

И.В. Иванов^{1,2}, В.И. Бурмистров¹**КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЛЁТНОГО СОСТАВА В ПОЛЁТАХ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), Москва² Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны РФ, Санкт-Петербург

Контактное лицо: И.В. Иванов, e-mail: ivanov-iv@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Изучить возможности прикладных программ для автоматизированных расчетов, учета и контроля доз облучения летного состава гражданской авиации и разработать их классификацию в интересах гражданской авиации России.

Материал и методы: Был осуществлен поиск и систематизация информации о калькуляторах и прикладных программах отечественных и зарубежных компаний для автоматизированного расчета доз облучения летного состава и авиапассажиров при авиаперелетах, анализ доступности этих программ, интерфейсов для введения входных данных (параметров полёта) и выведения результатов расчета дозы облучения за авиационный полёт и возможностей их применения в практике авиакомпаний.

Результаты: Прикладные программы для автоматизированных расчетов доз облучения в авиационном полёте были сгруппированы на 4 класса: простейшие, средней сложности, профессиональные и научные. Простейшие и средней сложности программы могут быть использованы пассажирами и членами летного экипажа для ориентировочного расчета дозы облучения при авиаперелетах. Профессиональные программы используются зарубежными авиакомпаниями-перевозчиками для систематической оценки, учета и контроля доз облучения летного состава. Научные программы применяются для уточнения особенностей распределения дозы в околоземной атмосфере в зависимости от широты и долготы полета, солнечной активности и параметров полёта. В России в настоящее время функционируют два Интернет-ресурса: «Расчет дозы радиации при авиаперелетах» (Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова, ©ФГБУ «ИПГ») и RUSCOSMICS ©Маурчев Евгений, Диденко Ксения (Полярный геофизический институт, ИЗМИРАН), которые предназначены для оценки дозы или мощности дозы ионизирующего излучения для высот от 1 до 20 км и для разных географических координат.

Ключевые слова: радиационная безопасность, коммерческие авиаперелеты, летный состав, дозы облучения, калькуляторы, прикладные программы

Для цитирования: Иванов И.В., Бурмистров В.И. Классификация прикладных программ для расчета дозы облучения летного состава в полётах гражданской авиации // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 5. С. 51–60. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-5-51-60

I.V. Ivanov^{1,2}, V.I. Burmistrov¹**Classification of Applied Codes for Calculating the Radiation Dose of Flight Personnel in Civil Aviation Flights**¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia² State Research and Testing Institute of Military Medicine, St. Petersburg, Russia

Contact person: I.V. Ivanov, e-mail: ivanov-iv@yandex.ru

ABSTRACT

Purpose: The purpose of the study was to study the possibilities of applied codes for automated calculations, accounting and control of radiation doses of civil aviation flight personnel and to develop their classification in the interests of civil aviation in Russia.

Material and methods: The study included the search and systematization of information about calculators and application programs developed by domestic and foreign companies for the automated calculation of radiation doses for flight personnel and air passengers during air travel, as well as the analysis of the availability of these programs, the interfaces for entering input data (flight parameters) and displaying the results of radiation dose calculations for air travel, and the possibilities of their application in the practice of airlines.

Conclusions: The analysis made it possible to group such programs into 4 classes: the simplest, medium complexity, professional and scientific. Radiation dose calculation programs of the simplest and medium complexity can be used by passengers and flight crew members during air travel. Professional programs are used by foreign carrier airlines for the systematic assessment, accounting and control of radiation doses to flight personnel. Scientific programs are used to clarify the specifics of dose distribution in the near-Earth atmosphere, depending on the latitude and longitude of the flight, solar activity and flight parameters. Currently, there are two Internet resources in Russia: Calculation of Radiation Dose during Air Travel (Institute of Applied Geophysics named after Academician E.K. Fedorov, ©FSBI «IPG») and RUSCOSMICS ©Evgeny Maurchev, Ksenia Didenko (Polar Geophysical Institute, IZMIRAN). They are intended for dose or dose rate of ionizing radiation for heights from 1 to 20 km and for different geographical coordinates assessment.

Keywords: radiation safety, civil aviation flights, flight personnel, radiation doses, calculators, applied codes, programs

For citation: Ivanov IV, Burmistrov VI. Classification of Applied Codes for Calculating the Radiation Dose of Flight Personnel in Civil Aviation Flights. Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(5):51–60. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-5-51-60

Введение

Об актуальности проблемы обеспечения радиационной безопасности летного персонала и пассажиров самолетов свидетельствует постоянное внимание к ней Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), а также Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Международная организация гражданской авиации (ИКАО) разработала перечень мероприятий по обеспечению радиационной безопасности экипажей и пассажиров самолетов, важнейшими из которых является контроль уровня излучения на трассе полета и прогноз радиационной обстановки в зонах авиационных перевозок. В зарубежных авиакомпаниях широко используют для регулярного контроля автоматизированные программы расчета доз облучения авиационного персонала за авиаперелёт. Оценки дозы облучения и их сопоставление по некоторым программам проводились лишь для зарубежных авиарейсов [1], возможности использования этих программ в интересах гражданской авиации в России целенаправленно не изучались, что определяет актуальность данного исследования.

Результаты и обсуждение

Выполненный анализ позволил сгруппировать все программы на 4 класса:

- 1 Простейшие – учитываются время и расстояние авиаперелета по кратчайшему маршруту.
- 2 Средней сложности – учитываются аэропорты вылета и прилета, кратчайший маршрут авиаперелета, высота полета, но перечень аэропортов ограничен.
- 3 Профессиональные – учитываются географические координаты аэропорта вылета и прилета, реальный маршрут авиаперелета, высота (эшелон) полета с архивированием доз облучения авиационного персонала в базу данных авиакомпании.
- 4 Научные – позволяют рассчитать дозу облучения летного состава за авиаперелет в режиме реального времени с учетом солнечной активности и фактической информации о полёте.

1. Простейшие программы

1.1. Flight Radiation Calculator (Калькулятор радиации в полете), DoseWizard [2], предназначен для ориентировочной оценки дозы облучения за полет по формуле:

$$\text{Доза радиации (мкЗв)} = \text{Часы полета (ч)} \times \text{Среднечасовая доза радиации (мкЗв/ч)} \quad (1)$$

За среднечасовую дозу радиации принята средняя мощность излучения за час полета 4 мкЗв/ч. Для расчета вводятся продолжительность полёта (ч) с точностью до 0,1 ч. По результатам расчета дозы облучения за полёты в зависимости от их продолжительности составили (табл. 1): 3,3 ч – 13 мкЗв (0,013 мЗв), 7,5 ч – 30 мкЗв (0,030 мЗв), 13,3 ч – 53 мкЗв (0,053 мЗв).

Таблица 1

Показатели интерфейса Flight Radiation Calculator с результатами расчета дозы облучения за полёты

Flight Radiation Calculator interface indicators with the results of calculating the radiation dose for flights

Time of flight (hrs)	3,3	7,5	13,3
Dose rate (mSv/h)	0,004	0,004	0,004
Effective dose (mSv)	0,013	0,030	0,053

1.2. Calculator Flight-radiation-exposure (онлайн калькулятор радиации в самолёте) [3] предназначен для ориентировочной оценки дозы облучения за авиационный

полет. В калькуляторе используется зависимость средней мощности дозы облучения (мЗв/ч) за полёт от полётного времени в часах. Как известно, мощность дозы излучения при полёте на крейсерских эшелонах от 10 до 13 км значительно превышает таковую за короткие периоды взлёта и посадки самолёта. Поэтому, чем больше общая продолжительность полёта (полётное время), тем меньше вклад мощности дозы излучения при взлёте и посадке в среднюю мощность дозы излучения за общее полётное время. Это наглядно демонстрирует форма степенной функции ($y = a\sqrt{x}$) графика на рис. 1А.

Полётное время отсчитывается от момента разблокировки тормозных колодок перед взлётом самолёта, до момента открытия дверей самолета в аэропорту прибытия. Входным параметром является общее время в полёте, по его значению программа онлайн-калькулятора Flight-radiation-exposure по формуле (2) с учетом средней мощности эквивалентной дозы ионизирующего излучения (мкЗв/ч) за время полёта (рис. 1Б) рассчитывает дозу облучения (мкЗв), накопленную за авиаперелёт.

$$d = 0,0061925753 + \frac{-0,0040149722 - 0,0061925753}{1 + \left(\frac{t}{0,8544006}\right)^{1,0477438}} \quad (2)$$

где d – мощность дозы излучения (мЗв/ч), t – полётное время (ч).

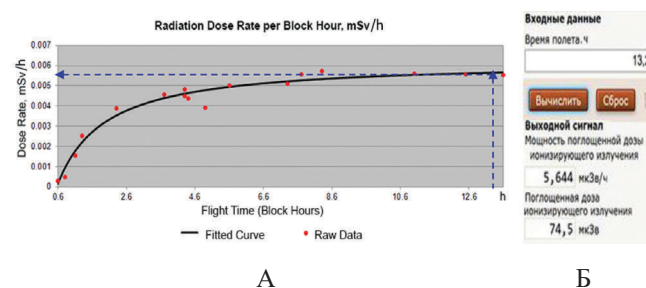


Рис. 1. Калькулятор Flight-radiation-exposure: А – график зависимости мощности дозы облучения (мЗв/ч) от полётного времени в часах (по оси абсцисс – полётное время (ч), по оси ординат – средняя мощность дозы облучения за полёт (мЗв/ч), красные точки – полетные данные, линия графика – кривая приближения с использованием степенной функции); Б – интерфейс с примером расчета дозы облучения онлайн калькулятором

Fig. 1. Flight-radiation-exposure calculator: А – graph of the dependence of the radiation dose rate (mSv/h) on flight time in hours (on the abscissa – flight time (hours), on the ordinate – average radiation dose rate per flight (mSv/h), red dots – flight data, graph line – approximation curve using power regression function); Б – interface with an example of calculating radiation dose using an online calculator

При вычислении накопленной за авиаперелёт дозы облучения в ручном режиме за авиаперелёт Нью-Йорк – Токио продолжительностью 13,2 ч по графику (рис. 1А) находим среднюю мощность дозы 0,0056 мЗв/ч за полёт и определяем накопленную дозу за полёт $d = 0,0056 \text{ мЗв/ч} \times 13,2 \text{ ч} = 0,0739 \text{ мЗв}$. При вычислении онлайн калькулятором в форму для входных данных (рис. 1Б) вводится продолжительность полёта 13,2 ч (целые и десятичные значения часов полёта), в результате расчета доза за полет составляет 0,0745 мЗв (74,5 мкЗв).

1.3. Программа SIEVERT (Франция)

Программа SIEVERT, первая (упрощенная) версия [4], доступная всем пользователям на сайте Института радиационной защиты и ядерной безопасности (Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety, IRSN) для расчета дозы радиации за стандартный авиаперелет (рис. 2).

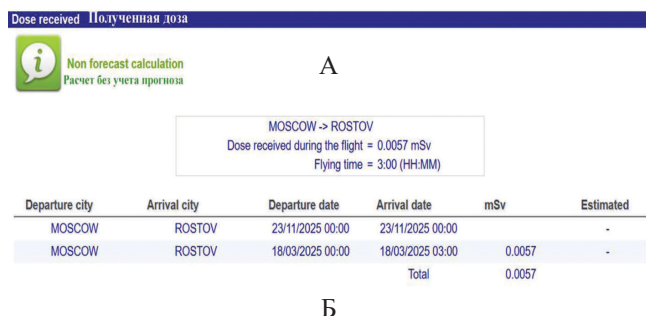
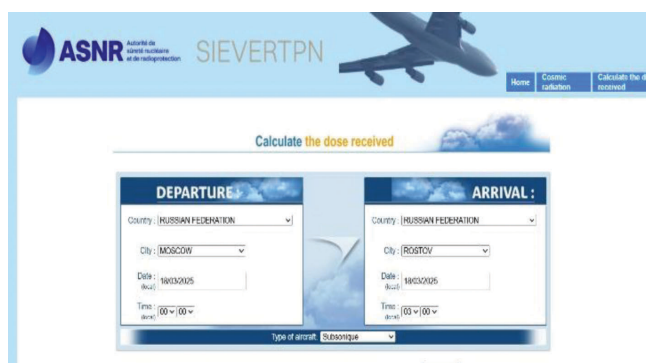


Рис. 2. Интерфейс программы SIEVERT первой (упрощенной) версии и оценка дозы облучения за авиаперелёт Москва – Ростов: А – окно ввода данных, Б – результаты расчета дозы облучения 0,0057 мЗв (5,7 мкЗв)

Fig. 2. Interface of the SIEVERT program of the first (simplified) version and the assessment of the radiation dose for the Moscow-Rostov air flight: А – data input window, Б – results of the radiation dose calculation of 0.0057 mSv (5.7 μ Sv)

1.4. Программа AVIDOS (Франция).

AVIDOS (Aviation Dosimetry, Авиационная Дозиметрия) – это программный пакет и аккредитованный веб-сервис для европейской авиационной дозиметрии, созданные лабораторией Зайберсдорф (© Seibersdorf Labor GmbH, Германия, 2025) [5–9] и объединенные с порталом Европейского космического агентства (ESA) по космической погоде, доступен по адресу: <https://swe.ssa.esa.int/web/guest/avidos-federated>. Программный пакет представляет собой многопараметрическую систему расчета оценки космического излучения, воздействующего на летный состав и пассажиров, а также веб-сервис, на котором размещена информация о космической радиации, солнечной и гелиосферной погоде, а также о мониторинговых инструментах ESA и их ресурсах. Этот пакет предполагает выбор трёх режимов работы – PUBLIC Mode, AIRCREW Mode, SIENCE mode.

Первый режим – AVIDOS PUBLIC Mode (публичный), позволяет любому пользователю оперативно посчитать эффективную дозу за авиаперелет на основе кратчайшего расстояния между аэропортами вылета и прилёта [8] (рис. 3 А, Б). Для выполнения расчетов требуется регистрация на сайте компании <https://swe.ssa.esa.int/web/guest/avidos-federated>.

2. Программы средней сложности

2.1. Программа Predictive Code for Aircrew Radiation Exposure (PCAire, Канада) [10, 11] позволяет авиакомпаниям и индивидуальным пользователям, часто летающим на самолетах, рассчитать дозу облучения во время перелетов в любой период солнечного цикла (рис. 4). Она проста в использовании, однако требует регистра-



А



Б

Рис. 3. AVIDOS PUBLIC Mode – публичный режим, результат расчета дозы облучения за авиаперелет: А – Шереметьево – Минеральные Воды (5 мкЗв), Б – Шереметьево – Петропавловск-Камчатский (32 мкЗв) [7]

Fig. 3. AVIDOS PUBLIC Mode - public mode, result of radiation dose calculation for air travel: А – Sheremetyevo – Mineralnye Vody (5 μ Sv), Б – Sheremetyevo – Petropavlovsk-Kamchatsky (32 μ Sv) [7]

ции и создания личного аккаунта пользователя на сайте <https://flyer.pcaire.com/>, где после каждого вычисления полученной дозы радиации за авиаперелет данные сохраняются и суммируются за год. Это позволяет пассажирам, совершающим большое количество перелетов за год, определить – не превышает ли их эффективная годовая доза нормативный уровень 1 мЗв.

2.2. AVIDOS AIRCREW Mode – второй режим работы программы AVIDOS – режим летного экипажа [9]. После регистрации на портале становится доступна информация о воздействии космического излучения на разных высотах авиационного полёта при типичных солнечных условиях. В этом режиме можно указать не только пункты вылета и прилёта, дату вылета, но и точный маршрутный лист, а также высоту на всех этапах полета (рис. 5). Поэтому режим AVIDOS AIRCREW позволяет получить более точные дозы облучения за реальный маршрут полёта, чем режим AVIDOS PUBLIC (рис. 3), при котором оценка дозы облучения проводится по кратчайшему расстоянию между пунктами вылета и прилёта.

PCAIRE
civil aviation radiation monitoring

Franglais Home Dose Report Flight Entry Profile FAQ Links About Contact Logout

Transport Flight Entry All Fields Required

Flight Number : SU 1316

Departure Date (2008-12-31): 2025-03-18

Transport Type : Personal

Departing Airport Code (e.g. CYYZ) SVO

Arrival Airport Code (e.g. YVR) MRV

☐ Multiple Flight Levels

Dose (μSv) : 8.1

© 2025 PCAire Terms of Use Privacy Statement

А

PCAIRE
civil aviation radiation monitoring

Franglais Home Dose Report Flight Entry Profile FAQ Links About Contact Logout

Transport Flight Entry All Fields Required

Flight Number : SU1856

Departure Date (2008-12-31): 2025-03-18

Transport Type : Personal

Departing Airport Code (e.g. CYYZ) VKO

Arrival Airport Code (e.g. YVR) PKG

☐ Multiple Flight Levels

Dose (μSv) : 48.1

© 2025 PCAire Terms of Use Privacy Statement

Б

Рис. 4. Программа PCAire, рабочие окна ввода информации о рейсе и вывода расчета дозы облучения за авиAPERелет: А – Шереметьево – Минеральные Воды (8,1 мкЗв), Б – Внуково – Петропавловск-Камчатский (48,1 мкЗв)

Fig. 4. PCAire program, working windows for entering flight information and displaying the radiation dose calculation for the flight:

А – Sheremetyevo – Mineralnye Vody (8.1 μSv), Б – Vnukovo – Petropavlovsk-Kamchatsky (48.1 μSv)

2.3. Программа Института прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова (ФГБУ «ИПГ»), Россия «Расчет дозы радиации при авиAPERелетах» (©ФГБУ «ИПГ» 2026, Россия, Москва) [https://space-weather.ru/#/doze-calculation].

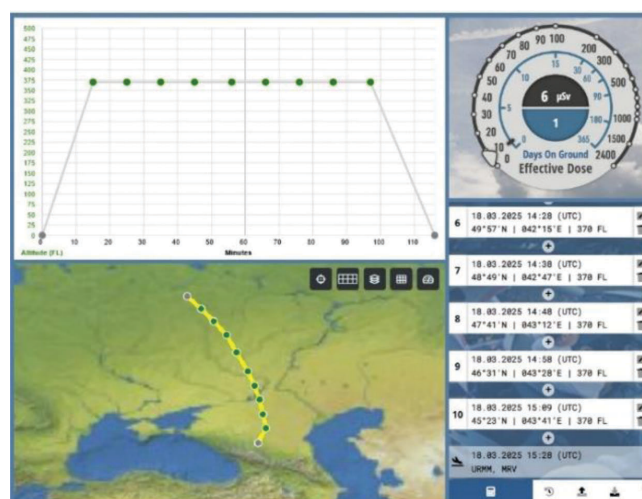
В качестве исходных данных (рис. 6) вводятся дата полета, пункты вылета и прилета (задаются по географическим координатам долготы и широты местонахождения), высота полета от 7,5 до 14 км (через каждые 0,5 км), скорость полета от 700 км/ч до 1300 км/ч (с интервалами 50 км/ч), солнечная активность (одна из 6 градаций: 0,3–0,7–1–1,5–2–2,5) в зависимости от места календарного года в 11-летнем цикле солнечной активности.

После автоматизированного расчета на дисплей выводятся значения расстояния по кратчайшему маршруту (км), время полета (ч) и доза облучения за полет (мкЗв).

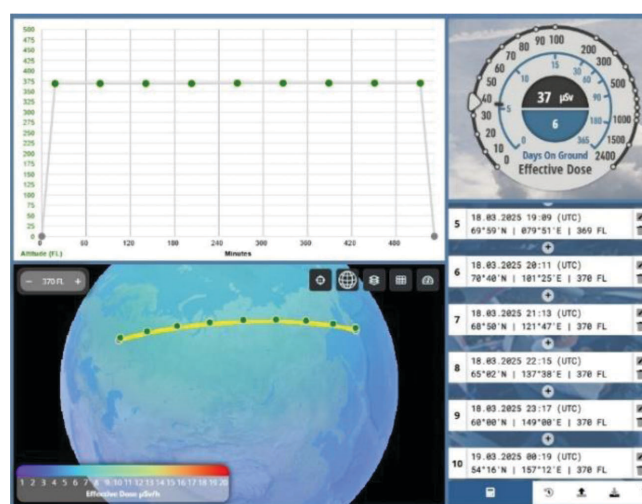
3. Профессиональные программы

3.1. Программа Flight Dosimetry for Aviation Personnel EPCARD ONLINE (European Program-Package Calculator of Aviation Route Doses) – европейский программный пакет для расчета доз на авиационном маршруте [12, 13] – автономное приложение для персонального компьютера для расчета эффективной дозы облучения за авиационный полет на высотах от 5 до 25 км.

В первых двух формах веб-браузера пользователю необходимо указать основные данные о полете (дату полета, номер рейса, аэропорты вылета и назначения, количество уровней полета и высоту) (рис. 7), по этим



А



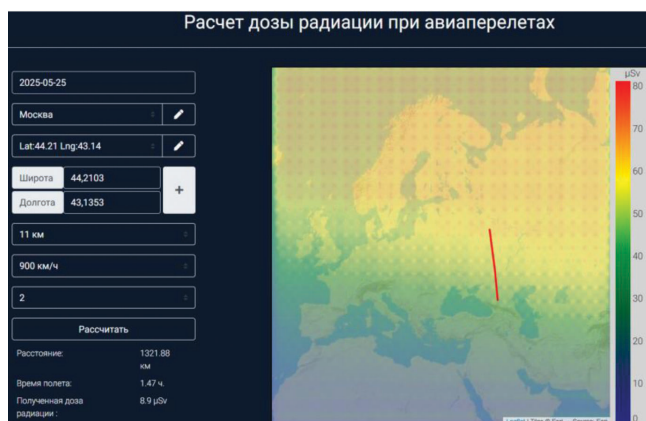
Б

Рис. 5. AVIDOS AIRCREW Mode – режим летного экипажа, результат расчета дозы облучения за авиAPERелет: А – Шереметьево – Минеральные Воды (6 мкЗв), Б – Шереметьево – Петропавловск-Камчатский (37 мкЗв) [9]. По оси абсцисс – полетное время (мин); по оси ординат – эшелон полета FL (Flight Level, от 0 до 500) – эшелон полета (стандартный уровень высоты воздушного судна, выраженный в сотнях футов и отсчитываемый относительно стандартного давления 1013,25 гПа)

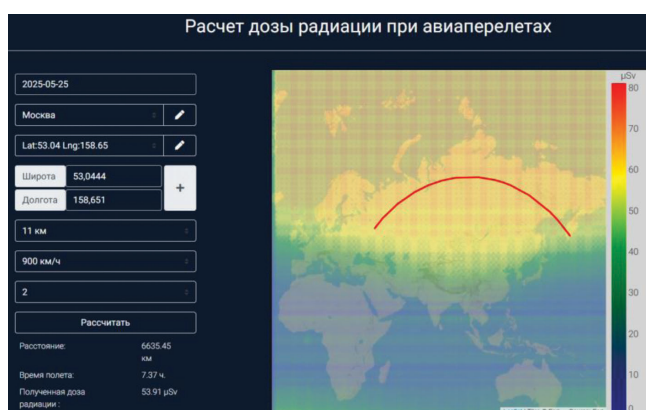
Fig. 5. AVIDOS AIRCREW Mode – flight crew mode, result of radiation dose calculation for air travel: А – Sheremetyevo – Mineralnye Vody (6 μSv), Б – Sheremetyevo – Petropavlovsk-Kamchatsky (37 μSv) [9]. On the abscissa, flight time (min); on the ordinate, flight level FL (Flight Level, from 0 to 500) – flight level (standard altitude level of an aircraft, expressed in hundreds of feet and measured relative to standard pressure of 1013.25 hPa)

данным рассчитывается и в третьей форме выводится эффективная доза (мкЗв) за время полета.

Программное обеспечение EPCARD для персонального компьютера разработано Мюнхенским центром Гельмгольца (Helmholtz Zentrum München), одобрено Федеральным управлением гражданской авиации Германии (Luftfahrt-Bundesamt, LBA). Программа коммерческая [13], дистрибьютор компания Seibersdorf Laboratories оказывает авиакомпаниям следующие услуги: оценка дозы облучения летного состава за календарный год, передача и хранение значений дозы облучения в Центральном реестре доз, прогноз предполагаемой дозы облучения за полет, индивидуальная настройка интерфейса передачи данных, измерение



А



Б

Рис. 6. Программа ФГБУ «ИПГ» «Расчет дозы радиации при авиавперелетах», окна ввода-вывода информации за полеты; при высоте полётов 11 км, скорости полётов 900 км/ч и солнечной активности = 2 дозы облучения за авиавперелет составили: А – Москва – Минеральные Воды – 8,9 мкЗв, Б – Москва – Петропавловск-Камчатский – 53,9 мкЗв [https://space-weather.ru/#/doze-calculation/]

Fig. 6. FGBU «IPG» program «Calculation of radiation dose during air flights», input-output windows for flights; at an altitude of 11 km, a flight speed of 900 km/h, and solar activity = 2, the radiation doses for the air flight were: А – Moscow – Mineralnye Vody – 8.9 μSv, Б – Moscow – Petropavlovsk-Kamchatsky – 53.9 μSv [https://space-weather.ru/#/doze-calculation/]



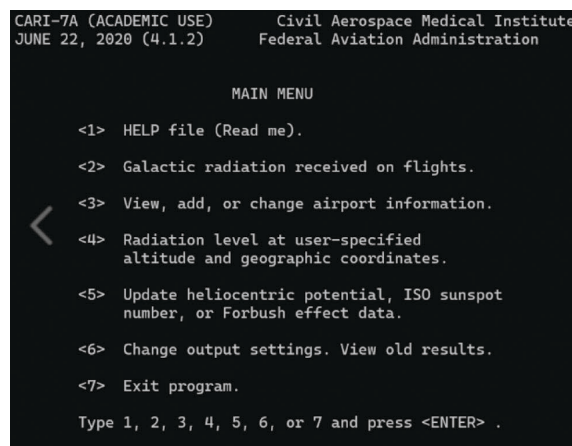
Рис. 7. Программа EPCARD ОНЛАЙН для расчёта дозы облучения членов экипажа и пассажиров во время авиационного полёта (первые две формы веб-браузера)

Fig. 7. EPCARD ONLINE program for calculating the radiation dose for crew members and passengers during an air flight (first two forms of the web browser)

радиационного облучения на борту воздушного судна, технические консультации по использованию программного продукта.

3.2. Программы CARI-6 и CARI-7A (США) [14, 15] разработаны Kyle Copeland – сотрудником Civil Aerospace Medical Research Institute (ныне – Civil Aerospace Medical Institute U.S. Federal Aviation Administration – Гражданский аэрокосмический медицинский институт Федерального авиационного управления США). Программа CARI-7A на основе дозиметрических измерений в

антропоморфном фантоме рассчитывает эффективную дозу галактического космического излучения, полученную человеком в самолете (рис. 8 А, Б). По предоставляемой пользователем информации программа выполняет расчеты с учетом изменений высоты и географического положения в процессе полета. Рейсы могут быть указаны для определенных часов и в определенные дни. Программа может производить расчеты как по кратчайшему маршруту полёта (геодезическим данным), так и с учетом определенных задаваемых путевых точек полета. Для среднемесячных расчетов программа использует базы данных изменений влияния магнитного поля Земли и солнечной активности на уровни галактического излучения в атмосфере.



А

DATE	2025.03447488579	
HELIOCENTRIC POTENTIAL	956	MV
LATITUDE	55.5872222024482	N
LONGITUDE	13.7538888889831	E
ALTITUDE	9.0000000000000	km
DEPTH	313.477600046658	g/cm ²
VERTICAL CUTOFF RIGIDITY	2.08936589637482	GV
PARTICLE	TOTAL	
ICRP PUB 60 EFFECTIVE DOSE	3.54981633430955	+/-
0.130045034217281	MICROSIEVERTS/HOUR	

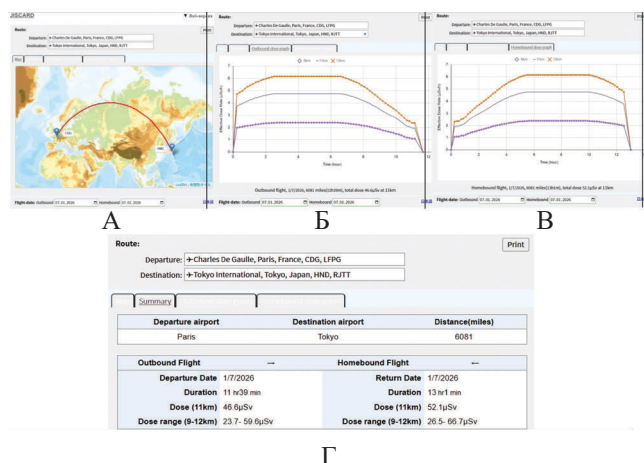
Б

Рис. 8. Программа CARI-7A версия 4.1.2. – 2020 г. А – меню программы CARI-7A, Б – результаты расчетов мощности эффективной дозы (0,13 мкЗв/ч) и дозы облучения за полёт (3,5498 мкЗв) на высоте 9 км на широте Москвы в марте 2025 г. с использованием программы CARI-7A (вертикальная жёсткость обрезания энергий ионизирующего излучения 2,089 ГэВ)

Fig. 8. CARI-7A program version 4.1.2. – 2020. А – CARI-7A program menu, Б – results of calculations of effective dose rate (0.13 μSv/h) and flight dose (3.5498 μSv) at an altitude of 9 km at the Moscow latitude in March 2025 using the CARI-7A program (vertical energy cutoff of 2.089 GeV for ionizing radiation)

3.3. Онлайн программа для расчета авиационных маршрутных доз – программа JISCARD (Japanese Internet System for Calculation of Aviation Route Doses, Япония) [16–18] – разработана в International Space Radiation Laboratory, Research Center for Radiation Safety, National Institute of Radiological Sciences, Japan. В своём интерфейсе данная программа имеет формы для введения данных о полёте (рис. 9 А, 10 А), а также выведения результатов расчета мощности дозы (рис. 9 Б, В, 10 Б, В) и дозы облучения (рис. 9 Г, 10 Г) при авиавперелёте туда и обратно.

При сравнении данных, представленных на рис. 9 и 10, видно что за полёт Москва – Сидней продолжительностью 17 ч 1 мин рассчитанная доза облучения



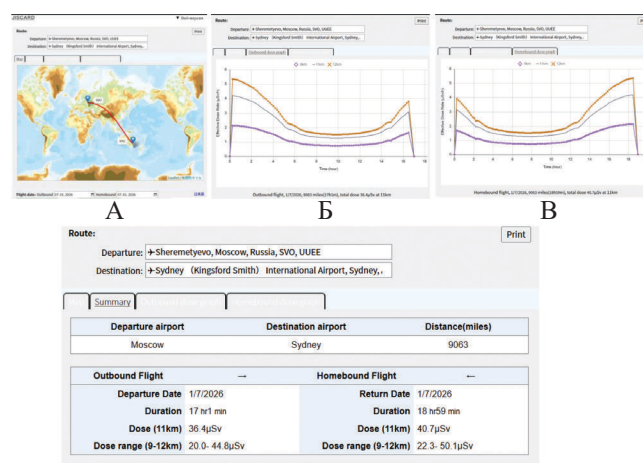
Г

Рис. 9. Интерфейс программы JISCARD для авиарейса из Парижа в Токио 07.01.2026 г. и обратно: А – маршрут полёта, дата вылета, аэропорты прилёта и вылета; динамика мощности дозы (мкЗв/ч) во время выполнения рейса Б – Париж–Токио (outbond flight) и В – Токио–Париж (homebond flight) на высотах 9, 11 и 12 км; Г – результаты расчетов суммарной дозы за рейс Париж–Токио продолжительностью 11ч 39 мин – 46,6 мкЗв (диапазон доз 23,7–59,6 мкЗв) и за рейс Токио–Париж продолжительностью 13ч 1 мин – 52,1 мкЗв (диапазон доз 26,5–66,7 мкЗв)

Fig. 9. JISCARD program interface for flights from Paris to Tokyo on 01/07/2026 and back: A – flight route, departure date, arrival and departure airports; dose rate dynamics (mSv/hr) during flights B – Paris–Tokyo (outbound flight) and B – Tokyo–Paris (homebond flight) at altitudes of 9, 11 and 12 km; Г – the results of calculations of the total dose for the Paris–Tokyo flight lasting 11 hours 39 minutes – 46.6 μ Sv (dose range 23.7–59.6 μ Sv) and for the Tokyo–Paris flight lasting 13 hours 1 min – 52.1 μ Sv (dose range 26.5–66.7 μ Sv)

(36,4 мкЗв) в 1,3 раза меньше, чем доза облучения за полёт Париж–Токио (46,6 мкЗв) продолжительностью 11ч 39 мин. Это свидетельствует об учёте программой JISCARD значительных различий в мощности дозы в зависимости от географической широты полётов (уменьшению мощности дозы от полюсов Земли к экваториальным широтам). Этим обусловлена и разная форма кривых динамики мощности дозы во времени при этих двух авиAPERелётах: во время рейса Париж – Токио мощность дозы со 2 по 8 час полёта повышается до 2,3–6,3 мкЗв/ч (рис. 9 Б, В), что характерно для средних широт, во время рейса Москва – Сидней происходит значительное (до 0,7–1,5 мкЗв/ч) снижение мощности дозы с 4 по 12 часы полёта, который в этот период проходит в экваториальных широтах (рис. 10 Б, В).

С 2016 г. программа JISCARD функционирует с интерфейсом только на японском языке [18], предоставление этой версии в 2028 г. планируется закончить. С 2016 г. компания JISCARD для расчета дозы использует программный продукт с англоязычной версией интерфейса EXPACS ver. 4.3 [19], разработанный Японским агентством по атомной энергии (Japan Atomic Energy Agency, JAEA), принципы работы которого и результаты расчетов дозы облучения летного состава близки к программе JISCARD. Система использует стандартный расчет времени полета на основе цифрового расписания Japan Airlines и рейсов других авиакомпаний, вылетающих из Японии и прилетающих в Японию. В программах JISCARD и EXPACS пользователи могут указывать около 1000 аэропортов прибытия и вылета по всему миру [18]. Однако российские города для расчета маршрутной дозы в этой системе отсутствуют за исключением Москвы (рис. 11).



Г

Рис. 10. Интерфейс программы JISCARD для авиарейса из Москвы в Сидней 07.01.2026 г. и обратно: А – маршрут полёта, дата вылета, аэропорты прилёта и вылета; динамика мощности дозы (мкЗв/ч) во время выполнения рейса Б – Москва–Сидней (outbond flight) и В – Сидней–Москва (homebond flight) на высотах 9, 11 и 12 км; Г – результаты расчетов суммарной дозы за рейс Москва–Сидней продолжительностью 17 ч 1 мин – 36,4 мкЗв (диапазон доз 20,0–44,8 мкЗв) и за рейс Сидней–Москва продолжительностью 18 ч 59 мин – 40,7 мкЗв (диапазон доз 22,3–50,1 мкЗв)

Fig. 10. JISCARD program interface for flights from Moscow to Sydney on 01/07/2026 and back: A – flight route, departure date, arrival and departure airports; dose rate dynamics (mSv/hr) during flights B – Moscow–Sydney (outbound flight) and C – Sydney–Moscow (homebond flight) at altitudes of 9, 11 and 12 km; D – the results of calculations of the total dose for the flight Moscow–Sydney lasting 17 hours 1 min – 36.4 μ Sv (dose range 20.0–44.8 μ Sv) and for the flight Sydney–Moscow lasting 18 hours 59 min – 40.7 μ Sv (dose range 22.3–50.1 μ Sv)

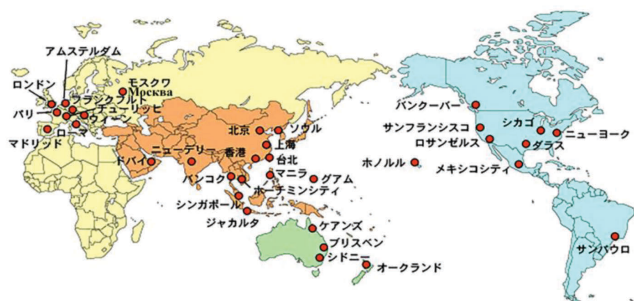


Рис. 11. Схема аэропортов прибытия и вылета, для авиарейсов между которыми программы автоматического расчета JISCARD и EXPACS рассчитывают эффективную дозу облучения за полёт (для России расчеты возможны только для авиарейсов из аэропортов Внуково и Шереметьево, г. Москва)

Fig. 11. Scheme of arrival and departure airports, for flights between which the JISCARD and EXPACS automatic calculation programs calculate the effective radiation dose per flight (for Russia, calculations are only possible for flights from Vnukovo and Sheremetyevo airports in Moscow)

3.4. Программа SIEVERT, вторая (профессиональная) версия, доступна на сайте Института радиационной защиты и ядерной безопасности IRSN (Франция) [20], предназначена для оценки доз облучения авиационного персонала, в том числе бортпроводников. Все полученные дозиметрические данные автоматически передаются в авиакомпанию и в информационную систему учета профессиональной дозиметрии летного состава SISERI. Для расчета эффективной дозы программа разделяет воздушное пространство на 265 тыс. ячеек (рис. 12), образуя из него сетку из ячеек. Далее из немецкого цен-

тра биомедицинских исследований Helmholtz Munich получают информацию о мощности излучения в каждой ячейке воздушного пространства. На последнем этапе SIEVERT, используя программное обеспечение EPCARD, производит дозиметрические расчеты, учитывая время пребывания самолета и мощность дозы в каждой из этих ячеек. Затем вся эта информация складывается в эффективную дозу облучения членов экипажа самолета за этот авиaperелет.

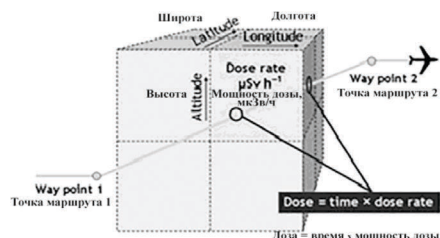


Рис. 12. Схема одной из 265 тыс. ячеек воздушного пространства по маршруту авиaperелёта с указанием мощности дозы излучения (мкЗв/ч), эти значения используются программой SIEVERT для расчета суммарной эффективной дозы облучения (мкЗв) за авиaperелёт

Fig. 12. Diagram of one of the 265 thousand cells of the airspace along the flight route with an indication of the radiation dose rate (mSv/h), these values are used by the SIEVERT program to calculate the total effective radiation dose (mSv) per flight

Программа SIEVERT используется с 2014 года и выполняет 2 функции: расчет эффективной дозы облучения летного состава и пассажиров с учетом солнечной активности, а также информационную в виде краткого образовательного ресурса о космическом излучении и воздействии радиации на здоровье. Авиакомпания, которая через SIEVERT производит оценку доз индивидуального облучения летного состава, отправляет в систему файл с информацией о прошедшем рейсе, где указывается время, место вылета и прилета, высота полета, а также точки маршрута для более точного расчета.

4. Научные программы

4.1. Программа AVIDOS SIENCE mode © Seibersdorf Labor GmbH, 2025 – третий (научный) режим пакета AVIDOS [6, 21–23] – позволяет анализировать эффективные дозы (мкЗв) с использованием инфографики (рис. 13 А, Б) с учётом вклада галактического (ГКЛ) и солнечного (СКЛ) излучения. AVIDOS SIENCE Mode позволяет рассчитать дозу облучения при перелёте между любыми двумя точками на разных высотах авиационного полёта, оценить в режиме реального времени воздействие радиации как при типичных, так и при исключительных солнечных условиях – высокой солнечной активности и во время солнечных протонных событий (рис. 14).

На рис. 14 за полёт по маршруту Лос-Анджелес–Париж 29 сентября 1989 г. на эшелоне 370 FL (37 тыс. футов или 11278 м) представлены дозы облучения летного состава, рассчитанные на основании модельных данных о мощности эквивалентной (амбиентной $dH \times (10)/dt$) дозы. В этот день при крейсерской высоте полёта (370 FL) они составили: от галактического космического излучения ГКЛ (galactic cosmic rays, GCR) – 39,53 мкЗв, от солнечного космического излучения СКЛ (solar cosmic rays, SCR) – 175,95 мкЗв, суммарная доза – 215,48 мкЗв.

На этом веб-сайте в интересах европейских авиакомпаний размещены также продукты для научных центров, такие как система оповещения о выбросах корональной массы Солнца и солнечных энергичных частицах COMESER и система эмпирического прогнози-

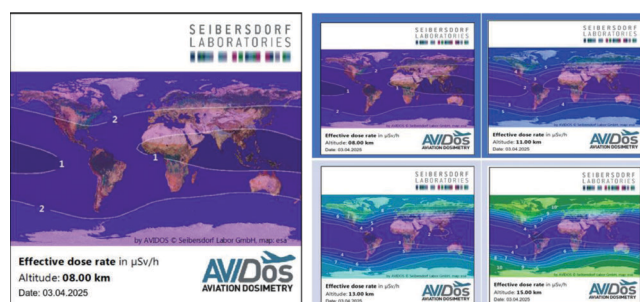


Рис. 13. AVIDOS SIENCE Mode – научный режим [22], инфографика [23] мощности эффективной дозы излучения (мкЗв/ч) на высотах: А – 8 км (изолинии – зоны 1 и 2), Б – 8, 11, 13 и 15 км (изолинии – зоны 1–10)

Fig. 13. AVIDOS SIENCE Mode – scientific mode [22], infographic [23] of effective radiation dose rate (mSv/h) at altitudes: А – 8 km (isoline zones 1 and 2), Б – 8, 11, 13, and 15 km (isoline zones 1–10)

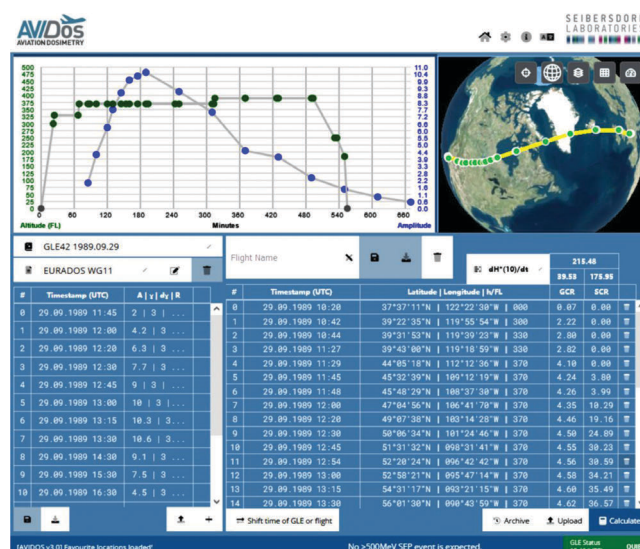


Рис. 14. AVIDOS v.3.0 SIENCE Mode – научный режим, интерфейс программы. Приведены данные о дозах облучения летного состава за авиaperелет Лос-Анджелес – Париж (полётное время 9 ч.) в период солнечного протонного события GLE42 с энергией протонов более 500 МэВ, которое произошло 29 сентября 1989 г. По оси абсцисс – время полёта в часах, по левой оси ординат – FL (Flight Level, от 0 до 500) – эшелон полёта (стандартный уровень высоты воздушного судна, выраженный в сотнях футов и отсчитываемый относительно стандартного давления 1013,25 гПа), по правой оси ординат – уровень вспышечной активности солнца (по шкале от 0 до 11)

Fig. 14. AVIDOS v.3.0 SIENCE Mode – scientific mode, program interface. Data on radiation doses of flight personnel for the Los Angeles – Paris air flight (flight time 9 h) during the solar proton event GLE42 with proton energy more than 500 MeV, which occurred on September 29, 1989. On the abscissa axis is the flight time in hours, on the left ordinate axis is FL (Flight Level, from 0 to 500) is the flight level (the standard aircraft altitude level, expressed in hundreds of feet and measured relative to the standard pressure of 1013.25 gPa), on the right ordinate axis is the level of solar flare activity (on a scale from 0 to 11)

рования солнечного ветра AWARE, объединены ресурсы и экспертные знания в области космической погоды со всей Европы, которые предоставляются заинтересованным сторонам. Однако к научному режиму программы AVIDOS свободный доступ отсутствует, и требуется оформление Договора на её использование.

4.2. Программа RUSCOSMICS ©Маурчев Евгений, Диденко Ксения (Полярный геофизический институт, ИЗМИРАН, Россия) в режиме реального времени в виде инфографики (рис. 15) информирует о мощности экви-

валентной дозы излучения в час, рассчитываемой с использованием модели прохождения космических лучей через атмосферу Земли и данных о первичном спектре протонов с космического аппарата GOES [24, 25].

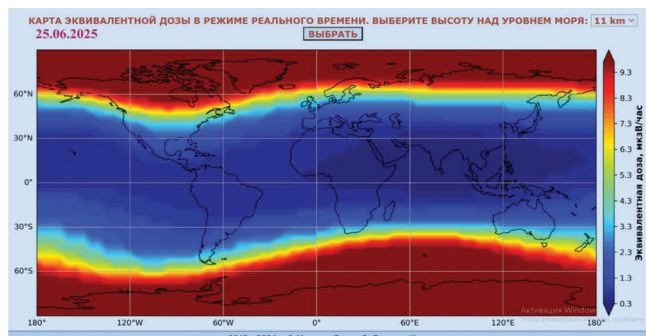


Рис. 15. Значения мощности эквивалентной дозы (мкЗв/ч) с карты эквивалентной дозы (<https://www.ruscsmics.ru/>) 25 июня 2025 г. на высоте 11 км; по левой оси ординат – градусы северной и южной широты, по правой оси ординат – мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч, по оси абсцисс – градусы долготы

Fig. 15. Equivalent dose rate values (mSv/h) from the equivalent dose map (<https://www.ruscsmics.ru/>) on June 25, 2025, at an altitude of 11 km; the left ordinate axis shows degrees of north and south latitude, the right ordinate axis shows equivalent dose rate, mSv/h, and the abscissa axis shows degrees of longitude

Обновление данных на сервере происходит каждые 5 мин. Выбор необходимой высоты осуществляется в ниспадающем меню, расположенном справа над изображением. После нажатия кнопки «ВЫБРАТЬ» будет отрисована карта доз, актуальная на текущее время для заданной высоты над уровнем моря. В настоящее время корректность расчетов по этой Программе ограничена возможностями используемой математической модели точно оценивать мощности доз только ниже высот 13–15 км и нестабильностью работы сервера.

Обобщенная информация о проанализированных и систематизированных в 4 класса программ для расчета дозы облучения летного состава и авиапассажиров приведена в табл. 2.

Как видно из табл. 2, в простейших Программах (1.1. Flight Radiation Calculator, 1.2. Flight-radiation-exposure, 1.3. SIEVERT упрощенная, 1.4. AVIDOS PUBLIC) в качестве исходных данных вводятся продолжительность полета (ч), дата и время вылета рейса, аэропорт вылета (для России – ограниченный перечень). Программы позволяют крайне ориентировочно рассчитывать эффективную дозу (мкЗв) за полет исходя только из его продолжительности. К этим программам для всех пользователей имеется свободный доступ.

В Программах средней сложности (2.1 PCAire, 2.2 AVIDOS AIRCREW, 2.3 ФГБУ «ИПГ») в качестве исходных данных, кроме продолжительности и времени вылета, вводятся также аэропорты вылета и посадки, что позволяет учитывать маршрут полета по кратчайшему расстоянию между ними. К программе 2.3. ФГБУ «ИПГ» доступ свободный, программы 2.1. PCAire и 2.2. AVIDOS AIRCREW доступны после регистрации на сайте разработчика.

Основное отличие профессиональных программ (3.1. EPCARD, 3.2.1 CARI-6 и 3.2.2 CARI-7A, 3.3.1 JISCARD, 3.3.2. EXPACS) от простых и средней сложности программ в том, что кроме даты и продолжительности авиaperелета, вводится также номер рейса, что позволяет учитывать реальный маршрут полета от аэропорта вылета до аэропорта посадки, и, соответственно, более точно оценить дозу облучения экипажа за каждый полет. Кро-

ме того, в профессиональных программах информация по каждому члену экипажа сохраняется в базе данных авиакомпании для последующего расчета и анализа суммарной дозы облучения за месяц и за календарный год. Профессиональные программы доступны летному составу и службе персонала авиакомпаний по договору с разработчиками программ.

Научные программы (4.1. AVIDOS SIENCE и 4.2. RUSCOSMICS) позволяют задавать в качестве исходных данных местоположение или географические координаты аэропорта вылета и прилета, дату, высоту и текущее время полета. Вычисления по этим программам основываются на параметрах мощности излучений от галактических и солнечных протонов со стационарных спутников GOES, D3S и наземных мониторов. После выполнения расчетов выводятся значения эквивалентной (амбиентной $dH^*(10)/dt$) и эффективной дозы (мкЗв). Программа 4.1. AVIDOS SIENCE показывает вклад дозы от галактического и от солнечного излучений за время полета, что особенно важно при внезапных солнечных вспышках. Программа 4.2. RUSCOSMICS в виде инфографики отображает мощность эффективной дозы (мкЗв/ч) на высотах полета до 20 км в режиме реального времени, исходя из этого возможен прогноз дозы облучения по всему маршруту полета. К программе 4.2. RUSCOSMICS до настоящего времени имеют свободный доступ все пользователи, к программе 4.1. AVIDOS SIENCE – сотрудники научных центров только по договору с разработчиком Программы.

Заключение

В обширном обзоре автоматизированных программ для дозиметрии при авиaperелетах [1] были описаны детекторы и дозиметрические системы для измерения разных видов ионизирующего излучения, дана краткая информация о программах зарубежных разработчиков (CARI-6, EPCARD 3.2., AVIDOS 1.0, PCAIRE, SIEVERT 1.0, JISCARD) и представлены расчетные результаты сличения накопленной дозы при авиaperелетах по международным маршрутам для пяти основанных на разных эмпирических моделях онлайн-программ (EPCARD, Bern University, SIEVERT, CARI-6 и JISCARD). Однако проведенный анализ был ограничен перечнем и возможностями программ на период до 2014 г. Кроме того, в этом обзоре [1] не были отражены простые калькуляторы и отсутствовавшие на тот период времени отечественные программы. Результаты проведенного нами анализа обобщают сведения о современном уровне программ для расчета дозы облучения авиационного персонала в полете, что позволило сгруппировать их в зависимости от их характеристик и возможностей на 4 класса: на простейшие, средней сложности, профессиональные и научные.

Разработка автоматизированных программ является крайне актуальной для решения задач оценки и учета эффективной дозы облучения летного состава в целях обеспечения норм радиационной безопасности экипажей самолётов при авиaperелетах. В связи с развитием экономики в полярных областях России требуется постоянный мониторинг мощности радиации как на земле, так и при авиационных полетах в арктической зоне, отличающейся повышенным уровнем фонового космического излучения. В связи с этим, учитывая сложность алгоритмов расчетов, возрастает практическая значимость исследований по обоснованию методов и созданию отечественного программного обеспечения для автоматизированной оценки доз облучения летного состава.

Таблица 2

Программы для расчета доз облучения летного состава и пассажиров в авиационном полёте
Programs for calculating radiation doses for flight personnel and passengers during an aviation flight

Классы программ	Программы (страна)	Входные параметры полёта	Выходные параметры расчета	Доступность	Интернет-адрес
1. Простейшие	1.1. Flight Radiation Calculator 1.2. Flight-radiation-exposure	Продолжительность полёта (ч)	Ориентировочная эффективная доза (мкЗв) за полёт исходя из продолжительности	Пассажиры и все пользователи (свободный доступ)	1.1 https://www.dosewizard.com/2024/12/flight-radiation-calculator.html 1.2. https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/calculator/flight-radiation-exposure/
	1.3. SIEVERT упрощенная (Франция) 1.4. AVIDOS PUBLIC (Германия)	Продолжительность полёта (ч) Дата и время вылета рейса, аэропорт вылета (для России – ограниченный перечень)	Ориентировочная эффективная доза (мкЗв) с учетом ограниченного числа параметров	Пассажиры и все пользователи (свободный доступ)	1.3. https://www.sievert-system.org/?locale=en#Calcul 1.4. https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/public-mode
2. Средней сложности	2.1. PCAire (Канада) 2.2. AVIDOS AIRCREW (Германия) 2.3. ФГБУ «ИПГ» (Россия)	Дата, время вылета, учитывается маршрут полета по кратчайшему расстоянию между а/п вылета и посадки	Эффективная доза (мкЗв) за полёт по кратчайшему расстоянию между аэропортами вылета и посадки	Пассажиры и лётный состав (2.1 и 2.2 после регистрации на сайте)	2.1. https://flyer.pcaire.com/DoseReport.aspx 2.2. https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/aircrew-mode 2.3. https://space-weather.ru/#/doze-calculation
3. Профессиональные	3.1. EPCARD (Европа) 3.2.1. CARI-6, 3.2.2. CARI-7A (США) 3.3.1. JISCARD (Япония) 3.3.2. EXPACS (Франция) 3.4. SIEVERT профессиональная (Франция)	Дата, время, номер рейса, учитывается реальный маршрут полета от аэропорта вылета до аэропорта посадки	Эффективная доза (мкЗв) за полёт по реальному маршруту. Мощность эффективной дозы (мкЗв/ч) на заданной высоте и в точке маршрута	Летный состав, служба персонала авиакомпаний по договору с разработчиками Программ	3.1. https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/epcard 3.2.1. https://www.faa.gov/data/research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari6 3.2.2. https://www.faa.gov/data/research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari7 3.3.1. http://jiscard.jp/jiscard_r02/index.html 3.3.2. https://phits.jaea.go.jp/expacs/index.html 3.4. https://www.sievert-system.org/#Calcul
4. Научные	4.1. AVIDOS SIENCE (Германия)	Местоположение или географические координаты а/п вылета и прилета, дата, высота, текущее время полета, спектры галактических и солнечных протонов со стационарных спутников D3S, GOES и наземных мониторов	Значения эквивалентной (амбиентной) и эффективной дозы (мкЗв); Вклад дозы от галактического и дозы от солнечного излучения за время полёта, в том числе при солнечных вспышках	Сотрудники научных центров по договору с разработчиком Программы	4.1. https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/science-mode
	4.2. RUSCOSMICS (Россия)	Географические координаты (широта, долгота) а/п вылета и прилёта, дата, время, высота и продолжительность полёта	Мощность эффективной дозы (мкЗв/ч) на заданных высотах полёта в режиме реального времени и прогнозируемые по маршруту полёта	Все пользователи (свободный доступ)	4.2. https://www.ruscosmics.ru/?altit=9&submit=ВЫБРАТЬ

Выводы

1. Прикладные программы для автоматизированных расчетов доз облучения в авиационном полёте могут быть сгруппированы на 4 класса: простейшие, средней сложности, профессиональные и научные.
2. В простейших и средней сложности программах расчеты доз облучения основаны на ограниченном числе входных параметров – в основном, на продолжительности полёта по кратчайшему расстоянию между аэропортами вылета и посадки. Эти программы находятся в свободном доступе, но расчеты крайне ориентировочны, их результаты могут быть использованы пассажирами, для которых не критична точная оценка дозы за полёт и годовой дозы облучения.

3. Профессиональные программы учитывают кроме времени полёта географическую широту и долготу аэропортов вылета и прилёта, высоту и реальный маршрут полёта. Однако эти программы – коммерческие, не имеют открытого доступа. Кроме того, возможности их использования российскими авиакомпаниями ограничены, так в программе SIEVERT представлены лишь 6 аэропортов крупных российских городов (Москва, Санкт-Петербург, Ростов, Екатеринбург, Самара, Новосибирск), в Программе JISCARD только аэропорты Москвы.
4. Достаточно точны оценки доз облучения с использованием научных программ зарубежных разработчиков, они учитывают уровень солнечной активности, в

том числе в периоды солнечных вспышек, вклад электромагнитной и протонной составляющих излучения в верхних слоях атмосферы Земли, но не обеспечивают получение данных о мощности дозы радиации в режиме реального времени. При всех достоинствах этих программ их практическое использование службами контроля доз облучения летных экипажей российских авиакомпаний затруднительно из-за их коммерческого характера.

- Отечественные программы «Расчет дозы радиации при авиаперелетах» (Института прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова) и RUSCOSMICS (Полярный геофизический институт, ИЗМИРАН), позволяют оценивать дозу облучения от галактического компонента за авиаперелет с учетом высоты и дальности полета. Ограничением программы ИПГ является отсутствие возможности оценки дозы облучения за авиаперелет в реальном режиме времени.

В программе RUSCOSMICS результаты выдаются только в виде инфографики, нет возможности ввода исходных характеристик авиационного полета и цифрового вывода рассчитанной дозы за конкретный авиaperелет, что делает невозможным её практическое применение авиационным персоналом для контроля и постоянного учета доз облучения. Для использования программы RUSCOSMICS летным составом и бортопроводниками требуется разработка доступного интерфейса, существенная доработка программного продукта в плане дополнения его блоками ввода и вывода данных в цифровом формате, сохранения результатов вычислений в базе данных авиакомпании, а также повышения стабильности её работы.

Благодарность

Авторы благодарят за сотрудничество при подготовке материалов В.А. Оранского и И.М. Максимова.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- Морозова М.А., Лапшин В.Б., Доренский С.В., Сыроешкин А.В. Дозиметрия при авиаперелетах // Гелиогеофизические исследования. 2014. №10. С. 45-92 [Morozova M.A., Lapshin V.B., Dorenskiy S.V., Syroeshkin A.V. Dosimetry for Passenger Air Service. *Geliogeofizicheskie Issledovaniya*. 2014;10: 45-92 (In Russ.)].
- Flight Radiation Calculator (Калькулятор радиации в полете), DoseWizard, Last Modified December 22, 2024. URL: <https://www.dosewizard.com/2024/12/flight-radiation-calculator.html>.
- Calculator «Flight-Radiation-Exposure». URL: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/calculator/flight-radiation-exposure/>.
- Clairand I., Fuller N., Bottollier-Depois J-F., Tromprier F. SIEVERT System for Aircrew Dosimetry. DOI: 10.1093/rpd/ncp123.
- Latocha M., Beck P., Rollet S. AVIDOS – a Software Package for European Accredited Aviation Dosimetry Available for Purchase Get Access Arrow. Radiation Protection Dosimetry. 2009;October;136;4:286–290. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp126>.
- AVIDOS (Aviation Dosimetry) – website Seibersdorf Laboratories. URL: <https://www.seibersdorf-laboratories.at/index.php?id=1197&L=1>.
- The European Space Agency, ESA. URL: <https://swe.ssa.esa.int/web/guest/avidos-federated>.
- AVIDOS PUBLIC Mode. URL: <https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/public-mode>.
- AVIDOS AIRCREW Mode. URL: <https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/aircrew-mode>.
- Lewis B.J., Bennett L.G.I., Green A.R., Butler A., Desormeaux M., Kitching F., McCall M.J., Ellaschuk B., Pierre M. Aircrew Dosimetry Using the Predictive Code for Aircrew Radiation Exposure (PCAIRE). Radiation Protection Dosimetry. 2005;20 December;116;1-4:320–326. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/nci024>.
- McCall M.J., Lemay F., Bean M.R., Lewis B.J., Bennett L.G.I. Development of a Predictive Code for Aircrew Radiation Exposure Available for Purchase Get Access Arrow. Radiation Protection Dosimetry. 2009;October;136;4:274–281. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncp130>.
- Poje Sovilj M., Vuković Branko, Radolić Vanja, Miklavčić Igor, Stanić Denis. Potential Benefit of Retrospective Use of Neutron Monitors in Improving Radiation Exposure Assessment on International Flights. Arh Hig Rada Toksikol. 2020;71:152-157. DOI: <https://doi.org/10.2478/aiht-2020-71-3403>.
- EPCARD.NET Seibersdorf Laboratories. Коммерческое предложение. URL: <https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/epcard>.
- Software program CARI-6 (USA). URL: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari6.
- Software program CARI-7A (USA). URL: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari7.
- Andersson M., Ryufuku S., Yasuda H. PY Extension of the Internet Program for Calculation of Aviation Route Doses (JISCARD). Conference: AOCRP 3. 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/367090689_Extension_of_the_Internet_Program_for_Calculation_of_Aviation_Route_Doses_JISCARD.
- Yasudaa H., Satob T., Terakadoc M. A Personal Use Program for Calculation of Aviation Route Doses. 2008. The Program JISCARD (Japan). URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Personal-Use-Program-for-Calculation-of-Aviation-Yasudaa-Satob/fa719b79f9f2ee2af4fa7ad37f02ea90c573aee>.
- JISCARD. Explanation of Calculation Conditions. URL: <http://jiscard.jp/outline/condition.shtml#sun/>. URL: http://jiscard.jp/jiscard_r02/index.html.
- EXPACS. Excel-Based Program for Calculating Atmospheric Cosmic Ray Spectrum. URL: <https://phits.jaea.go.jp/expacs/index.html>.
- The French Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ASNR) SIEVERTPN. Calculate the Dose Received. URL: <https://www.sievert-system.org/#Calcul>.
- The ESA Space Weather Service Network. The European Space Agency. URL: <https://swe.ssa.esa.int/#>.
- AVIDOS SIENCE Mode. URL: <https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/science-mode>.
- AVIDOS SIENCE Mode. Current Exposure in Different Altitudes. URL: <https://www.seibersdorf-laboratories.at/en/products/ionizing-radiation/dosimetry/avidos/current-exposure>.
- The Program RUSCOSMICS. URL: <https://www.ruscsmics.ru/?altit=11&submit=ВЫБРАТЬ>.
- Маурчев Е.А., Германенко А.В., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б. Оценка эквивалентной дозы излучения в режиме реального времени по данным спутника GOES // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т.2, №2. С. 13–18 [Maurchev E.A., Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B. The Real Time Estimation of the Equivalent Radiation Dose with the Goes Satellite Proton Data. *Trudy Kol'skogo Nauchnogo Tsentra RAN. Seriya: Yestestvennyye i Gumanitarnyye Nauki* = Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities. 2023;2;2:13–18 (In Russ.)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.04.2026. **Принята к публикации:** 25.05.2026.

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: 20.04.2026. **Accepted for publication:** 25.05.2026.