серии 3) и специализированных проразрешающих медиаторов (резолвины, протектины), которые активно подавляют воспаление [17].

Исследования на животных моделях демонстрируют, что диета, обогащенная омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами, снижает выраженность радиационных поражений костного мозга и тощего кишечника [18].

Вместе с тем, доказательная база в отношении данного подхода недостаточна для широкого внедрения.

2.3. Биологически активные добавки

Они содержат природные антиоксиданты и компоненты антиоксидантной системы клеток (витамины С, Е, А, биофлавоноиды, микроэлементы и др.), природные стимуляторы синтеза белка и нуклеиновых кислот (нуклеозиды, инозин), аминокислоты, пищевые добавки в виде белковых гидролизатов, антигипоксанты (мелатонин, мексидол и др.) [19].

В современных исследованиях доказана перспективность применения данных средств, в том числе в контексте радиационной защиты человека при длительных космических полетах [20].

2.4. Вещества, повышающие неспецифическую сопротивляемость организма к действию экстремальных факторов

Перспективной представляется разработка биологически активных добавок, полученных из животных или растительных организмов, обладающих высокой устойчивостью к действию ионизирующего излучения. Например, экстрактов из синезеленых водорослей [21, 22]. Также показана эффективность применения фитоадаптогенов на основе комплексных сборов лекарственных растений [23, 24].

Недостатком этого подхода является высокая стоимость при ограниченной доказательной базе.

2.5. Средства выведения депонированных в организме радиоактивных веществ

В современной научной литературе предлагается множество вариантов применения в составе пищи биологически активных веществ из продуктов природного происхождения для ускорения выведения радионуклидов, в основном, на основе морских водорослей, альгинатов. В исследованиях показана эффективность применения данных добавок, их хороша переносимость и приемлемые органолептические свойства [25].

3. Дозированные физические нагрузки

Регулярные аэробные нагрузки действуют по принципу гормезиса – умеренный стресс приводит к активации адаптационных систем. Физические упражнения индуцируют продукцию эндогенных антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы) и способствуют поддержанию метаболического здоровья, что повышает общую резистентность к различным стрессорам, включая радиацию [26].

Показано, что проведение аэробных физических упражнений у пациентов с раком молочной железы или с раком предстательной железы до, во время или после сеанса лучевой терапии несколько раз в неделю в течение нескольких недель приводило к снижению утомляемости, а также оказывало положительное психологическое воздействие [27]. Кроме того, данный подход не требует финансовых вложений.

Заключение

Представленные в обзоре немедикаментозные методы повышения радиорезистентности обладают значительным потенциалом благодаря их способности активировать фундаментальные механизмы клеточной защиты и адаптации. Кроме того, представленные в обзоре методы обладают разным соотношением эффективность–безопасность–стоимость. Наиболее перспективным представляется не отдельное применение одного метода, а их синергетическая комбинация, например, обогащенная антиоксидантами диета на фоне умеренного ограничения калорий и регулярной физической активности.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию протоколов применения данных подходов, фармакоэкономический анализ использования комбинированных схем, разработку персонализированных алгоритмов выбора, изучение отдаленных последствий длительного применения и валидацию в контролируемых клинических условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васин М.В. Противолучевые лекарственные средства. М.: РМАНПО Минздрава России, 2010. 180 с.
2. Dainiak N., Gent R.N., Carr Z., Schneider R., Bader J., et al. Literature Review and Global Consensus on Management of Acute Radiation Syndrome Affecting Nonhematopoietic Organ Systems // Disaster Med Public Health Prep. 2011. V.5. No.3. P. 183-201. Doi: 10.1001/dmp.2011.73.
3. Weiss J.F., Landauer M.R. Radioprotection by Antioxidants // Annals of the New York Academy of Sciences. 2003. V.899. No.1. P. 44-60. Doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06175.x.
4. Гуськова А.К. Положительное воздействие радиации на организм. Возможно ли это? // Бюллетень по атомной энергии. 2006. №3. С. 53.
5. Ma Q. Role of Nrf2 in Oxidative Stress and Toxicity // Annual Review of Pharmacology and Toxicology. 2013. No.53. P. 401-426. Doi: 10.1146/annurev-pharmtox-011112-140320.
6. Jagetia G.C. Radioprotective Potential of Plants and Herbs against the Effects of Ionizing Radiation // Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition. 2007. V.40. No.2. P. 74-81. Doi: 10.3164/jcbs.40.74.
7. Бушманов А.Ю., Иванов А.А., Андрианова И.Е., Ставракова Н.М., Булыгина Т.М., Дорожкина О.В. Противолучевые свойства меланина // Саратовский научно-медицинский журнал. 2014. Т.10. №4. С. 828-832.
8. Иванов А.А., Андрианова И.Е., Булыгина Т.М., Дорожкина О.В., Мальцев В.Н., Ставракова Н.М., Шальнова Г.А., Бушманов А.Ю. Фармакологические эффекты меланина у облученных мышей // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2015. Т.60. №5. С. 5-11.
9. Yun J., Finkel T. Mitohormesis // Cell Metabolism. 2014. V.19. No.5. P. 757-766. Doi: 10.1016/j.cmet.2014.01.011.
10. Valayer S., Kim D., Fogtman A., Straube U., Winnard A., Caplan N., Green D.A., van Leeuwen F.H.P., Weber T. The Potential of Fasting and Caloric Restriction to Mitigate Radiation Damage—a Systematic Review // Front Nutr. 2020. V.18. No.7. P. 584543. Doi: 10.3389/fnut.2020.584543.
11. Никитенко О.В., Бычкова Т.М., Караулова Т.А., Парфенова И.М., Андрианова И.Е., Иванов А.А. Влияние различных режимов питания в эксперименте на интактных и облученных мышцах // Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов: Материалы международной конференции. Дубна, 16-18 октября 2024 г. Дубна: Объединенный институт ядерных исследований, 2024. С. 147-149.
12. Ciorba M.A. A Gastroenterologist's Guide to Probiotics // Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2012. V.10. No.9. P. 960-968. Doi: 10.1016/j.cgh.2012.03.024.
13. Ciorba M.A. Lactobacillus Probiotic Protects Intestinal Epithelium from Radiation Injury in vivo // American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology. 2012. V.302. No.6. P. G678-G686. Doi: 10.1152/ajpgi.00266.2011.
14. Zhu H., Yan X., Shi H., Chen Y., Huang C., Zhou Y., Yan S., Zhang N., Wang J., Zhang J., Han C., Chen Q., Zhao J., Cao M. The Role of Gut Microbiota and Its Metabolites in Mitigating Radiation Damage // Microorganisms. 2025. V.13. No.9. P. 2151. Doi: 10.3390/microorganisms13092151.
15. Reiter R.J. Melatonin as a Radioprotective Agent: a Review // International Journal of Radiation Oncology Biology Physics. 2016. V.97. No.2. P. 220-228. Doi: 10.1016/j.ijrobp.2016.07.034.
16. Elsabagh H.H., Moussa E., Mahmoud S.A., Elsaka R.O., Abdelrahman H. Efficacy of Melatonin in Prevention of Radiation-Induced Oral Mucositis: a Randomized Clinical Trial // Oral Dis. 2020. V.26. No.3. P. 566-572. Doi: 10.1111/odi.13265.
17. Calder P.C. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Inflammatory Processes: Nutrition or Pharmacology // British Journal of Clinical Pharmacology. 2013. V.75. No.3. P. 645-662. Doi: 10.1111/j.1365-2125.2012.04374.x.
18. Maqsoodur Rashid A., Ramalingam L., Al-Jawadi A., Moustaid-Moussa N., Moussa H. Low Dose Radiation, Inflammation, Cancer and Chemoprevention // Int J Radiat Biol. 2019. V.95. No.4. P. 506-515. Doi: 10.1080/09553002.2018.1484194.
19. Изучение влияния мексидола на гемопоэз у животных, подвергнутых сочетанному воздействию ионизирующей радиации и эмоционального стресса: Отчет. М.: ГИЦ – Институт биофизики ФМБА России, 2002. 23 с.

20. Ушаков И.Б., Васин М.В. Фармакохимическая защита в дальнем космосе: современный взгляд // Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. Т.59. №2. С. 150-160.
21. Коломиец О.Д., Дмитриев А.П., Гродзинский Д.Е. и др. Механизмы радиостойчивости растений. Киев: Наук. думка, 1976. 167 с.
22. Акинцев А.А., Баренбойм Г.М., Кириченко В.Е., Никитина В.Н., Черныгина О.А. Об адаптогенных свойствах экстрактов и индивидуальных веществ, выделенных из термофильных гидробионтов Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы XIV международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения проф.В.Я. Леванидова, Петропавловск-Камчатский, 14-15 ноября 2013. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2014. С. 13-25.
23. Чулкова С.В., Бочарова О.А., Клименков А.А., Карпова Р.В., Бенеvский А.И., Горозанская Э.Г. Возможности повышения эффективности комплексного лечения распространенного рака желудка фитоадаптогеном

- // Российский биотерапевтический журнал. 2006. Т.5. №2. С. 85-92.
24. Изучение противолучевой активности многокомпонентной фитомикстуры (ФМ-40) в опытах на крупных лабораторных животных: Отчет. М.: ГИЦ – Институт биофизики ФМБА России, 2002. 19 с.
25. Хадарцев А.А., Хадарцев Б.С., Хадарцев О.С. Варианты выведения радионуклидов и других токсикантов из организма человека (краткий обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. XIX. №1. С. 177-178.
26. Schirmacher V. Less Can Be More: the Hormesis Theory of Stress Adaptation in the Global Biosphere and Its Implications // Biomedicine. 2021. V.9. No.3. P. 293. Doi: 10.3390/biomedicine9030293.
27. Trommer M., Marnitz S., Skoetz N., Rupp R., Niels T., Morgenthaler J., Theurich S., von Bergwelt-Baildon M., Baues C., Baumann F.T. Exercise Interventions for Adults with Cancer Receiving Radiation Therapy Alone // Cochrane Database of Systematic Reviews. 2023. No.3. P. CD013448. Doi:10.1002/14651858.CD013448.pub2.

REFERENCES

1. Vasin M.V. *Protivoluchevyye Lekarstvennyye Sredstva* = Radiation Protection Drugs. Moscow, RMANPO Minzdrava Rossii Publ., 2010. 180 p. (In Russ.).
2. Dainiak N., Gent R.N., Carr Z., Schneider R., Bader J., et al. Literature Review and Global Consensus on Management of Acute Radiation Syndrome Affecting Nonhematopoietic Organ Systems. *Disaster Med Public Health Prep.* 2011;5:3:183-201. Doi: 10.1001/dmp.2011.73.
3. Weiss J.F., Landauer M.R. Radioprotection by Antioxidants. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 2003;899:1:44-60. Doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06175.x.
4. Gus'kova A.K. Positive Effects of Radiation on the Body. Is it Possible? *Byulleten' po Atomnoy Energii* = Atomic Energy Bulletin. 2006;3:53 (In Russ.).
5. Ma Q. Role of Nrf2 in Oxidative Stress and Toxicity. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology.* 2013;53:401-426. Doi: 10.1146/annurev-pharmtox-011112-140320.
6. Jagetia G.C. Radioprotective Potential of Plants and Herbs against the Effects of Ionizing Radiation. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition.* 2007;40:2:74-81. Doi: 10.3164/jcbs.40.74.
7. Bushmanov A.Yu., Ivanov A.A., Andrianova I.Ye., Stavrakova N.M., Bulynina T.M., Dorozhkina O.V. Radiation Protection Properties of Melanin. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal* = Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2014;10:4:828-832 (In Russ.).
8. Ivanov A.A., Andrianova I.Ye., Bulynina T.M., Dorozhkina O.V., Mal'tsev V.N., Stavrakova N.M., Shal'nova G.A., Bushmanov A.Yu. Pharmacological Effects of Melanin in Irradiated Mice. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2015;60:5:5-11 (In Russ.).
9. Yun J., Finkel T. Mitohormesis. *Cell Metabolism.* 2014;19:5:757-766. Doi: 10.1016/j.cmet.2014.01.011.
10. Valayer S., Kim D., Fogtman A., Straube U., Winnard A., Caplan N., Green D.A., van Leeuwen F.H.P., Weber T. The Potential of Fasting and Caloric Restriction to Mitigate Radiation Damage—a Systematic Review. *Front Nutr.* 2020;18:7:584543. Doi: 10.3389/fnut.2020.584543.
11. Nikitenko O.V., Bychkova T.M., Karaulova T.A., Parfenova I.M., Andrianova I.Ye., Ivanov A.A. Effect of Different Nutritional Regimens in an Experiment on Intact and Irradiated Mice. *Aktual'nyye Problemy Radiatsionnoy Biologii. Modifikatsiya Radiatsionno-Indutsirovannykh Effektov* = Modification of Radiation-Induced Effects. Proceedings of the International Conference. Dubna, October 16-18, 2024. Dubna, Ob'yedinennyy Institut Yadernykh Issledovaniy Publ., 2024. P. 147-149 (In Russ.).
12. Ciorba M.A. A Gastroenterologist's Guide to Probiotics. *Clinical Gastroenterology and Hepatology.* 2012;10:9:960-968. Doi: 10.1016/j.cgh.2012.03.024.
13. Ciorba M.A. Lactobacillus Probiotic Protects Intestinal Epithelium from Radiation Injury in vivo. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology.* 2012;302:6:G678-G686. Doi: 10.1152/ajpgi.00266.2011.
14. Zhu H., Yan X., Shi H., Chen Y., Huang C., Zhou Y., Yan S., Zhang N., Wang J., Zhang J., Han C., Chen Q., Zhao J., Cao M. The Role of Gut Microbiota and Its Metabolites in Mitigating Radiation Damage. *Microorganisms.* 2025;13:9:2151. Doi: 10.3390/microorganisms13092151.
15. Reiter R.J. Melatonin as a Radioprotective Agent: a Review. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics.* 2016;97:2:220-228. Doi: 10.1016/j.ijrobp.2016.07.034.
16. Elsbagh H.H., Moussa E., Mahmoud S.A., Elsaka R.O., Abdelrahman H. Efficacy of Melatonin in Prevention of Radiation-Induced Oral Mucositis: A Randomized Clinical Trial. *Oral Dis.* 2020;26:3:566-572. Doi: 10.1111/odi.13265.
17. Calder P.C. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Inflammatory Processes: Nutrition or Pharmacology. *British Journal of Clinical Pharmacology.* 2013;75:3:645-662. Doi: 10.1111/j.1365-2125.2012.04374.x.
18. Maqsdur Rashid A., Ramalingam L., Al-Jawadi A., Moustaid-Moussa N., Moussa H. Low Dose Radiation, Inflammation, Cancer and Chemoprevention. *Int J Radiat Biol.* 2019;95:4:506-515. Doi: 10.1080/09553002.2018.1484194.
19. *Izucheniye Vliyaniya Meksidola na Gemopoez u Zhivotnykh, Podvergnutykh Sochetannomu Vozdeystviyu Ioniziruyushchey Radiatsii i Emotsional'nogo Stressa* = Study of the Effect of Mexidol on Hematopoiesis in Animals Exposed to Combined Effects of Ionizing Radiation and Emotional Stress: Report. Moscow, GNC – IBF of FMBA of Russia Publ., 2002. 23 p. (In Russ.).
20. Ushakov I.B., Vasin M.V. Pharmacochemical Protection in Deep Space: a Modern View. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya* = Radiation Biology. *Radioecology.* 2019;59:2:150-160 (In Russ.).
21. Kolomiets O.D., Dmitriyev A.P., Grodzinskiy D.Ye., et al. *Mekhanizmy Radioustoychivosti Rasteniy* = Mechanisms of Plant Radioresistance. Kyiv, Nauk. Dumka Publ., 1976. 167 p. (In Russ.).
22. Akshintsev A.A., Barenboym G.M., Kirichenko V.Ye., Nikitina V.N., Chernyagina O.A. On the Adaptogenic Properties of Extracts and Individual Substances Isolated from Thermophilic Aquatic Organisms of Kamchatka. *Sokhraneniye Bioraznoobraziya Kamchatki i Prilegayushchikh Morey* = Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjacent Seas. Proceedings of the XIV International Scientific Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of Prof. V.Ya. Levaniidov, Petropavlovsk-Kamchatskiy, November 14-15, 2013. Petropavlovsk-Kamchatskiy, Kamchatpress Publ., 2014. P. 13-25. (In Russ.).
23. Chulkova S. V., Bocharova O. A., Klimenkov A. A., Karpova R. V., Benevskiy A. I., Gorozhanskaya E. G. Possibilities of Increasing the Efficiency of Complex Treatment of Advanced Gastric Cancer with a Phytoadaptogen. *Rossiyskiy Bioterapevticheskiy Zhurnal* = Russian Journal of Biotherapy. 2006;5:2:85-92 (In Russ.).
24. *Izucheniye Protivoluchevoy Aktivnosti Mnogokomponentnoy Fitomikstury (Fm-40) v Opytakh na Krupnykh Laboratornykh Zhivotnykh* = Study of the Radiation-Protection Activity of a Multicomponent Phytomixture (FM-40) in Experiments on Large Laboratory Animals: Report. Moscow, GNC – IBF of FMBA of Russia Publ., 2002. 19 p. (In Russ.).
25. Khadartsev A.A., Khadartsev B.S., Khadartsev O.S. Options for Removing Radionuclides and Other Toxicants from the Human Body (Brief Literature Review). *Vestnik Novykh Meditsinskikh Tekhnologiy* = Journal of New Medical Technologies. 2012;XIX:1:177-178 (In Russ.).
26. Schirmacher V. Less Can Be More: the Hormesis Theory of Stress Adaptation in the Global Biosphere and Its Implications. *Biomedicine.* 2021;9:3:293. Doi: 10.3390/biomedicine9030293.
27. Trommer M., Marnitz S., Skoetz N., Rupp R., Niels T., Morgenthaler J., Theurich S., von Bergwelt-Baildon M., Baues C., Baumann F.T. Exercise Interventions for Adults with Cancer Receiving Radiation Therapy Alone. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2023;3:CD013448. Doi: 10.1002/14651858.CD013448.pub2.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.02.2026. **Принята к публикации:** 25.03.2026.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.02.2026. **Accepted for publication:** 25.03.2026.