

## ВЛИЯНИЕ НА УЛТРАВИОЛЕТОВАТА РАДИАЦИЯ ВЪРХУ АВИАЦИОННИЯ ПЕРСОНАЛ – РИСКОВЕ, ЕКСПОЗИЦИЯ И ПРЕВЕНЦИЯ

П. Тодорова

Научноизследователска лаборатория по радиационна защита и радиобиология, Военномедицинска академия – София

## IMPACT OF ULTRAVIOLET RADIATION ON THE AVIATION PERSONNEL: RISKS, EXPOSURE, AND PREVENTION

P. Todorova

Research Laboratory of Radiation Protection and Radiobiology, Military Medical Academy – Sofia

<p><b>Резюме:</b></p>	<p>Обзорът разглежда детайлно физичните свойства на UV радиацията, включително нейното спектрално разпределение. Подчертават се различията във фотохимичната активност на тези лъчения, както и механизмите, чрез които те взаимодействат с биологичните тъкани. Акцент е поставен върху увреждането на ДНК, което играе ключова роля в иницирането на мутагенни и канцерогенни процеси. Описват се и клиничните прояви на хроничната UV експозиция, включително фотостареене на кожата, хиперпигментации, повишен риск от карциноми, меланом, както и очни увреждания като катаракта и дегенерация на ретината. В контекста на глобалните климатични промени, продължаващото изтъняване на стратосферния озонен слой и повишената пропускливост за UV-B радиация се разглеждат като значими предизвикателства за общественото здраве. Научните данни все по-категорично подчертават, че авиационният персонал представлява популация с повишена уязвимост, което изисква систематичен подход към управлението на риска. В този смисъл се акцентира върху необходимостта от разработване и внедряване на комплексни превантивни стратегии. Те включват няколко основни аспекта, като: мониторинг на UV експозицията както чрез персонални дозиметри, така и чрез модерни модели за оценка на радиационното натоварване, по маршрути и височини; оптимизация на защитните мерки, включително подобряване на материалите за остъкляване, използване на защитни филтри, стандарти за облекло и индивидуална фотозащита; повишаване на информираността и обучението на авиационните специалисти относно рисковете, физиологичните механизми на въздействие и ефективните практики за намаляване на излагането. Обзорът подчертава, че само чрез интегриран и научнообоснован подход може да се постигне ефективно намаляване на дългосрочните здравни последици от UV радиацията върху авиационния персонал и да се гарантира устойчиво подобряване на професионалната безопасност в авиационната индустрия.</p>
<p><b>Ключови думи:</b></p>	<p>ултравиолетова радиация, авиационен персонал, професионална експозиция, здравен риск, климатични промени, превенция</p>
<p><b>Адрес за кореспонденция:</b></p>	<p>Петя Александрова Тодорова, e-mail: <a href="mailto:vepege@abv.bg">vepege@abv.bg</a></p>
<p><b>Abstract:</b></p>	<p>This review provides a detailed examination of the physical properties of ultraviolet (UV) radiation, including its spectral distribution. The differences in the photochemical activity of these radiations are highlighted, as well as the mechanisms by which they interact with biological tissues. Emphasis is placed on DNA damage, which plays a key role in the initiation of mutagenic and carcinogenic processes. The clinical manifestations of chronic UV exposure are also discussed, including skin photoaging, hyperpigmentation, increased risk of carcinomas and melanoma, as well as ocular damage, such as cataracts and retinal degeneration. In the context of global climate change, the ongoing depletion of the stratospheric ozone</p>

layer and the increased transmission of UV-B radiation are identified as significant public health challenges. Growing scientific evidence underscores that aviation personnel constitute a population with heightened vulnerability, necessitating a systematic approach to risk management. Accordingly, the review emphasizes the need for comprehensive preventive strategies, including: monitoring of UV exposure through personal dosimeters and contemporary models assessing radiation levels across different flight routes and altitudes; optimization of protective measures, such as improved glazing materials, the use of UV-filtering technologies, standardized protective clothing, and individual photoprotection; enhanced awareness and training for aviation professionals regarding risks, biological mechanisms of UV impact, and effective exposure-reduction practices. The review concludes that only an integrated and scientifically grounded approach can effectively mitigate the long-term health consequences of UV radiation for aviation personnel and ensure sustainable improvements in occupational safety within the aviation industry.

**Key words:**

ultraviolet radiation, aviation personnel, occupational exposure, health risk, climate change, prevention

**Address for correspondence:**

Petya Aleksandrova Todorova, e-mail: vepege@abv.bg

## ВЪВЕДЕНИЕ

Ултравиолетовата радиация (UVR) представлява част от електромагнитния спектър с доказано биологично въздействие върху човека. Основният естествен източник на ултравиолетово лъчение е слънцето, което излъчва електромагнитна енергия в широк спектрален интервал, включващ UV фотони с различни вълнови дължини и енергийни характеристики. Независимо че само част от тях достигат земната повърхност, те оказват значително влияние върху човешкия организъм, като засягат кожата, очите и други органи [1].

На авиационни височини интензитетът на слънчевата ултравиолетова радиация е значително по-висок в сравнение с морското равнище, защото нивото на защита от атмосферата е ниско. При ясно време, през деня, авиационният персонал получава постоянна пряка експозиция на слънчева светлина [2, 3].

Проучвания от специалисти по трудова медицина показват, че авиоперсоналът представлява професионална категория, която е изложена както на йонизиращо лъчение (космическа радиация), така и на нейонизиращо лъчение, включително UV лъчи. Повишеният риск от заболявания, свързани с UV експозицията, като злокачествен меланом, подчертава необходимостта от превантивни мерки и редовни медицински прегледи [4]. Авиоперсоналът е една от професионалните групи с най-високо радиационно облъчване [5].

## УЛТРАВИОЛЕТОВА РАДИАЦИЯ – ФИЗИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Слънчевата радиация, достигаща до земната атмосфера, се състои от 6,4% ултравиолетово лъчение (UV), 48% видима светлина (VIS) и 45,6% инфрачервена радиация (IR) [6].

Слънцето е източник на пълния спектър ултравиолетово лъчение [7], което обхваща дължини на вълната между видимата светлина и рентгеновите лъчи и се дели на UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) и UVC (100-280 nm) [8]. UV лъчението има по-голяма енергия от тази на видимата светлина, от 3,1 до 12 eV, която се доближава до минималната енергия, необходима за йонизиране на атоми [9, 10]. Въпреки това дълговълновата ултравиолетова светлина не се счита за йонизиращо лъчение [11].

Атмосферата поглъща приблизително 77% от ултравиолетовото излъчване на слънцето, когато то е в зенита си, като ефективността на поглъщане е по-голяма при късовълновото UV лъчение [12]. Колкото по-къса е дължината на вълната, толкова по-висока е енергията на фотона [13]. Фотоните на UV-C имат най-къса дължина на вълната и съответно най-висока енергия. UV-A се характеризира с най-дълги вълни и фотони с най-ниска енергия. UV-B заема междинно положение между тях [14].

Естествената защита от атмосферата намалява с височината, като интензитетът нараства с около 10-12% на всеки 1000 м височина и може да достигне 2-3 по-високи стойности от тези на земната повърхност. Затова по време на полет пилотите са изложени на значително по-високи

нива на UV радиация, отколкото на земята. Достига се общо увеличение от 170–290% между морското равнище и авиационна крейсерска височина от 10 668 m [12, 15].

### ЕКСПОЗИЦИЯ НА АВИАЦИОННИЯ ПЕРСОНАЛ

Зависимостта между височината и проникването на късовълновия UV компонент е ясно изразена – на всеки 1000 m интензитетът на радиацията нараства с приблизително 9% при 370 nm и до 24% при 300 nm [3].

Предното стъкло на самолета ефективно блокира UV-B лъчението, но пропуска значителна част от UV-A спектъра – особено при дължини на вълната над 350 nm, което води до недостатъчна UV защита за пилотите [2, 16].

Анализът на предните стъкла на различни типове самолети (Boeing (B747, B757, B777), Airbus (A320, A321), Embraer 195 и Bombardier Dash 8) показва съществени вариации в пропускливостта на UV-A. Резултатите сочат, че само ~ 29% от изследваните машини осигуряват ефективна защита срещу UV лъчение. По-старите въздухоплавателни средства, като Boeing 747 и Concorde, показват по-висока степен на намаляване на UV-A в сравнение с по-новите, което показва тенденция за намалена ефективност на UV защитата при съвременните конструкции [13].

Интензитетът на UV радиация вътре и извън пилотската кабина силно зависи от интензивността на пряко греене и пропускане на слънчевите лъчи в нея. Без пряко греене дифузното UV лъчение в пилотската кабина е приблизително 5% от интензитета на UVR във външната атмосфера. В случаи на ниско слънце и с увеличаване на ъгъла на зенита на слънцето, когато прякото греене достига до пилота, процентът нараства от 50% до 100%. Слой водни облаци на височина 2000-4000 m допълнително увеличава UVR в пилотската кабина с около 7% на 10 000 m височина. Покрита със сняг повърхност има подобен ефект [15].

UV експозицията зависи също от географската ширина, сезона и продължителността на полета. През зимата увеличението е с 2-5% по-високо в сравнение с лятото поради по-ниската височина на слънцето, по-дългия път на лъчите и по-интензивното разсейване [3]. Положението на слънцето спрямо курса на самолета определя съотношението между пряко и дифузно облъчване. При по-ниско слънчево греене, характерно за зимния сезон и за полети, отдалечени от екватора, относителният дял на дифузното облъчване е по-го-

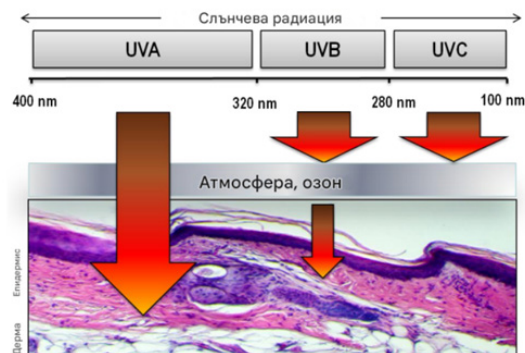
лям. Продължителните междуконтинентални полети натрупват значителни UV дози, а фазите на излитане и кацане допринасят за 10% от общата експозиция [15].

Екипажите на самолетите са една от професионалните групи с най-високи радиационни експозиции, обикновено с допълнително поета доза 2 милисиверта (mSv) годишно, колкото е естественият радиационен фон [16]. Освен това те са изложени и на други физически рискови фактори (напр. нарушения на циркадния ритъм), свързани с характера на авиационната дейност [17].

### БИОЛОГИЧНИ ЕФЕКТИ И ЗДРАВНИ РИСКОВЕ

Изменението на климата в комбинация с изтъняването на озоновия слой води до по-слабо поглъщане на ултравиолетовите лъчи на голяма височина и до повишаване на тяхната интензивност. В резултат на това експозицията на авиационния персонал от UV радиация се увеличава, което засилва потенциалните рискове за здравето и безопасността [4, 18].

Слънчевата UVR има способността да индуцира химични процеси, което го прави силен мутагенен рисков фактор за клетъчно увреждане, спадане на имунитета, канцерогенеза и развитие на онкологично заболяване. В същото време UV-B-лъчението е важно за организма и има съществена роля в имунната защита, защото иницира синтез на витамин D3 в кожата. Атмосферата филтрира почти целия UV-C и по-голямата част от UV-B спектъра, така че до земната повърхност достигат главно UV-A и частично UV-B лъчи. UV-B лъчите са отговорни за получаване на слънчево изгаряне (еритема) и туморогенеза. UV-A прониква по-дълбоко в кожата (в дермата), но предизвиква по-малко увреждане на повърхността ѝ [8].



Фиг. 1. Електромагнитен спектър на видимата и UV радиация и биологични ефекти върху кожата, адаптирано по John D'Orazio et al., 2013 [14]

Информацията за нивата на слънчево UVR е от съществено значение за оценката на професионалния авиационен риск от развитие на радиационно индуцирани заболявания [15, 19]. Тези заболявания се асоциират с клетъчни увреждания, възникнали под въздействие на облъчване. Радиационно индуцираните тумори възникват, след като облъчването трансформира нормални клетки в активно пролифериращи, които избягват собствените защити на организма и за сравнително кратко време формират злокачествено образувание [20]. Пилотите показват генетични изменения, характерни за UV индуцирано увреждане на ДНК [21, 22]. Проучвания на професионалното здраве сочат, че тази професионална категория е изложена на повишен риск от заболявания, индуцирани от ултравиолетовите лъчи, като меланом [21, 23, 24, 25], радиационно индуциран катаракт [26], синдром на сухото око и оксидативен стрес [27, 28].

Продължителното излагане на UV-A радиация се свързва с повишен риск от рак на кожата, преждевременно стареене и увреждане на тъканите [29]. Епидемиологични изследвания установяват, че авиационният екипаж е изложен на повишен риск от кожни неоплазии, чиято честота на възникване е приблизително два пъти по-висока в такива условия [30]. Резултатите от тези проучвания се обобщават в доклад от Industrial Injuries Advisory Council (IIAC, UK), който подкрепя необходимостта меланомът да бъде признат като професионален авиационен риск [23].

Освен това рискът от развитие на радиационно индуцирана катаракта при пилоти е около три пъти по-голям [26, 31]. Има доказателства, че дългосрочното излагане на UVR е свързано с повишен риск от образуване на катаракт [32, 33, 34, 35].

Въздействието на ултравиолетовите лъчи индуцира оксидативен стрес и хронично възпаление на очната повърхност. Оксидативният стрес е причина за възникване на генетични мутации, промяна в генната експресия, белтъчния синтез, метаболитните процеси, като засягат клетките, тъканите и организма като цяло [36]. Синдромът на сухото око се наблюдава с голяма честота сред авиационния персонал [37].

Лъчението, увреждащо окото, се класифицира в две групи, според потенциала му за очно увреждане – ретинално опасно и неретинално опасно. Ултравиолетовото (UV) лъчение принадлежи към неретинално опасния спектрален диапазон, тъй като се абсорбира предимно от структурите на предния очен сегмент (роговицата, преднокамерната течност, ириса и лещата), без значително

засягане на ретината. Най-висока абсорбция се наблюдава при дължини на вълните под 300 nm (UV-B и UV-C), които имат най-голям потенциал за увреждане на повърхностните очни тъкани. Диапазонът от 300 до 400 nm (UV-A) се поглъща основно от вътреочната течност, ириса, лещата и частично от стъкловидното тяло. За разлика от UV лъчението видимата и инфрачервената светлина могат да проникват през оптичните среди и да достигнат ретината [38].

### ПРЕВЕНЦИЯ И МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА

Съгласно насоките на Международната комисиия за защита от нейонизираща радиация (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) за ултравиолетово облъчване, експозицията на очите с UVR в диапазона 180-400 nm не трябва да надвишава 30 J/m<sup>2</sup>, а в 315-400 nm – 104 J/m<sup>2</sup> (непреизчислено за различните λ). За най-предразположените към туморогенеза типове кожа се препоръчва същият лимит от 30 J/m<sup>2</sup>, за да се намали дългосрочният риск от развитие на меланом. Макар тази стойност да е трудно постижима при естествено слънчево греене, тя включва значителен фактор на безопасност и осигурява защита на всички типове кожа. Нови изследвания в областта подчертават ролята на UVA в увреждането на ДНК и в туморогенезата. Остават открити въпроси относно комбинираното действие на UVA и UVB върху имунната система и онкологичните промени, което поставя нови хоризонти за бъдещи изследвания [39]. Този факт подчертава значението на системното наблюдение на UV експозицията и превантивните мерки за защита на здравето на авиационния персонал [28].

С цел предпазване на очите от радиационно индуцирана катаракта, ICNIRP препоръчва максималното излагане на очите на UVA радиация (315–400 nm) да не надвишава 10 kJ/m<sup>2</sup> в рамките на осемчасов работен ден [40]. В авиационната практика това е от особено значение, тъй като пилотите и кабинният екипаж са изложени на по-интензивно UV облъчване.

За намаляване на UV-A експозицията се препоръчва оценка и маркировка на челните стъкла според нивото им на UV защита [13] и използването на прозрачни фолиа с UV-блокиращи свойства върху предното стъкло на кабината, както и поставянето на козирки, които ограничават проникването на радиация. Допълнителна лична защита се постига чрез използването на контактна оптика (слънчеви очила или контактни лещи) с UV фил-

тър. Тя блокира проникването на ултравиолетови лъчи в очите, като осигурява по-добра защита от визьорите, покриващи само част от челното стъкло [2, 40]. Специалистите по очно здраве и авиационна медицина следва да предоставят конкретни препоръки за очна защита, включително избор на подходящи средства и честота на профилактични прегледи. Макар UV-B облъчването по време на полет да е пренебрежимо малко, пропускливостта на челното стъкло остава основен фактор, определящ получената UV-A доза. Само самолетите, оборудвани с ефективно UV-A филтриращи стъкла, осигуряват безопасност, дори при продължителни полети и силна слънчева светлина [12]. Допълнителни превантивни мерки включват редовно използване на слънцезащитни продукти и периодични дерматологични прегледи [19].

В доклада "Cutaneous Malignant Melanoma and Occupational Exposure to UV Radiation in Pilots and Aircrew" се подчертава, че ефективната превенция следва да бъде постигната чрез целенасочено обучение и повишаване на осведомеността на авиационния персонал относно UV експозицията и нейните последици [23].

Измерването на UV лъчението обикновено се извършва с помощта на радиометри, които са прецизни, но скъпи инструменти. Алтернативно решение е използването на дозиметрични материали, като  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ , който е доказал ефективност не само при регистриране на йонизираща, но и на нейонизираща радиация, включително UV.  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  може да намери приложение за оценка на реалната експозиция на летателния персонал и за оптимизация на мерките за защита [41].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ултравиолетовата радиация представлява съществен фактор в професионалната експозиция на авиационния персонал. Повишената интензивност на слънчевото излъчване на голяма височина, заедно с различната степен на защита, осигурявана от предното стъкло на самолетите, повишава риска от остри и хронични увреждания на кожата и очите. Установените различия в пропускливостта на UVA радиацията между отделните типове въздухоплавателни средства подчертават необходимостта от системен мониторинг и контрол на защитните материали.

Редовното наблюдение на експозицията и прилагането на превантивни мерки имат ключово значение за намаляване на професионалния риск. Темата има както научна, така и практи-

ческа значимост, тъй като е пряко свързана със здравето, безопасността и работоспособността на авиационния персонал.

## Библиография

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Ultraviolet 100-400 nm. ICNIRP, 2011, Available from: <https://www.icnirp.org/en/frequencies/uv/index.html> (accessed 15.01.2026).
2. Schennetten K, Meier MM, Scheibinger M. Measurement of UV radiation in commercial aircraft. *J Radiol Prot*, 2019, 39(1):(85-96), doi:10.1088/1361-6498/aaf2a7
3. Blumthaler M, Ambach W, Ellinger R. Increase in solar UV radiation with altitude. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, 1997, 39(2):(130-134), [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(96\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(96)00018-8).
4. Minoretti P, Gómez Serrano M, Liaño Riera M, et al. Occupational Health Challenges for Aviation Workers Amid the Changing Climate. A Narrative Review, *Cureus*, 2024, 16:(e236863), doi:10.7759/cureus.55935.
5. Dreger S, Wollschläger D, Schafft T, et al. Cohort study of occupational cosmic radiation dose and cancer mortality in German aircrew. *Occup Environ Med*, 2020, 77(5):(285-291), doi:10.1136/oemed-2019-106165.
6. Duffie JA, Beckman WA. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken (NJ), Wiley, 2013, doi: 10.1002/9781118671603.
7. National Aeronautics and Space Administration. *Ultraviolet waves*. Washington (DC), NASA, 2011, Available from: [https://science.nasa.gov/ems/10\\_ultravioletwaves/](https://science.nasa.gov/ems/10_ultravioletwaves/) (accessed 15.01.2026).
8. Ahmad SI, Ed. *Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment* Cham, Springer International Publishing, 2017, Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56017-5>.
9. Maqbool M, Ed. *An Introduction to Non-Ionizing Radiation*. Bentham science publishers, 2023, doi: 10.2174/97898151368901230101.
10. Наредба № 5 от 11.06.2010 г. за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на изкуствени оптични лъчения. Държавен вестник, 2010.
11. Ida N. *Engineering electromagnetics*. 2, ed. New York, Springer, 2004.
12. Chorley AC, Baczynska KA, Benwell MJ, et al. Occupational ocular UV exposure in civilian aircrew. *Aerosp Med Hum Perform*, 2016, 87(1):(32–39), doi: 10.3357/AMHP.4404.2016.
13. Csele M. *Fundamentals of light sources and lasers*. Hoboken (NJ), Wiley, 2004, doi:10.1002/0471675210.
14. D'Orazio J, Jarrett S, Amaro-Ortiz A, Scott T. UV Radiation and the Skin. *Int J Mol Sci*, 2013, 14(6):(12222–12248), doi:10.3390/ijms140612222.
15. Meerkötter R. An estimation of the UV radiation inside the cockpits of large commercial jets. *CEAS Aeronaut J*, 2017, 8(1):(93–104), doi:10.1007/s13272-016-0225-0.
16. Bartlett DT. Radiation protection aspects of the cosmic radiation exposure of aircraft crew. *Radiation Protection Dosimetry*, 2004, 109(4):(349–355), doi:10.1093/rpd/nch311.
17. Hammer GP, Auvinen A, De Stavola BL, et al. Mortality from cancer and other causes in commercial airline crews. *Occup Environ Med*, 2014, 71(5):(313–322), doi:10.1136/oemed-2013-101395.

18. Bernhard GH, Bais AF, Aucamp PJ, et al. Stratospheric ozone, UV radiation, and climate interactions. *Photochem Photobiol Sci*, 2023, 22(5):(937–989), doi:10.1007/s43630-023-00371-y.
19. Sanlorenzo M, Vujic I, Posch C, et al. The risk of melanoma in pilots and cabin crew. *JAMA Dermatol*, 2015, 151(4):(450–456), doi:10.1001/jamadermatol.2014.4643.
20. Racheva G, Nedzhib A. Physical, chemical and biological effects of ionizing radiation. Part II. *Nauka (Science)*, 2023, (1–6):(66–73).
21. Cavallo D, Tomao P, Marinaccio A, et al. Evaluation of DNA damage in flight personnel by comet assay. *Mutat Res*, 2002, 516(1–2):(148–152), doi:10.1016/S1383-5718(02)00036-0.
22. Minoretti P, Liaño Riera M, Santiago Sáez A, et al. Increased Peripheral Blood DNA Damage and Elevated Serum Levels of Melanoma Inhibitory Activity Protein: Clues to Excess Skin Cancer Risk in Airline Pilots?, *Cureus* 15(12): e51077, doi 10.7759/cureus.51077.
23. Cutaneous malignant melanoma and occupational exposure to (natural) UV radiation in pilots and aircrew. London, Dandy Booksellers Ltd, 2020.
24. Sample A, He Y. Mechanisms and prevention of UV-induced melanoma. *Photoderm Photomed Photomed*, 2018, 34(1):(13–24), doi:10.1111/phpp.12329.
25. Gieniusz E, Skrzydlewska E, Łuczaj W. Current Insights into the Role of UV Radiation-Induced Oxidative Stress in Melanoma Pathogenesis. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(21):(11651), doi:10.3390/ijms252111651.
26. Rafnsson V. Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in airline pilots. *Arch Ophthalmol*, 2005, 123(8):(1102–1105), doi:10.1001/archoph.123.8.1102.
27. Fachinetti A, Marelli E, Velati P, et al. Subjective dry eye symptoms in civil air crew. *Cureus*, 2024, 16:(e217854), doi:10.7759/cureus.217854.
28. Seen S, Tong L. Dry eye disease and oxidative stress. *Acta Ophthalmol*, 2018, 96(4):(e412–e420), doi:10.1111/aos.13526.
29. Racheva, G. Innovative approaches in diagnosis and treatment of acute radiation syndrome. Advanced diagnostic techniques and therapeutic strategies for managing hemopoietic acute radiation syndrome following high-dose exposure. *Med Rev*, 2025, 61(2):(18–25).
30. Sanlorenzo M, Wehner MR, Linos E, et al. The risk of melanoma in airline pilots and cabin crew: a meta-analysis. *JAMA Dermatol*, 2015, 151(1):(51–58), doi:10.1001/jamadermatol.2014.1077.
31. Miura K, Olsen CM, Rea S, et al. Do airline pilots and cabin crew have raised risks of melanoma and other skin cancers? Systematic review and meta-analysis. *Br J Dermatol*. 2019,181(1):(55-64), doi: 10.1111/bjd.17586.
32. Cruickshanks KJ, Klein BE, Klein R. Ultraviolet light exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am J Public Health*, 1992, 82(12):(1658–1662), doi: 10.2105/ajph.82.12.1658.
33. Delcourt C, Cristol JP, Tessier F, et al. Risk factors for cortical, nuclear, and posterior subcapsular cataracts: the POLA study. *Pathologies Oculaires Liées à l'Age*. *Am J Epidemiol*, 2000, 151(5):(497-504), doi:10.1093/oxfordjournals.aje.a010235.
34. McCarty CA, Nanjan MB, Taylor HR. Attributable risk estimates for cataract to prioritize medical and public health action. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2000, 41(12):(3720-3725).
35. Chorley AC, Evans BJW, Benwell MJ. Solar eye protection practices of civilian aircrew. *Aerosp Med Hum Perform*. 2015, 86(11):953-61, doi:10.3357/AMHP.4357.2015.
36. Racheva G. Biologically active compounds and modifiers of radiation influence. *Bulg Med*, 2023, (1):(4–15).
37. Böhm EW, Buonfiglio F, Voigt AM, et al. Oxidative stress in the eye and its role in the pathophysiology of ocular diseases. *Redox Biol*. 2023, 68:(102967), doi: 10.1016/j.redox.2023.102967.
38. Nakagawara, Van B., Montgomery, Ron W., Marshall, Wesley. *Optical Radiation Transmittance of Aircraft Windscreens and Pilot Washington (DC)*, Federal Aviation Administration, 2007.
39. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Phys*, 2004; 87(2):(171-86), doi: 10.1097/00004032-200408000-00006.
40. Chorley A, Higlett M, Baczynska K, et al. Measurements of pilots' occupational solar UV exposure. *Photochem Photobiol*, 2014, 90(4):(935–40), doi: 10.1111/php.12269.
41. Grossi FH, Campos LL. Studies of UV induced phototransferred thermoluminescence in CaSO<sub>4</sub>:Dy pellets. *Radiation Protection Dosimetry*. 2002, 100(1-4):(421-424), doi: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a005904.

Постъпил за печат на 20 януари 2026 г.