

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.Ломоносова
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



На правах рукописи

ЖДАНОВА Екатерина Юрьевна

**ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ
РАДИАЦИИ, ВЛИЯЮЩЕЙ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА, В
СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ**

Специальность 25.00.30 — метеорология, климатология и агрометеорология

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
профессор, доктор географических наук
ЧУБАРОВА Наталья Евгеньевна

Москва – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 Биологически активная ультрафиолетовая радиация | 10 |
| 1.1 Основные геофизические факторы, определяющие поступление УФР к поверхности Земли | 12 |
| 1.1.1 Уравнение переноса солнечного излучения | 12 |
| 1.1.2 Астрономические факторы | 15 |
| 1.1.3 Атмосферные факторы | 16 |
| 1.1.4 Альbedo подстилающей поверхности | 27 |
| 1.1.5 Высота над уровнем моря | 28 |
| 1.2 Влияние биологически активной УФР на здоровье человека . . | 30 |
| 1.2.1 Эритемная УФР и УФР, способствующая образованию витамина D | 30 |
| 1.2.2 Кривые действия эритемной радиации и радиации, способствующей образованию витамина D | 35 |
| 1.2.3 Экспериментальные оценки концентраций витамина D в организме человека | 39 |
| 1.3 Основные методы изучения пространственного и временного распределения УФР | 42 |
| 1.3.1 Измерения УФР | 42 |
| 1.3.2 Моделирование УФР | 48 |
| 1.3.3 Оценки пространственно-временного распределения биологически активной УФР у поверхности Земли | 49 |
| 1.4 Выводы к главе 1 | 50 |
| 2 Материалы и методы исследования | 52 |
| 2.1 Модель радиационного переноса TUV. | 52 |
| 2.2 Созданные базы данных основных геофизических параметров, влияющих на поступление УФР к поверхности Земли, на территории Северной Евразии | 53 |
| 2.3 Данные измерений | 55 |
| 2.4 Выводы к главе 2 | 62 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3 | Оценка влияния основных геофизических факторов на два вида БАУФР на основании модельных расчетов | 63 |
| 3.1 | Чувствительность двух видов БАУФР к основным геофизическим параметрам | 63 |
| 3.2 | Относительная изменчивость двух видов БАУФР за счет изменений основных геофизических параметров | 69 |
| 3.3 | Выводы к главе 3 | 72 |
| 4 | Оценка особенностей пространственно-временного распределения основных геофизических факторов, влияющих на УФР, и биологически активной УФР на территории Северной Евразии | 74 |
| 4.1 | Общее содержание озона | 74 |
| 4.2 | Аэрозоль | 77 |
| 4.3 | Альbedo поверхности | 86 |
| 4.4 | Облачность | 88 |
| 4.4.1 | Метод определения облачного пропускания УФР | 88 |
| 4.4.2 | Описание баз данных, используемых для расчета облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра | 93 |
| 4.4.3 | Тестирование предлагаемого метода оценки облачного пропускания УФР | 99 |
| 4.4.4 | Облачное пропускание УФР на территории Северной Евразии | 102 |
| 4.5 | Биологически активная УФР у поверхности Земли | 105 |
| 4.5.1 | Метод расчета доз биологически активной УФР | 105 |
| 4.5.2 | Распределение УФ-индексов в безоблачных условиях | 107 |
| 4.5.3 | Распределение УФ-индексов в средних облачных условиях | 110 |
| 4.6 | Выводы к главе 4 | 111 |
| 5 | УФ-ресурсы на территории Северной Евразии | 113 |
| 5.1 | Метод определения влияния БАУФР на здоровье человека | 113 |
| 5.2 | Эритемная УФР и УФ-ресурсы в Москве | 123 |
| 5.2.1 | Основные параметры, влияющие на изменения эритемной УФР в Москве | 123 |
| 5.2.2 | Эритемная УФР в Москве | 124 |

| | | |
|-------|--|------------|
| 5.2.3 | УФ-ресурсы в Москве | 129 |
| 5.3 | УФ-ресурсы в безоблачных условиях на территории Северной Евразии | 136 |
| 5.4 | УФ-ресурсы в средних облачных условиях на территории Северной Евразии | 144 |
| 5.5 | Распределение УФ-оптимума для различных типов кожи человека на территории Северной Евразии | 152 |
| 5.6 | Интерактивная программа для оценки УФ-ресурсов на территории Северной Евразии | 154 |
| 5.7 | Выводы к главе 5 | 161 |
| | Заключение | 163 |
| | Список литературы | 165 |
| | Список иллюстраций | 183 |
| | Список таблиц | 189 |
| | Приложение | 191 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Ультрафиолетовая радиация (УФР) оказывает существенное влияние на здоровье человека, в том числе на кожу, глаза, иммунную систему [145, 146]. С одной стороны, избыточное УФ-облучение может привести к серьезным заболеваниям кожи (рак кожи) и глаз (фотокератит, катаракта, конъюнктивит и др.), с другой стороны, 90% витамина D, необходимого для здоровья, образуется в организме человека под воздействием УФР [91].

Для характеристики потенциальной опасности УФР для здоровья наиболее часто используется эритемная УФР с максимумом эффективности в УФ-В области спектра (эритема - покраснение кожи незагорелого человека). Для оценок доз эритемной УФР, поступающих к поверхности Земли, используются данные наземных и спутниковых измерений и результаты радиационного моделирования. Пространственно-временное распределение эритемной УФР для различных территорий земного шара представлены в ряде работ российских и зарубежных исследователей. Первые карты УФР для территории СССР были составлены в монографии "Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба" [20]. В работе [38] предложен метод для построения карт УФР у поверхности Земли в реальном времени для территории Австрии с использованием данных наземных и спутниковых измерений. Карты эритемной УФР для каждого месяца были созданы для территории Словакии [122]. Для территории Новой Зеландии был создан атлас различных видов биологически активной УФР, доступный на сайте <http://www.niwa.co.nz/>. В рамках реализации международного проекта COST726 был разработан электронный атлас суточных доз эритемной УФР для территории Европы с разрешением по пространству 1° на 1° для периода 1958-2002 гг. [102]. Для территории Европы был разработан атлас годовых доз эритемной УФР [65] на основе данных радиационного моделирования с учетом изменений высоты Солнца и общего содержания озона по данным спутникового радиометра TOMS.

Однако небольшие дозы УФР оказывают положительное влияние на здоровье человека. В 2006 году Международной комиссией по освещению был принят спектр действия образования витамина D под действием УФР [43]. Используя принятый спектр действия, были получены оценки влияния УФР

на образование витамина D в различных географических районах, например, [54, 86, 100, 116, 150, 157].

К недостаткам существующих исследований можно отнести отсутствие комплексной оценки влияния УФР на здоровье человека одновременно с точки зрения образования витамина D и эритемы на всей территории Северной Евразии (40.5° - 80.5° с.ш., 25.5° з.д. - 180° в.д.). Таким образом, изучение пространственно-временного распределения биологически активной УФР (БАУФР), оказывающей влияние на здоровье человека, на территории Северной Евразии является актуальной задачей. В диссертационной работе для комплексной оценки воздействия УФР на здоровье человека вводится понятие "УФ-ресурсы".

Выбор территории Северной Евразии, а не только территории России, для исследования объясняется несколькими причинами: 1) необходимостью изучения УФР на территории Азии в связи с редкостью наземной сети измерений, 2) наличием многочисленных работ, касающихся различных аспектов исследования УФР в Европе, которые позволяют верифицировать получаемые результаты. Кроме того, Северная Евразия является территорией исследования для современного междисциплинарного проекта Пан-Евразийского Эксперимента: РЕЕХ, нацеленного на изучение взаимосвязей между биосферой, океаном, криосферой и климатом [119].

Объектом исследования является биологически активная УФР.

Предметом исследования является пространственно-временное распределение УФ-ресурсов на территории Северной Евразии.

Целью работы является разработка метода оценки УФ-ресурсов и определение особенностей их пространственно-временного распределения на территории Северной Евразии.

В связи с этим были поставлены следующие **задачи**:

- Провести оценку чувствительности разных видов БАУФР к изменению основных геофизических факторов.
- Создать для дальнейшего моделирования УФР базы данных наиболее важных геофизических параметров, определяющих поступление УФР к поверхности Земли, и выявить особенности их распределения на территории Северной Евразии.
- Разработать метод оценки и классификацию УФ-ресурсов.

- Оценить УФ-ресурсы в московских условиях по данным измерений Метеорологической Обсерватории МГУ (МО МГУ).
- Оценить распределение УФ-ресурсов в ясных и средних облачных условиях на территории Северной Евразии.
- Создать интерактивную программу для определения УФ-ресурсов на территории Северной Евразии.

Научная новизна

- Впервые получены оценки чувствительности двух видов БАУФР к изменению основных геофизических факторов на основании модельных расчетов и измерений Метеорологической Обсерватории МГУ.
- Предложен метод оценки облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра по данным спутниковых измерений и реанализа, который позволил уточнить распределение облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра на территории Северной Евразии.
- Впервые составлена комплексная база данных основных геофизических параметров (общее содержание озона, аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм, альbedo поверхности, облачное пропускание), влияющих на УФР, для территории Северной Евразии с временным разрешением 1 месяц и пространственным разрешением 1 градус.
- Разработан новый метод оценки УФ-ресурсов.
- Впервые по предлагаемому методу и по уточненным данным многолетних измерений Метеорологической Обсерватории МГУ оценены УФ-ресурсы в Московском регионе.
- Впервые на основании надежных баз геофизических данных определено пространственно-временное распределение УФ-ресурсов для разных типов кожи на территории Северной Евразии.

Практическая значимость работы

- Полученные результаты, а также интерактивная программа для определения доз эритемной УФР и УФ-ресурсов (<http://momsu.ru/uv/>), могут быть использованы для оповещения населения об уровне УФ-недостаточности и УФ-избыточности и составления рекомендаций по режиму УФ-облучения и гелиотерапии.
- По результатам работы проведено уточнение архива данных многолетних измерений эритемной УФР, проводимых в МО МГУ.
- Полученные оценки пространственно-временного распределения БАУФР могут быть использованы в эпидемиологических исследованиях, для оценки накопленных доз УФР за длительный период времени, которые могут приводить к развитию рака кожи.

Личный вклад автора

Все анализируемые результаты работы получены автором лично или в соавторстве с доктором географических наук Натальей Евгеньевной Чубаровой. Ведущая роль в постановке задачи, а также идея метода определения УФ-ресурсов принадлежит Н.Е. Чубаровой. Личный вклад автора состоит в самостоятельном проведении всех необходимых расчетов, анализе использованных данных, а также в интерпретации полученных результатов. Необходимые расчетные программы, используемые на всех этапах исследования, созданы автором. Кроме того, автором была разработана интерактивная программа для оценки УФ-ресурсов на территории Северной Евразии. Автор принимал непосредственное участие в написании научных статей по теме диссертации и в представлении научных докладов, в том числе в качестве докладчика.

Положения, выносимые на защиту

- Метод определения и классификация УФ-ресурсов.
- Пространственно-временное распределение УФ-ресурсов на территории Северной Евразии в ясных и средних облачных условиях.
- Особенности чувствительности эритемной УФР и УФР, способствующей образованию витамина D, к основным геофизическим факторам (высота Солнца, общее содержание озона, аэрозольная и облачная оптическая толщина, альbedo поверхности).

- Метод оценки облачного пропускания УФР на основе спутниковых данных по отражательной способности на длине волны 380 нм, данных о балле нижней облачности реанализа и альbedo поверхности.

Апробация работы

Основные результаты работы получены с использованием точных радиационных расчетов. Верификация расчетов осуществлялась по многолетним измерениям в МО МГУ и литературным данным.

По результатам диссертационного исследования опубликовано 33 работы, в том числе 6 статей в журналах, 21 тезисов докладов конференций, 2 тезисов в рецензируемых трудах международных конференций. Четыре статьи опубликованы в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертации. Для интерактивной программы оценки УФ-ресурсов на территории Евразии получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2015660523, 1 октября 2015г.

Основные результаты исследования опубликованы в высокорейтинговом журнале *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* (IF 2.803). Результаты исследования нашли отражение в ежегодных электронных изданиях "Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 (2013, 2014) г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ".

Результаты работы были представлены на отечественных и зарубежных конференциях: на Международном симпозиуме «Атмосферная радиация и динамика» в 2011, 2013, 2015 гг., Санкт-Петербург; Рабочей группе «Аэрозоли Сибири» в 2010, 2013 гг, г.Томск; Молодежной научной школе «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты (САТЭП)» в 2012г., г.Звенигород и в 2015 г., пос. Шепси; Международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ-2010» и «ЛОМОНОСОВ-2013», г.Москва; «International Radiation Symposium» в 2012г., Берлин, Германия, «EGU General Assembly», Vienna, Austria в 2014 г., Вена, Австрия, «IGU Regional Conference», в 2015г., Москва.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, списка иллюстраций, списка таблиц и приложения. Общий объем работы - 208 страниц, включая 77 рисунков и 20 таблиц. Список литературы

содержит 161 наименование, в том числе 129 на английском языке.

1 Биологически активная ультрафиолетовая радиация

Ультрафиолетовое излучение составляет всего несколько процентов в солнечной радиации на верхней границе атмосферы. У поверхности Земли отношение УФР в диапазоне длин волн 290-385 нм к коротковолновой суммарной солнечной радиации не превышает 5% [88]. Принято делить ультрафиолетовую область спектра на три интервала:

- УФ-С 100-280 нм
- УФ-В 280-315 нм
- УФ-А 315-400 нм

Ультрафиолетовая радиация оказывает существенное влияние на многие процессы в биосфере, в том числе на здоровье человека, на наземные экосистемы (регулирование продуктивности растений, фотодегратация растительного опада, стимулирование выделения летучих органических соединений), на водные экосистемы (через обратные связи между УФР, температурой и концентрацией парниковых газов), биогеохимические циклы (в частности, углеродный цикл), на изменение качества и состава воздуха (формирование фотохимического смога), на срок службы материалов [146].

Биологически активная ультрафиолетовая радиация (БАУФР) рассчитывается:

$$Q_{bio} = \int_{280}^{400} E_{\lambda} \times Q_{\lambda} d\lambda, \quad (1)$$

где λ - длина волны в нм, Q_{λ} - спектральная плотность потока, E_{λ} - спектр биологического действия

На рисунке 1 представлено несколько спектров биологического действия УФР. Спектр действие характеризует вклад каждой длины волны в УФ-диапазоне спектра в производство определенного биологического эффекта. Одним из наиболее часто используемых является эритемный спектр действия (красная

кривая), который ответственен за образование эритемы на коже незагорелого человека. Из рисунка 1 следует, что наибольшей биологической эффективностью обладает излучение в УФ-В диапазоне спектра.

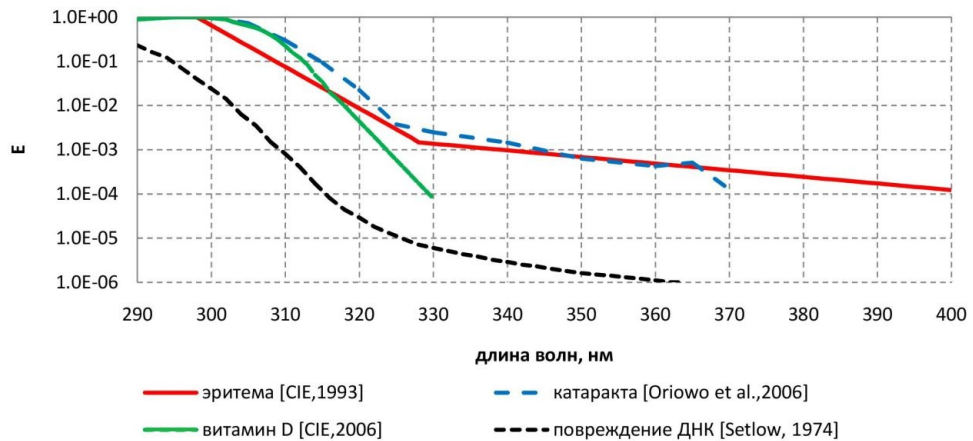


Рисунок 1 — Биологические спектры действия УФР, связанные с влиянием УФР на здоровье человека

На рисунке 2, в качестве примера, показывающего роль биологической кривой действия и влияния атмосферы на поступление УФР к поверхности Земли, представлено спектральное распределение плотности потока УФР на верхней границе атмосферы (по данным ATLAS-1993) и у поверхности Земли, а также распределение эритемной УФР у поверхности Земли в безоблачных условиях при высоте Солнца 30 градусов и общем содержании озона 300 ед.Добсона. Видно, что поглощение УФР озоном велико в УФ-В области спектра.

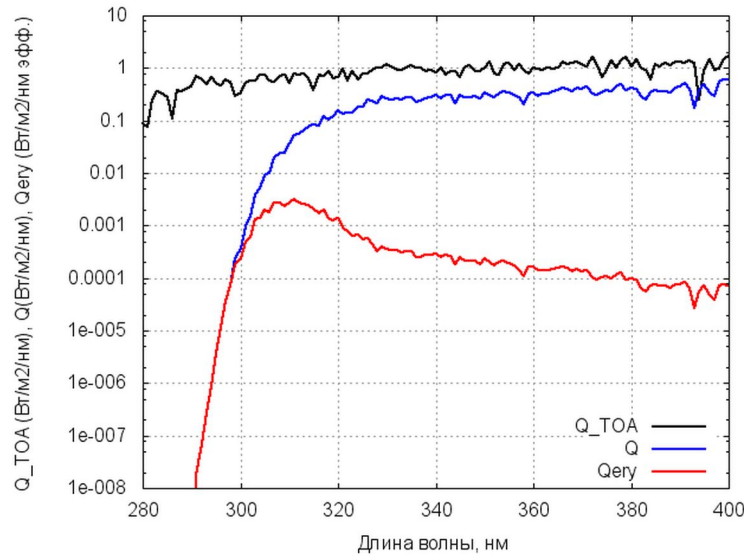


Рисунок 2 — Спектральное распределение плотности потока излучения УФР вне атмосферы (Atlas-1993) (Q_{TOA}), плотности потока излучения УФР у поверхности Земли (Q), плотности потока эритемной УФР у поверхности Земли (Q_{ery})

1.1 Основные геофизические факторы, определяющие поступление УФР к поверхности Земли

1.1.1 Уравнение переноса солнечного излучения

В современной оптике атмосферы солнечное излучение рассматривается как электромагнитные волны, которые распространяются в среде [17]. По мере распространения света в среде происходят процессы поглощения, рассеяния, отражения, рефракции. Для описания распространения света в среде используется уравнение переноса.

Солнечная радиация состоит из двух компонент: прямая I_{dir} и рассеянная I_{dif} : $I = I_{dir} + I_{dif}$. Ослабление прямой солнечной радиации, проходящей через среду с оптической толщиной τ подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера.

$$I_{dir} = I_0 \exp\left(\frac{-\tau}{\mu_0}\right) \quad (2)$$

где τ - оптическая толщина, μ_0 - косинус солнечного зенитного угла, I_0 - интенсивность излучения на верхней границе атмосферы (ВГА)

Уравнение переноса азимутально независимого рассеянного излучения можно записать в следующем виде:

$$\mu \frac{dI(\tau, \mu)}{d\tau} = -I(\tau, \mu) + \frac{\omega_0}{2} \int_{-1}^1 I(\tau, \mu') P(\mu, \mu') d\mu' + \frac{\omega_0}{4\pi} F_0 P(\mu, -\mu_0) \exp\left(-\frac{\tau}{\mu_0}\right) \quad (3)$$

где I - интенсивность рассеянного излучения, τ - оптическая толщина, μ - косинус зенитного угла, $P(\mu, \mu')$ - фазовая функция, ω_0 - альbedo однократного рассеяния, F_0 - поток излучения на верхней границе атмосферы. На рисунке 3 представлена схема процесса рассеяния.

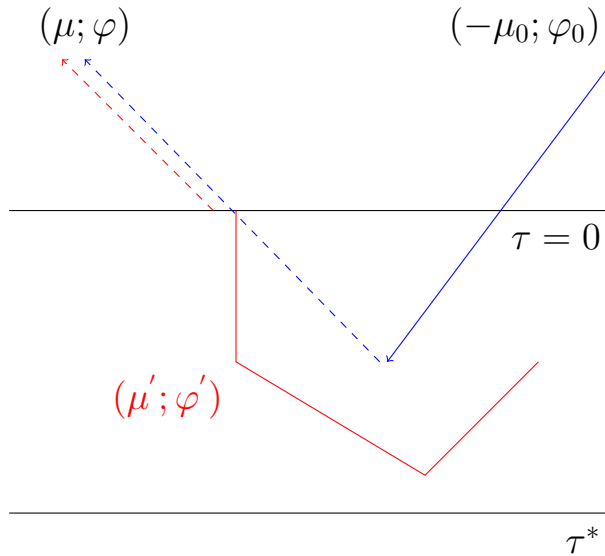


Рисунок 3 — Схема однократного (синяя кривая) и многократного (красная кривая) рассеяния (μ - косинус зенитного угла φ - азимут)

Учитывая, что атмосфера состоит из молекул, аэрозольных и облачных частиц, можно записать соответствующие выражения для эффективной оптической толщины, альbedo однократного рассеяния и фазовой функции.

Общая оптическая толщина атмосферы (τ_λ) состоит из оптических толщин поглощения и рассеяния молекул воздуха ($\tau_{a,\lambda}^m, \tau_{s,\lambda}^m$) и толщин поглощения и рассеяния аэрозоля и облачных капель ($\tau_{a,\lambda}^a, \tau_{s,\lambda}^a$).

$$\tau_\lambda = \tau_{a,\lambda}^m + \tau_{s,\lambda}^m + \tau_{a,\lambda}^a + \tau_{s,\lambda}^a, \quad (4)$$

где $\tau_{a,\lambda}^m$ - оптическая толщина молекулярного поглощения, $\tau_{s,\lambda}^m$ - оптическая толщина молекулярного рассеяния, $\tau_{a,\lambda}^a$ - оптическая толщина аэрозольного поглощения, $\tau_{s,\lambda}^a$ - оптическая толщина аэрозольного и облачного рассеяния.

$$\omega_0 = \frac{\tau_{s,\lambda}^m + \tau_{s,\lambda}^a}{\tau_\lambda}, \quad (5)$$

где ω_0 - альbedo однократного рассеяния

$$P_\lambda(\Theta) = \frac{\tau_{s,\lambda}^m P_\lambda^m(\Theta) + \tau_{s,\lambda}^a P_\lambda^a(\Theta)}{\tau_{s,\lambda}^m + \tau_{s,\lambda}^a}, \quad (6)$$

где Θ - угол рассеяния, $P_\lambda^m(\Theta)$ - фазовая функция молекулярного рассеяния, $P_\lambda^a(\Theta)$ - фазовая функция аэрозольного и облачного рассеяния

Параметр асимметрии индикатрисы рассеяния (g) определяется как первый момент фазовой функции рассеяния:

$$g = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 P(\cos\Theta) \cos\Theta (d\cos\Theta), \quad (7)$$

где Θ - угол рассеяния

$g=0$ - одинаковое рассеяние в направлении вперед и назад, $g=1$ - преимущественное рассеяние в направлении вперед.

$$g_\lambda = \frac{\tau_{s,\lambda}^a g_\lambda^a}{\tau_{s,\lambda}^m + \tau_{s,\lambda}^a} \quad (8)$$

Граничными условиями для уравнения (3) является отсутствие приходящего рассеянного излучения на верхней и нижней границах атмосферы. Для учета процессов отражения от нижней границы наиболее часто подстилающая поверхность принимается за Ламбертовскую с заданным альbedo поверхности [23].

Таким образом, поступление УФР к поверхности Земли определяется такими радиационными процессами, как поглощение и рассеяние газами, рассеяние и поглощение аэрозолями, рассеяние облачностью и отражение от подстилающей поверхности.

Основные факторы, влияющие на поступление УФР к поверхности Земли, можно разделить на несколько групп. К астрономическим факторам относится влияние изменения солнечной активности, высота Солнца, изменение расстояния между Землей и Солнцем, к геофизическим: аэрозольно-газовый состав атмосферы (главным образом, общее содержание озона, облачность), альbedo подстилающей поверхности, высота места над уровнем моря.

1.1.2 Астрономические факторы

Регулярные спутниковые наблюдения за поступлением солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы (ВГА) начались с 1978 года. В 2003 году был запущен космический корабль SORCE (Solar Radiation and Climate Experiment), который обеспечил точные измерения солнечной радиации на ВГА в диапазоне длин волн 0.1-2400 нм [144].

Солнечная радиация на ВГА изменяется на различных временных масштабах. Было выявлено, что изменения интегральной солнечной радиации на ВГА в течение 11-летнего солнечного цикла составляют 0.1%, в то время как изменения в УФ диапазоне спектра (длины волн 119-400 нм) оказываются на 1-3 порядка больше [80, 99]. Изменения спектральной солнечной радиации на ВГА отличаются от интегральных и наиболее значительны в УФ-области спектра и увеличиваются с уменьшением длины волны по сравнению с ближней инфракрасной областью спектра (рисунок 4) [124]. Согласно [8] вариации излучения на длине волны 300 нм в 11-летнем солнечном цикле составляет 0.2%.

Суточный и годовой ход УФР у поверхности Земли определяются высотой Солнца, от которой зависит длина пути солнечного света в атмосфере, а также продолжительностью светового дня.

Высота Солнца может быть вычислена по формулам сферической астрономии:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta \quad (9)$$

где h - высота Солнца, φ - географическая широта места, δ - склонение Солнца, изменяется от -23.5, 21 декабря до +23.5, 21 июня, θ - часовой угол Солнца, равный выраженному в градусах истинному солнечному времени, исчисляемого от полудня.

От географической широты места и склонения Солнца зависит продолжительность светового дня. Одним из астрономических факторов, влияющих на поступление УФР к поверхности Земли, является изменение расстояния между Землей и Солнцем за счет эллиптичности орбиты Земли. Вследствие этого приходящая солнечная радиация на верхней границе атмосферы изменяется в течение года на $\pm 3.5\%$ [106].

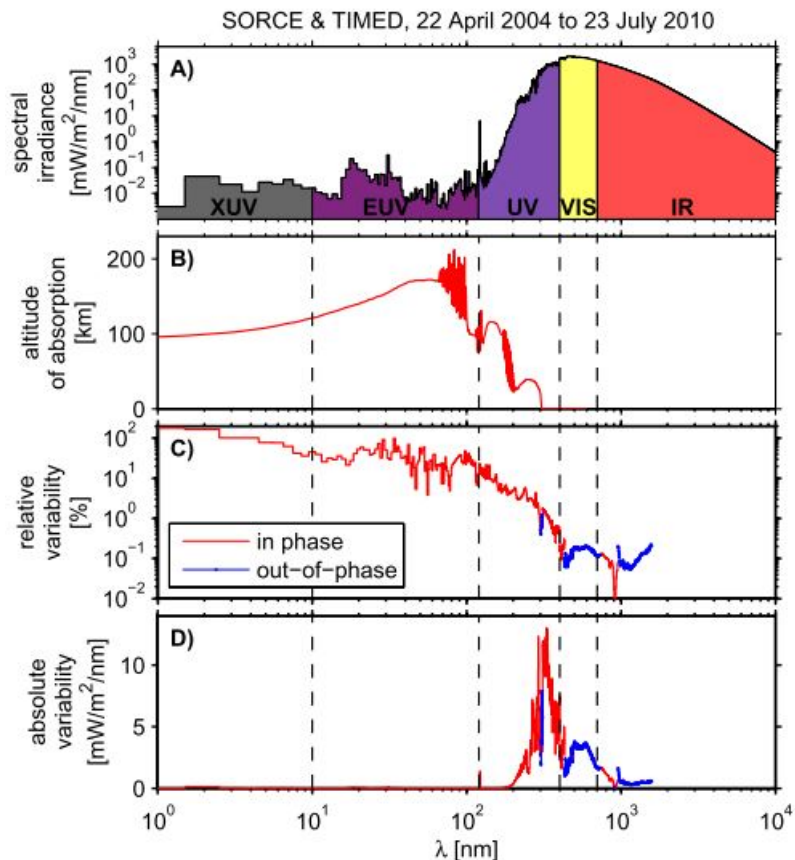


Рисунок 4 — Спектральные измерения солнечной радиации по данным измерений SORCE, TIMED с 22 апреля 2004 года по 23 июля 2010 года. (A) спектральное распределение радиации для рассматриваемого периода, (B) Высоты поглощения в атмосфере, определенные как высоты, на которых оптическая толщина равна единице, (C) относительная изменчивость (амплитуда/среднее) в течение периода 2004-2010 гг., (D) абсолютная изменчивость в течение периода 2004-2010 гг. [124]

1.1.3 Атмосферные факторы

Озон и другие газовые составляющие

В УФ-диапазоне спектра существует большое число электронных полос поглощения, поэтому в узких спектральных интервалах в УФ-области спектра молекулярное поглощение можно считать неселективным. Поглощение коротковолновой УФР в атмосфере практически полностью осуществляется молекулами кислорода и озона, до поверхности Земли доходит лишь радиация с длинами волн большими 0.3 мкм, в УФ-А и УФ-В диапазонах спектра (рисунок 5).

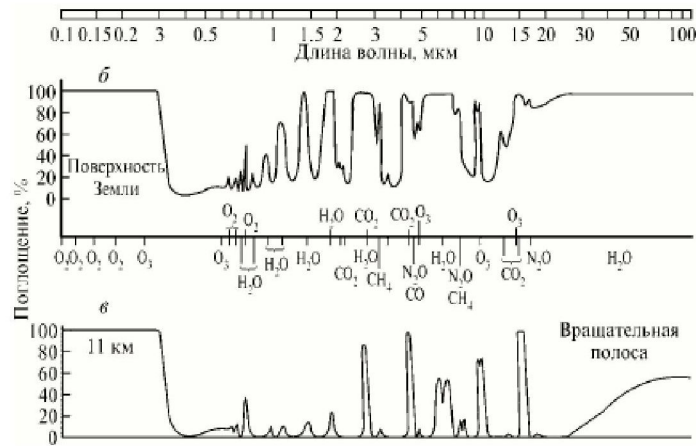


Рисунок 5 — Спектральное распределение функций поглощения в безоблачной атмосфере б) всей толщ атмосферы, в) толщ атмосферы от ее верхней границы до высоты 11 км, высота Солнца 40 градусов [17]

В табл. 1 приведены основные полосы поглощения в УФ-области спектра газов N , O , N_2 , O_2 , O_3 , и показана их роль в поглощении радиации с учетом их содержания [17].

Таблица 1 — Основные полосы поглощения земной атмосферы в УФ-области спектра [17]

| Газ | Спектральная область, нм | Название полосы | Поглощение |
|-------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| N | 1-100 | Полосы ионизации | Слабое |
| O | 1-100 | Полосы ионизации | Очень сильное |
| N_2 | <80 | Ионизационный континуум | Слабое |
| | 80-100 | Танака-Уорли | очень сильное |
| O_2 | 100-140 | Лайман-Берджа-Хопфилда | сильное |
| | <100 | Хопфилда | очень сильное |
| | 100-125 | | очень сильное |
| O_3 | 125-200 | Шумана-Рунге | сильное |
| | 200-300 | Хартли | сильное |
| | 300-360 | Хюгинса | среднее |

В наиболее биологически эффективной УФ-В области спектра поглощение УФР озоном является основным фактором, определяющим поступление УФР к поверхности Земли в безоблачной атмосфере. Основной характеристикой озонового слоя является общее содержание озона (СОО), которое измеряется обычно в единицах Добсона (1 единица Добсона = 0.001 атм.см). Единицы Добсона показывают толщину озонового слоя атмосферы сечением 1 м^2 , приведенного к нормальному атмосферному давлению.

Образование и разрушение стратосферного озона в первую очередь контролируется циклом Чепмена. В этом цикле образование озона происходит в результате фотодиссоциации кислорода и последующей реакции между молекулой и атомом кислорода. Гибель озона осуществляется путем его распада на молекулу и атом кислорода [8].

Для оценки влияния общего содержания озона на УФР используют радиационный фактор усиления (RAF) [51]. Связь спектральной плотности потока излучения в УФ-диапазоне спектра у поверхности Земли с общим содержанием озона имеет степенной характер и ее изменение можно записать как:

$$\frac{\partial Q_{\lambda}}{Q_{\lambda}} = RAF(\lambda, h) \frac{\partial X}{X}, \quad (10)$$

где Q_{λ} – плотность потока излучения в УФ-диапазоне спектра, X – общее содержание озона, h – высота Солнца, $RAF(\lambda, h)$ – радиационный фактор усиления, характеризующий относительное изменение Q_{λ} при единичном относительном изменении озона.

В литературе [145] радиационный фактор усиления определяют как характеристику относительной чувствительности УФР в % к изменению общего содержания озона на 1%. Высокие абсолютные значения RAF показывают, что УФР имеет большую чувствительность к изменениям стратосферного озона, в то время как небольшие значения RAF свидетельствуют о ее слабой чувствительности к изменениям общего содержания озона. Эта характеристика использовалась во многих исследованиях УФР (например, [123, 137, 145]).

Из соотношения (10) можно получить оценку величины RAF, исходя из линейного регрессионного уравнения:

$$\log(Q_{\lambda}) = RAF(\lambda, h) \log(X) + C + \epsilon, \quad (11)$$

где C – константа, ϵ – погрешность регрессионного уравнения.

В соответствии с ранее проведенными исследованиями значения RAF варьируются для различных видов БАУФР в пределах между 0.1 и 2.5, а для эритемной УФ-радиации эта величина составляет порядка 1.1 [55].

Сезонно-широтный ход общего содержания озона в северном полушарии показан на рисунке 6. Максимум общего содержания озона наблюдается в конце зимы в полярных широтах, что объясняется накоплением озона за

счет циркуляции Брюэра-Добсона-Дютша, которая переносит образовавшийся в тропической атмосфере озон в высокие широты, во время полярной ночи. В средних широтах общее содержание озона имеет годовой ход с максимумом весной и минимумом осенью.

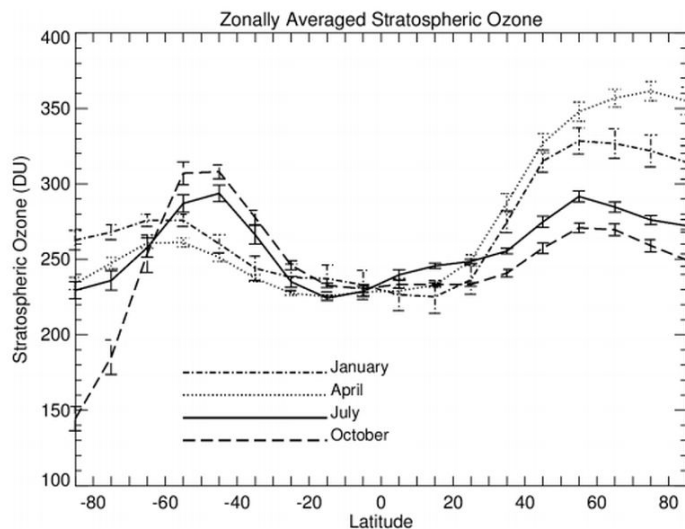


Рисунок 6 — Зонально усредненное общее содержание стратосферного озона для четырех центральных месяцев года [36]

Поток УФР чувствителен не только к общему содержанию озона, но и в меньшей степени к вертикальному распределению озона, что отчетливее проявляется для более коротких длин волн при низких высотах Солнца [133]. Высота максимума в вертикальном распределении озона – важная характеристика его профиля, которую следует учитывать при моделировании УФР [34]. Эта высота сильно коррелирует с высотой тропопаузы, т.е в среднем составляет 25 км в тропиках и 15 км рядом с полюсами. Большие изменения в профиле озона происходят из-за возмущений синоптического масштаба, которые, в свою очередь, связаны с изменением высоты тропопаузы.

Озон содержится не только в стратосфере, но в тропосфере. В то время как стратосферный озон выполняет защитную функцию для жизни на Земле, тропосферный озон является одним из загрязнителей приземного воздуха. Основными естественными источниками приземного озона являются фотохимические реакции с углеводородами, которые выделяют растения и почва, и оксидами азота, также небольшое количество озона проникает в тропосферу из стратосферы. Озон образуется в тропосфере также за счет деятельности человека: в результате фотохимических реакций с углеводородами, оксидами

азота, которые вырабатываются автомобилями, промышленностью. С развитием промышленности концентрации приземного озона стали увеличиваться, что, согласно модельным расчетам, привело к снижению уровня УФР на 3-8 % на территории США и Европы [107]. Типичное глобальное среднее содержание тропосферного озона обычно принимается равным 30 ед.Добсона [132]. В суточном ходе минимальные концентрации тропосферного озона наблюдаются в утренние часы, максимальные - в полуденное время за счет фотохимической природы его происхождения.

Кроме поглощения озоном, УФ-излучение ослабляется газами NO_2 и SO_2 . Оксид серы имеет слабую полосу поглощения в диапазоне длин волн 315-420 нм, оксид азота поглощает на длинах волн менее 600 нм.

Оксиды азота являются летучими органическими соединениями, которые выделяются в большом количестве транспортом и промышленностью и при горении биомассы. В годовом ходе наибольшие концентрации NO_2 наблюдаются в зимний период. На земном шаре наибольший рост концентрации NO_2 наблюдается в Китае. Поглощение NO_2 ответственно за потери эритемной УФР, не превышающие 5% в течение года [60].

Молекулярное поглощение SO_2 в диапазоне длин волн 300-325 нм в 2.5 раза больше, чем поглощение озоном, однако, ослабление УФР за счет SO_2 невелико вследствие малых концентраций SO_2 в атмосфере (1-2 ед.Добсона до 10-20 ед.Добсона в экстремальных случаях) [95]. Часто высокие концентрации SO_2 связаны с вулканическими извержениями. Согласно [95] ослабление эритемной УФР за счет поглощения SO_2 в Японии вблизи района вулканической активности составляет 1-2%. Концентрация SO_2 , равная 50 единиц Добсона, приводит к ослаблению эритемной радиации на 25%. В московских условиях максимум концентрации SO_2 наблюдается зимой [76]. По московским данным влияние SO_2 на ослабление эритемной УФР не превышает 1% [29].

Атмосферные аэрозоли

Атмосферным аэрозолем называются твердые и жидкие частицы, взвешенные в воздухе. Аэрозоли могут иметь естественное (вулканы, почва, лесные пожары) и антропогенное (транспорт, промышленность) происхождение.

В зависимости от источников аэрозоль будет обладать различными оптическими свойствами. Выделяют следующие группы аэрозолей: городской, индустриальный аэрозоль, образующийся при сгорании топлива, аэрозоль, посту-

пающий в атмосферу при горении биомассы при лесных пожарах, пустынная пыль, морской аэрозоль [152].

К основным оптическим параметрам атмосферного аэрозоля относятся оптическая толщина (АОТ), фактор асимметрии индикатрисы рассеяния и альбедо однократного рассеяния.

Величина альбедо однократного рассеяния определяется мнимой частью комплексного показателя преломления и размером частиц. Альбедо однократного рассеяния имеет спектральную зависимость, которая определяется размером частиц. Для крупных аэрозольных частиц (пылевой, песчаный аэрозоль) рассеяние независимо от длины волны, и альбедо однократного рассеяния уменьшается с длиной волны. Для частиц меньшего размера (городской аэрозоль) рассеяние часто уменьшается с длиной волны быстрее, чем поглощение, и альбедо однократного рассеяния уменьшается с ростом длины волны [136].

Оценки альбедо однократного рассеяния по данным измерений и радиационного моделирования получены в ряде работ (например, [44, 48]). Например, в среднем альбедо однократного рассеяния в УФ-диапазоне спектра при низких аэрозольных толщинах в Салониках, Греция принимает значения 0.64 - 0.99 [72].

На рисунке 7 показана роль альбедо однократного рассеяния (ω_0) в относительных изменениях эритемной УФР. Для непоглощающих аэрозолей ($\omega_0 = 1$) для горизонтальных поверхностей отмечается уменьшение эритемной УФР примерно на 10% при больших оптических толщинах, для вертикальной цилиндрической поверхности отмечается небольшой относительный рост эритемной УФР. Для сильно поглощающего аэрозоля ($\omega_0 = 0.6$) отмечается существенное ослабление эритемной УФР (примерно 50%)

Фактор асимметрии индикатрисы рассеяния в УФ-диапазоне спектра изменяется в диапазоне 0.6-0.8 и зависит от химического состава аэрозоля. Типичные значения фактора асимметрии индикатрисы рассеяния для сажи и песчаного аэрозоля 0.9, для сульфатов, морского аэрозоля, мелкой пыли - 0.6-0.85 [41]. Радиационные расчеты, проведенные в работе [70], показали, что при постоянной аэрозольной оптической толщине вариации ультрафиолетовой радиации у поверхности Земли за счет изменений фактора асимметрии индикатрисы рассеяния и альбедо однократного рассеяния могут достигать 10%.

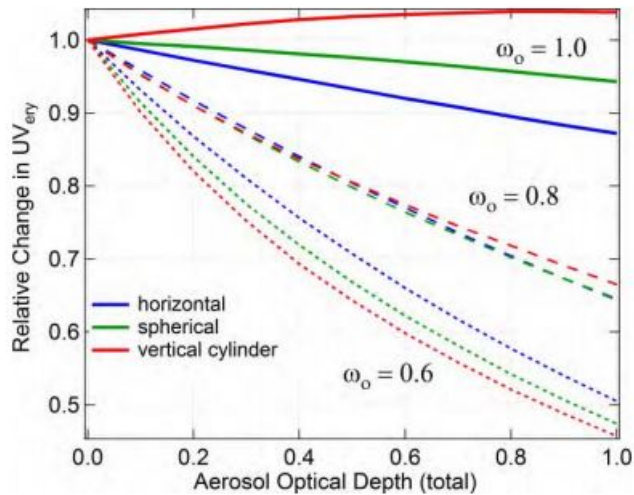


Рисунок 7 — Относительные изменения эритемной УФР (relative changes) в зависимости от аэрозольной оптической толщины (aerosol optical depth) при различных значениях альбеда однократного рассеяния (ω_0) для различно ориентированных поверхностей (горизонтальной, сферической и вертикальный цилиндр) [146]

Для описания спектрального хода АОТ используется параметр Ангстрема (α):

$$\alpha = -\frac{\ln(\tau_1/\tau_2)}{\ln(\lambda_1/\lambda_2)}, \quad (12)$$

где τ - аэрозольная оптическая толщина, λ - длина волны

Обычно АОТ растет с уменьшением длины волны, но при обладании крупных частиц над мелкими может наблюдаться аномальный спектральный ход АОТ, т.е. аэрозольное ослабление будет возрастать от коротких волн к длинным [17]. Например, аномальный спектральный ход аэрозольного ослабления характерен для песчаного аэрозоля. Кроме того, оптические свойства аэрозоля могут значительно изменяться при выбросах больших количеств поглощающих веществ, например, во время лесных пожаров.

Ослабление УФР за счет аэрозолей составляет несколько процентов в чистых местах, таких как Новая Зеландия, и около 50% в загрязненных городах, например Мехико, и достигло 90% во время лесных пожаров в России в 2010 году [135]. Согласно работе [58] среднемесячные потери эритемной УФР на территории Европы за счет ослабления аэрозолями составляют 1-17%, и наибольшие потери отмечаются весной и осенью на севере Италии за счет наибольшего сезонного содержания аэрозоля в воздухе.

По результатам работы [27] для типичных оптических условий Москвы ослабление УФР за счет аэрозолей составляет 20%, а в условиях дымной мглы 2002 года 60-70%. В период лесных пожаров 2010 года в Москве ослабление УФР в диапазоне 300-380 нм и эритемной УФР достигло 91% и 97%, соответственно, по сравнению с безаэрозольными условиями при высоте Солнца 47 градусов [135].

Таким образом, около 80% влияния аэрозоля на УФР связано с вариациями оптической толщины и альбедо однократного рассеяния. Остальные 20% связаны с различиями в фазовой функции, спектральном ослаблении и вертикальном профиле ослабления [127].

Учет действительных аэрозольных параметров важен в прогнозах УФР. В работе [158] показано, что в летнее время в Северной Каролине, США при учете реального аэрозоля прогнозируемые значения УФ-индекса могут оказаться на 5 единиц меньше по сравнению с оценками, полученными при фиксированном значении АОТ для непоглощающего аэрозоля. Согласно исследованию [58] уменьшение УФ-индексов за счет аэрозоля на территории Европы наибольшее в летнее время, и максимальное ослабление достигает 1.5 УФ-индекса на юге Европы.

Облачность

Облачность, наряду с общим содержанием озона, оказывает значительное влияние на поступление УФР к поверхности Земли. Однако, если соотношение между изменением общего содержания озона и биологически активной УФР имеет точное количественное выражение, то точно учесть влияние облачности на УФР значительно сложнее, что связано с большой временной и пространственной изменчивостью облачных характеристик. Изменчивость УФР за счет облачности в среднем составляет 60-85% для облаков нижнего яруса, 25-30% для облаков среднего яруса, 4-5% для облаков верхнего яруса [25]. По оценкам работы [94] влияние облачности способствует уменьшению эритемной УФР в Давосе от 8% до 70% по сравнению с ясными условиями. Облачное пропускание УФР зависит от многих характеристик: балла облачности, оптической толщины облаков, высоты и взаимного расположения отдельных облаков, количества облачных слоев, степени закрытости солнечного диска облаками. Облачность оказывает влияние на УФР на всех временных масштабах. Обычно облака снижают уровень УФР у поверхности Земли, однако, при

небольшой облачности (2-3 балла) и при частичном открытом диске Солнца может наблюдаться рост УФР за счет дополнительного рассеяния от боковых частей облаков. Рост эритемной УФР в таких условиях может достигать 20% [146].

Наиболее часто для оценки влияния облачности на поступление УФР к поверхности Земли используется величина облачного пропускания. Оно определяется как отношение суммарной УФР в реальных атмосферных условиях к суммарной УФР в условиях ясного неба.

$$CQ = Q_{cloudy}/Q_{clear}, \quad (13)$$

Q_{cloudy} – суммарная УФР в облачных условиях

Q_{clear} – суммарная УФР в ясных условиях

Величина облачного пропускания определяется, главным образом, оптической толщиной облачности [25]. На рисунке 8 показана в качестве примера зависимость CQ от облачной оптической толщины согласно модельному расчету. Видно, что с увеличением оптической толщины облачности величина CQ уменьшается экспоненциально.

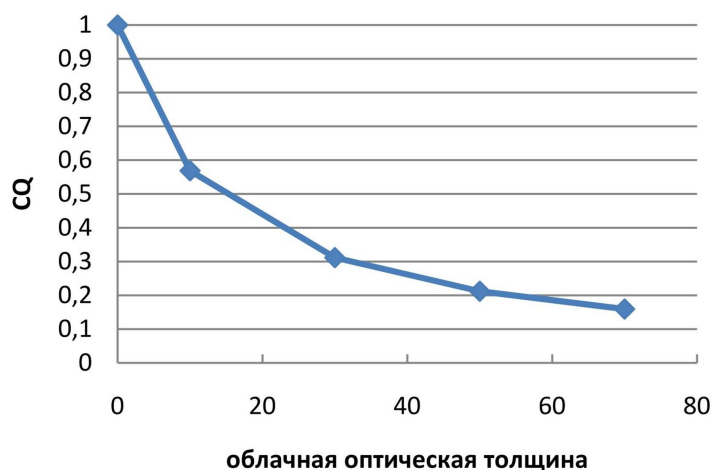


Рисунок 8 — Зависимость облачного пропускания эритемной УФР от оптической толщины облачности. Модельный расчет: высота Солнца 30 градусов, общее содержание озона 300 ед.Добсона

В работе [53] приводится обзор исследований, посвященных влиянию облачности на УФР. Для исследования влияния облачности на УФР используются теоретический и эмпирический подходы. Теоретический подход основан на применении радиационных моделей. В одномерных радиационных

моделях (TUV, SBDART, STAR, UVspec) облачность обычно задается в виде параллельных слоев с заданной оптической толщиной, т.е. учитывается только сплошной облачный покров. Подробное описание стохастической облачной структуры возможно при использовании трехмерных моделей на основе применения метода Монте-Карло (например, модель Mystic [108]).

Однако использование трехмерных моделей требует информации о физических свойствах облачности (распределение частиц по размерам, плотность (или оптическая толщина и эффективный радиус), фазовое состояние), которая обычно недоступна. Вследствие этого существует большое число эмпирических исследований влияния облачности на УФР. В табл.2 приведены оценки различных облачных характеристик по работе [28]. В эмпирических исследованиях обычно определяется экспериментальное облачное пропускание, как отношение поступающей радиации в облачных условиях к радиации в ясных условиях (выражение 13). При таком подходе существуют трудности, связанные с достоверным определением радиации в ясных условиях (знаменателя в выражении 13). Знаменатель может быть рассчитан, в этом случае необходима дополнительная информация об характеристиках аэрозоля и общем содержании озона, или получен из экспериментальных данных, но при этом также важно знать при каких условиях были произведены измерения.

Поскольку сеть измерений УФР не такая густая, как сеть измерений интегральной солнечной радиации, а ослабление облачностью имеет слабоселективный характер, то для оценки облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра часто используют измерения интегральной солнечной радиации (например, [102]), поскольку облачная оптическая толщина отличается незначительно в видимом и УФ-диапазонах спектра [93]. Однако эффективное облачное пропускание в УФ-диапазоне спектра больше, чем в видимом в связи с более эффективным рэлеевским рассеянием в УФ-диапазоне спектра. Переход от облачного пропускания в видимом диапазоне спектра к облачному пропусканию в УФ-диапазоне зависит от высоты Солнца [71].

В спектральном ходе облачного пропускания УФР обнаруживается максимум на длинах волн 315-320 нм (рисунок 9). Он объясняется характером рэлеевского рассеяния до поступления радиации в облачную среду, более короткие длины волн испытывают дополнительное газовое поглощение в облаке [137].

Таблица 2 — Характеристики различных типов облаков [28]

| Характеристика | Типы облаков | | | | | |
|---|-------------------|------------------|---------------------|----------|---------|------------------|
| | St | Sc | Ns | Ac | As | Ci,Cs |
| Высота нижней границы [Облака..., 1989] | 0.4 | 1-1.2 | 0.4-1.2 | 2 | 2 | 6 |
| Геометрическая толщина облаков (в 80% случаев), км [Радиация...,1981] | 0.2-1 | 0.1-0.6 | 0.8-3 | 0.05-0.9 | 0.2-3 | 0.3-6 |
| Средний (эффективный) радиус капель (кристаллов), мкм [Радиация...,1981] | 4.6 (4.2-6) | 5 (5-10) | 6.5(9) | 4.7 | 5(6.2) | 10-180 |
| Водность (ледность), г/м ³ | 0.25 | 0.2 | 0.35 | 0.16 | 0.2 | 0.01-0.1 |
| Фактор асимметрии индикатрисы рассеяния (500 нм) | 0.84 | 0.84-0.85 | 0.85 | | 0.84 | 0.73 |
| Оптическая толщина облаков | 12-84* 33/54** | 3-35* 42-46** | 48-180* 73/52*** | | 10-147* | 0.04- 0.42*** |

* Характеристики, рассчитанные по аппроксимации Слинго [Slingo,1989]

с использованием данных о водности и эффективном радиусе частиц

.** Данные получены по результатам многолетних измерений в МО МГУ в теплый (числитель) и холодный (знаменатель) периоды [Chubarova,1993].

*** Данные получены по результатам многолетних измерений в МО МГУ на основании регрессионных отношений между измеренной оптической толщиной облака и пропусканием суммарной УФ радиации.

Пропускание радиации облаками различных типов по экспериментальным данным в московских условиях при сплошном покрове облаков показано на рисунке 10.

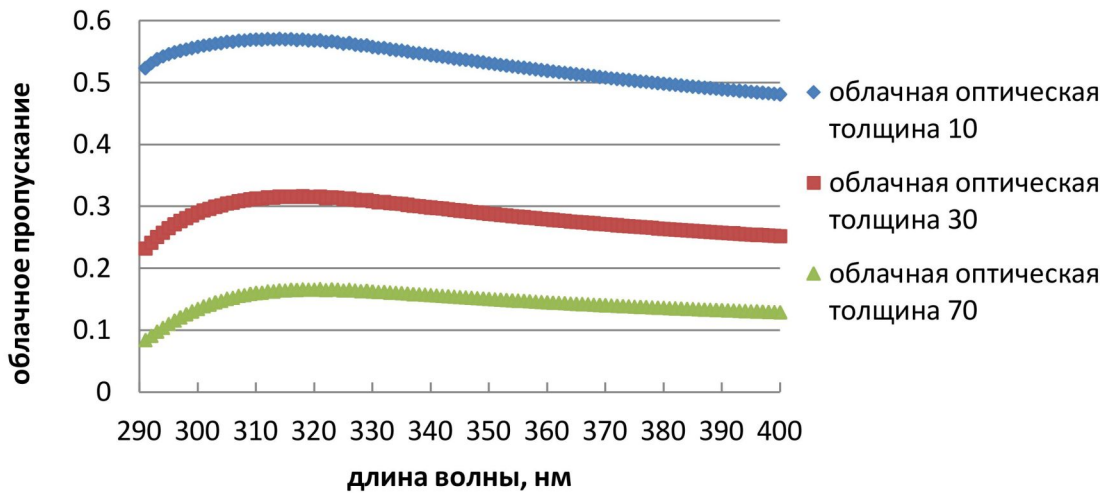


Рисунок 9 — Спектральная зависимость облачного пропускания УФР по модельным данным.

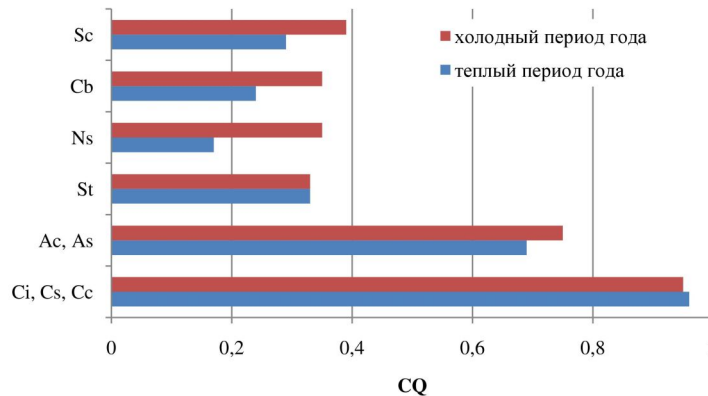


Рисунок 10 — Облачное пропускание УФР 300-380 нм при сплошном покрове облаков по экспериментальным данным в теплый и холодный периоды года по данным [25]

1.1.4 Альbedo подстилающей поверхности

Высокая отражательная способность поверхности приводит к росту УФР у поверхности Земли за счет эффектов многократного переотражения. Альbedo большинства естественных поверхностей в УФ-диапазоне спектра имеет низкие значения. Альbedo травы в УФ-диапазоне спектра составляет 2-3%, песка 10-15%. Основной поверхностью с высоким альbedo является снег (вплоть до 95%). Увеличение УФР за счет отражения от снега зависит от высоты снежного покрова и возраста снега. На поступление УФР к поверхности Земли в рассматриваемой точке влияет не только локальное альbedo, но и альbedo окружающей территории в радиусе 10 км. Было выявлено, что на

расстоянии 40-70 км от интересующей точки окружающая территория не влияет на приход эритемной радиации [126]. Увеличение УФР за счет альbedo поверхности в Арктике (Churchill) составляет 36%, а в городских условиях (Halifax) только 7% [83]. Оценки, полученные в [4], показали, что при альbedo поверхности 95% относительные изменения эритемной УФР за счет альbedo поверхности составляют 54% (высота Солнца 40 градусов, общее содержание озона 350 единиц Добсона, $AOT_{380}=0.15$)

Увеличение эритемной УФР за счет альbedo поверхности по данным различных авторов [78, 84, 96, 126] показано на рисунке 11. В горных районах со снежным покровом увеличение эритемной УФР за счет альbedo поверхности составляет около 20%. Согласно [94] за счет эффектов многократного рассеяния в ясных условиях в Давосе при снежном покрове наблюдается рост эритемной радиации составляет от 15 до 25%.

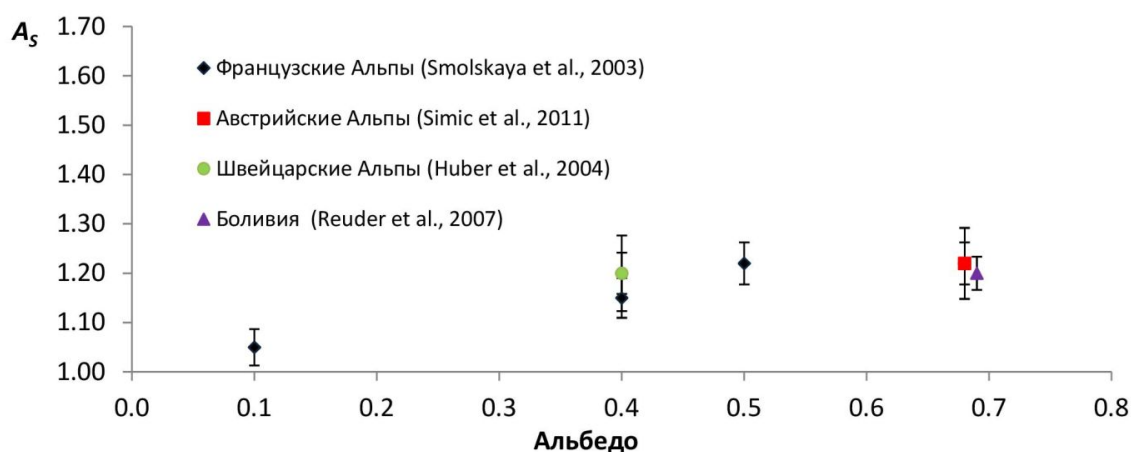


Рисунок 11 — Рост эритемной УФР (A_s) за счет альbedo поверхности по данным различных авторов.

1.1.5 Высота над уровнем моря

С ростом высоты над уровнем моря обычно наблюдается рост УФР за счет уменьшения молекулярного рассеяния, уменьшения концентрации поглощающих УФР газов, аэрозолей, которые имеют максимум концентрации в планетарном пограничном слое и за счет увеличения альbedo поверхности в связи с появлением снежного покрова. С ростом высоты доля прямой радиации увеличивается, а рассеянной радиации уменьшается за счет уменьшения плотности атмосферы.

Согласно измерениям, проведенным в немецких Альпах и на различных высотах над уровнем моря в Боливии, уменьшение общего содержания озона в среднем составляет 3.5 ед.Добсона на км [120]. Наиболее высокие уровни УФР отмечаются в горах. В немецких Альпах высотный градиент эритемной УФР по данным измерений составил 7-16 % /км, а высотный градиент в горах Боливии по сравнению с плато составляет 8-23% [120]. Для условий Тибета в безоблачных и бесснежных условиях градиент эритемной УФР составляет 7-8% [149], что свидетельствует о том, что в чистых условиях модельные высотные градиенты эритемной УФР совпадают с экспериментальными оценками градиентов УФР, которые связаны с уменьшением молекулярной толщины атмосферы.

В работе [113] показано, что месячные средние эритемной радиации в Цугшпитце (Zugspitze, высота 3000 м) могут быть на 25% - 90% выше, чем в Гармиш-Партенкирхен (Garmisch-Partenkirchen, высота 730 м). Сравнение измерений 7 спектрометров, расположенных в Альпах, показали увеличение УФР на 1 км высоты на 9% для длины волны 400 нм, на 20% для длины волны 320 нм, и на 30% для длины волны 300 нм [153].

В работе [46] на основе экспериментальных данных исследуется влияние аэрозолей и высоты места на УФР. Высотные изменения УФР исследовались с помощью спектральных и широкополосных наблюдений в Испании в трех пунктах, расположенных на разных высотах в ясных условиях летом 2002 года. Было выявлено, что изменения УФР с высотой зависят от длины волны излучения, высоты Солнца, содержания аэрозолей. В УФ-А области спектра высотный эффект УФР составил 6-8% на км в полуденное время, для УФ-В - 7-11% на км, для эритемной УФР - 11-14% на км. Экспериментальные оценки высотного эффекта УФР обычно выше, чем теоретические за счет изменения аэрозолей и озона с высотой. В соответствии с приведенными результатами оценки высотного эффекта согласуются с модельными в чистых условиях, однако высотный градиент УФР увеличивается, когда нижний уровень является более загрязненным.

1.2 Влияние биологически активной УФР на здоровье человека

1.2.1 Эритемная УФР и УФР, способствующая образованию витамина D

Как отмечалось во введении, УФР может оказывать положительное и отрицательное влияние на здоровье человека. Эритемное действие УФР на здоровье человека является хорошо изученным. Оно проявляется в покраснении кожи незагорелого человека, которое затем приводит к возникновению загара, а в тяжелых случаях сопровождается образованием волдырей, солнечных ожогов, и впоследствии может привести к различным кожным заболеваниям, в том числе к раку кожи. Чувствительность к загару определяется степенью пигментации кожи человека. Для того, чтобы охарактеризовать чувствительность кожи человека к образованию загара, часто используют классификацию Фицпатрика, согласно которой выделяются 6 фототипов кожи [87].

К первому типу кожи относятся люди с очень светлой кожей, блондины, рыжеволосые с голубыми глазами, они всегда обгорают на солнце, никогда не загорают; ко второму - люди с белой кожей, блондины, рыжеволосые с голубыми, зелеными глазами, обычно обгорают, загорают плохо; к третьему - люди с кожей кремового цвета, иногда обгорают, загорают равномерно; четвертый средиземноморский тип кожи - люди с умеренно коричневым цветом кожи, редко обгорают, загорают хорошо; к пятому - люди с темно-коричневой кожей, очень редко обгорают, загорают очень легко; к шестому - люди с глубоко пигментированной кожей, темно-коричневой, черной кожей, никогда не обгорают, загорают очень легко. Люди с первым типом кожи наиболее чувствительны к УФР, а с 6 типом кожи с высокой пигментацией являются наиболее устойчивыми к воздействию УФР (рисунок 12). Чувствительность кожи к загару является фактором риска для заболевания раком кожи.

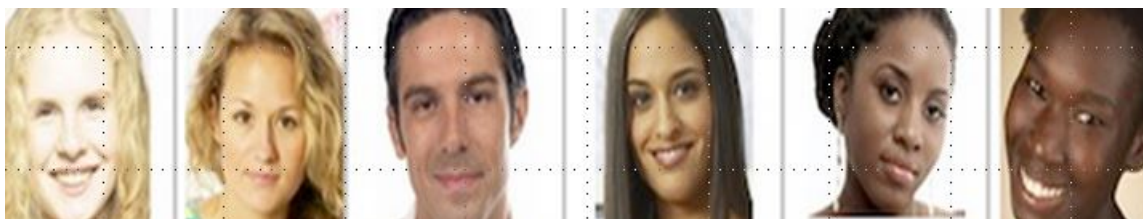


Рисунок 12 — Типы кожи человека 1-6 (слева направо) согласно классификации [87].

Отметим, что первая классификация типов кожи по степени пигментации была разработана австрийским врачом, археологом и этнографом Феликсом фон Лушаном (Felix von Luschan) (рисунок 13). Фон Лушан для определения типа кожи использовал 36 стекол, цвета которых сравнивались с цветом кожи человека.

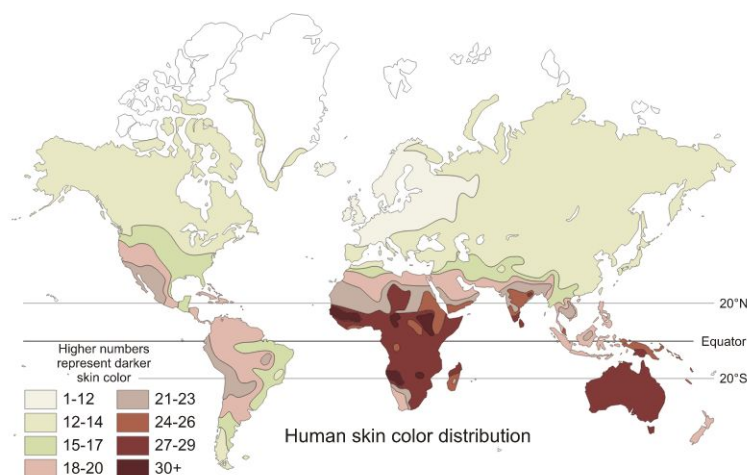


Рисунок 13 — Географическое распределение цветов кожи для коренного населения до 1940 года согласно классификации Феликса фон Лушана.

Соотношение между классификациями Фитцпатрика и фон Лушана показано в табл.3.

Таблица 3 — Соотношение между классификациями типов кожи Фитцпатрика и фон Лушана

| шкала Фитцпатрика | Шкала фон Лушана |
|-------------------|------------------|
| I | 1-5 |
| II | 6-10 |
| III | 11-15 |
| IV | 16-21 |
| V | 22-28 |
| VI | 29-36 |

Впервые явление фотозритемы было описано в медицине А.Н.Маклаковым в 1889 году. А в 1921 году Хауссер и Валле показали, что не все длины волн в УФ-диапазоне спектра имеют одинаковую эффективность в образовании эритемы [20].

Как отмечается в [97], повышенные дозы УФР вызывают, по крайней мере, 20% меланомного и 99% немеланомного рака кожи. Ежегодная заболеваемость злокачественной кожной меланомой варьируется географически от 5

и 24 на 100000 человек в Европе и США, до 70 на 100000 человек в условиях высоких уровней УФР в Австралии и Новой Зеландии [145]. Заболеваемость базально-клеточной карциномой увеличилась на 3% с 1996-2003 в Великобритании. По данным Онкоцентра им. Н.Н. Блохина, в 2008 году в России было выявлено 490 734 новых случаев злокачественного новообразования, женщины составили 53,5%, мужчины 46,5%. Абсолютное число заболевших в 2008 г. на 11,3% больше, чем в 1998 г. (440 721). Ведущими локализациями в общей (оба пола) структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями населения России является кожа (11,7%, с меланомой – 13,3%). По данным [3] количество больных в России, находящихся под наблюдением на конец 2012 года, с меланомой кожи составило 71666 человек, с другими новообразованиями кожи 361271.

Большое внимание уделяется изучению механизмов образования витамина D [146]. Под термином витамин D объединяют группу сходных по химическому строению синтетических, а также существующих в природе двух форм витамина D - витамин D_2 и витамин D_3 . Первая из них содержится преимущественно в продуктах растительного происхождения (жирная рыба, зерновые, маргарин) [32]. Вторая форма витамина D - витамин D_3 , образуется в организме человека под влиянием УФР.

Провитамин D (7-дегидрохолестерол) превращается в превитамин D в коже под воздействием УФ-В излучения. Превитамин D под влиянием температуры тела человека преобразуется в витамин D_3 . Витамин D_3 транспортируется кровью в печень, где формируется 25-гидроксивитамин (25(OH)D), в почках формируется активная форма витамина D - 1,25-дигидроксивитамин D (1,25(OH) $_2$ D), которая регулирует паращитовидный гормон.

1,25-дигидроксивитамин D важен в процессе поглощения кальция и фосфора, при формировании костей [81].

Процессы формирования, использования и перемещения витамина D в организме человека показаны на рисунке 14.

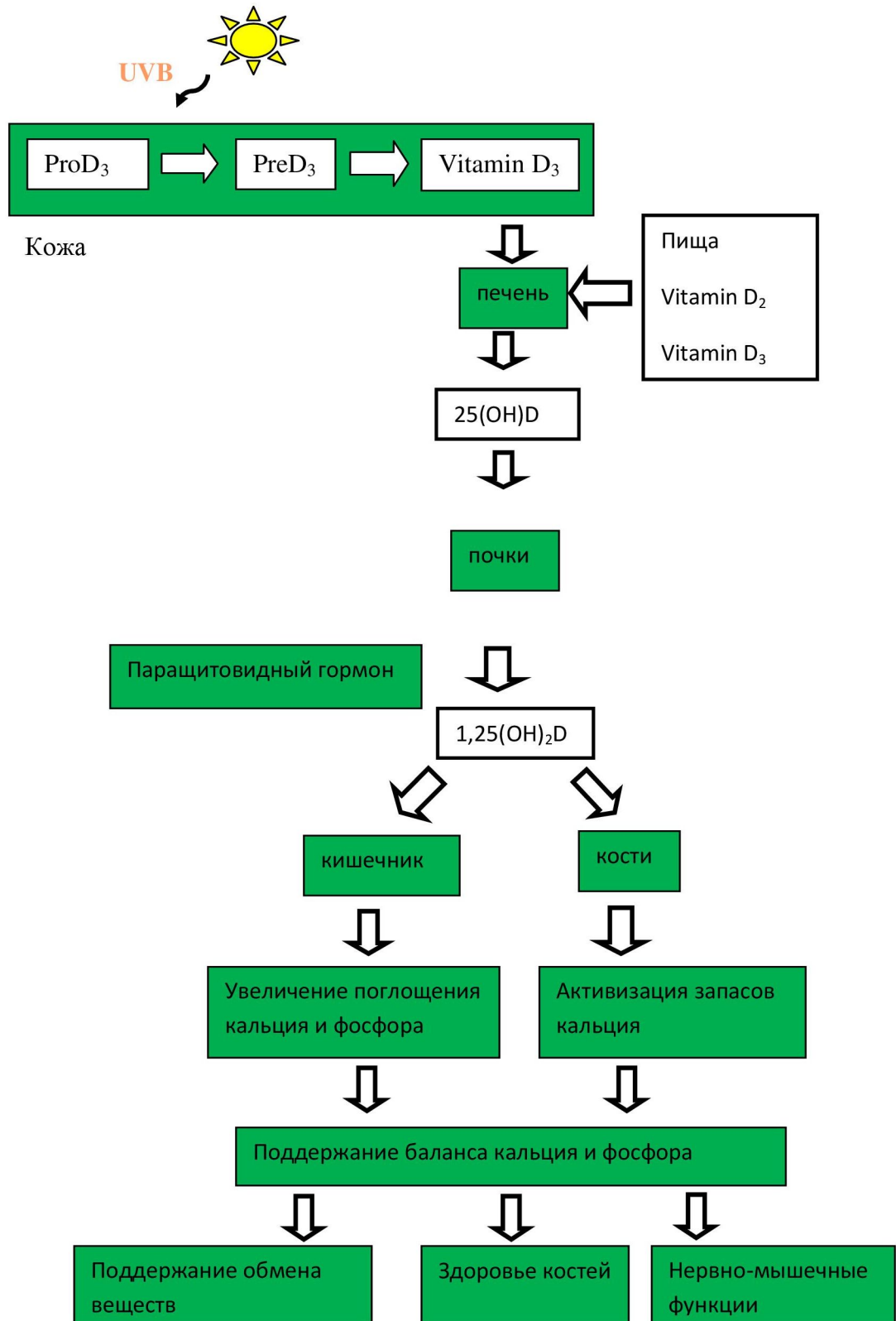


Рисунок 14 – Синтез и метаболизм витамина D по [81]

Первые свидетельства важности солнечного света для здоровья человека начали появляться одновременно с индустриальной революцией в Северной

Европе. Люди стали концентрироваться в городах, сжигание угля и дерева приводило к загрязнению атмосферы, и как результат, дети, живущие в индустриальных городах, стали получать меньше света, у них стали развиваться деформации костей. Это медико-социальное заболевание было названо рахитом. В 1822 году были опубликованы сведения, что количество случаев возникновения рахита у детей, проживающих в центре Варшавы больше, чем у детей, живущих за городом. В 1890 году было выявлено, что дети, живущие в индустриальных городах Великобритании имели больший риск развития рахита по сравнению с детьми из бедных районов с недостатком питания Китая и Индии. К 1900 году рахит широко распространился и отмечался у 90% детей в Лейдене, Нидерланды и 80% детей в Бостоне, США [91]. Кроме того дефицит витамина D приводит не только к рахиту у детей, но и к различным костным заболеваниям у взрослых.

В 1919 году было установлено, что солнечный свет способствует предотвращению рахита. Одновременно было обнаружено положительное влияние витамина D на метаболизм кальция и фосфора. Первым важным практическим результатом научных исследований было принятие правительством США решения об искусственном обогащении пищевых продуктов витамином D [32]. И в 1930-е годы многие продукты обогащались витамином D_2 . После Второй мировой войны и неконтролируемого обогащения продуктов питания витамином D_2 , которое вызвало множество отравлений, было принято решение о запрете обогащения во многих европейских странах. В настоящее время в Европе витамином D обогащаются маргарин и некоторые крупы [32, 91].

Всё вышесказанное показывает значимость проблемы, связанной с D-дефицитом в организме человека. Далее в тексте понятия "витамин D" и "витамин D_3 " используются как синонимы.

В связи с тем, что большая часть необходимого человеку витамина D образуется под влиянием солнечного света, концентрации витамина D в организме человека испытывают сезонную изменчивость, и витамин D недостаточность вероятнее всего будет наблюдаться в зимний период года. Отмечается так называемая «зима витамина D», т.е. период, в течение которого витамин D не может образовываться за счет УФР [81]. Чаще всего этот период в умеренных широтах Северного полушария приходится на октябрь-март.

1.2.2 Кривые действия эритемной радиации и радиации, способствующей образованию витамина D

Наиболее сильным импульсом для исследования биологически активной УФР (БАУФР) послужило обнаружение истощения озонового слоя в Антарктиде. Однако до 1990-х годов стандартизация в области БАУФР была недостаточной. После принятия эритемного спектра действия [110] появилась возможность сравнивать исследования различных научных групп в различных географических районах. На сегодняшний день существует много спектров действия (ВМО 1998), однако, одним из наиболее распространенных и принятых Международной комиссией по освещению (СIE) является эритемный спектр действия [138], который ответствен за образование эритемы (рисунок 15).

Эритемный спектр действия находится в соответствии с экспериментальными данными, но стоит отметить, что существует значительная разница между экспериментальными результатами. Эритемный спектр действия был получен по 12 исследованиям, в которых участвовали от 8 до 76 человек (стандарт ISO 17166:1999 (СIE S 007/E:1998)). Проблема различных эритемных спектров действия представлена в работе [98].

Для удобства и с целью широкого оповещения населения об уровне УФР, опасном с точки зрения образования эритемы, используется понятие УФ-индекс [148]. УФ-индекс определяется как $UVI = Q_{ery} / 0.025$, где Q_{ery} – плотность потока эритемной УФР. УФ-индекс обычно варьируется от 0 ночью до 10, достигая значений 15-16, например, в Австралии. Максимальные значения УФ-индекса в мире наблюдаются в высокогорных районах в тропиках, к примеру, на станции Мауна Лоа на Гавайях УФ-индекс достигал 20 [116]. УФ-индексы, близкие к 20, были отмечены в горных условиях, например в горах Боливии [120]. В настоящее время УФ-индекс широко используется для оповещения населения в программах прогнозирования УФР и способствования выработки стратегии поведения людей вне помещений [148].

Спектр действия фотопреобразования 7-дегидрохолестерола в превитамин D впервые был получен на нескольких длинах волн [105]. Спектр действия витамина D был стандартизирован в [43]. С этим спектром действия связаны существенные неопределенности, вызванные тем, что он получен по одному исследованию по измерениям на нескольких длинах волн, распределе-

ние было подобрано точно для полученных значений, была применена экстраполяция до длины волны 330 нм, где экспериментальных данных нет. В связи с этим существуют сомнения в корректности принятого спектра действия (см. например, [109]). Кроме того спектр действия витамина D выглядит противоречиво из-за несогласия с экспериментальными данным по образованию витамина D зимой в средних широтах [81].

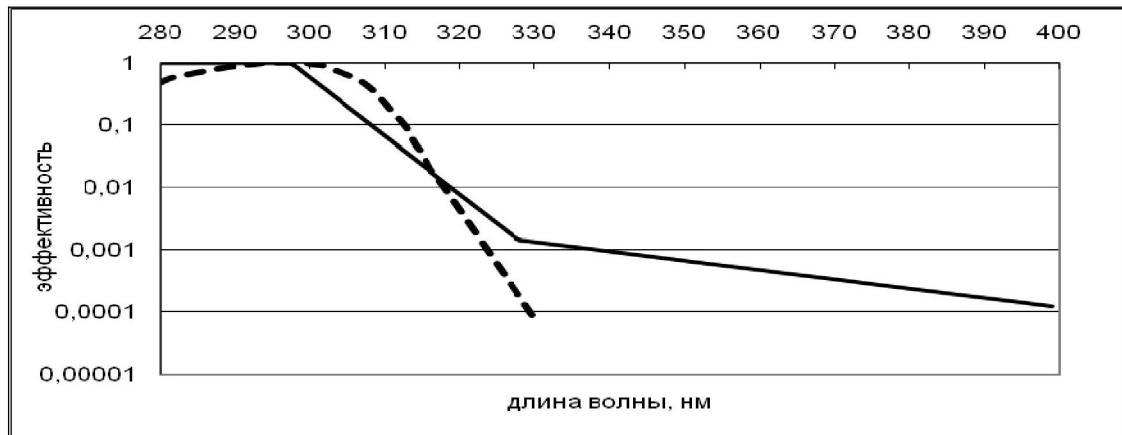


Рисунок 15 — Эритемный спектр действия (сплошная кривая), спектр действия образования витамина D3 (пунктир)

Расчет доз УФР, способствующей образованию витамина D (Q_{vitD}), также как и расчет доз Q_{ery} , может осуществляться с помощью спектра действия образования витамина D [82, 86, 117, 150, 157]. В то же время биологи и медики в своих экспериментах часто используют эритемную радиацию в качестве контроля при проведении измерений витамина D [92], что осложняет оценки пороговых значений радиации, необходимых для образования витамина D. В [141] подчеркивается, что разность между эритемным спектром действия и спектром действия образования витамина D приводит к погрешностям при использовании первого спектра действия для оценок концентраций витамина D.

В [63] проведена стандартизация номенклатуры доз УФР, ответственных за образование витамина D и эритемы. Различные типы кожи имеют различную чувствительность к УФР, которая характеризуется Минимальной эритемной дозой (MED). Она изменяется от 200 Дж/м² для людей с первым типом кожи до 2000 Дж/м² для людей с шестым типом кожи. Значение Минимальной эритемной дозы зависит от многих факторов: индивидуальная чувствительность, радиометрические характеристики источника излучения, пигмен-

тация кожи, анатомические особенности места облучения. Понятие Стандартной эритемной дозы (SED) было введено в [110]. 1 SED эквивалентна 100 Дж/м^2 и не зависит от типа кожи. В терминах стандартной эритемной дозы пороговые значения УФР для образования эритемы составляют от 2 SED до 20 SED.

По аналогии с MED и SED вводятся понятия Минимальная доза радиации, способствующей образованию витамина D, (MDD) и Стандартная доза радиации, способствующей образованию витамина D, (SDD) табл.4. У людей реакция на производство витамина D под действием УФР также различна. Также как и MED, MDD зависит от индивидуальных особенностей пигментации кожи, и, кроме того, от степени открытости кожи. Следует подчеркнуть, что определения MDD и MED не учитывают комплексной геометрии человеческого тела.

Существуют исследования, целью которых было получение соотношений между эритемной УФР и УФР, способствующей образованию витамина D, поскольку эритемная УФР измеряется во многих точках земного шара [97, 116].

Для того, чтобы получить более точные оценки поступающих доз УФР, способствующей образованию витамина D, необходимо учитывать геометрию человеческого тела. Существует приближения, в которых человеческое тело принимается за цилиндрическую поверхность, в других - человеческое тело представляется в виде большого числа наклоненных поверхностей [39].

В работе [54] исследуется УФР, способствующая образованию витамина D, по спектральным измерениям на трех европейских станциях в Финляндии, Нидерландах и Греции (Jokionen, Finland; Bithoven, The Netherlands; Thessaloniki, Greece), используя принятый спектр действия образования витамина D. В качестве порогового значения был выбран порог 3.46 мВт/м^2 (SDD). В полуденное время дозы УФР в Bithoven, The Netherlands; Thessaloniki, Greece были оценены как достаточные для образования витамина D в течение всего года.

Таблица 4 — Номенклатура доз БАУФР по [63]

| Эритема | | Витамин D | |
|--|--|--|---|
| SED | MED | SDD | MDD |
| Стандартная эритемная доза | Минимальная эритемная доза | Стандартная доза радиации, способствующей образованию витамина D | Минимальная доза радиации, способствующей образованию витамина D |
| Эквивалентна дозе эритемной радиации 100 Дж/м ² . | Доза эритемной радиации, которая способствует первичному покраснению кожи в течение 24 часов, зависит от типа кожи. Для второго типа кожи, согласно классификации Фитцпатрика составляет 250 Дж/м ² . | Эквивалентна дозе радиации, способствующей образованию витамина D, 100 Дж/м ² | Минимальная доза радиации, способствующей образованию витамина D, при облучении всего тела, которая эквивалентна суточному потреблению витамина D с пищей 1000 IU. 1 MDD эквивалента облучению 0,21 SDD - 0,34 SDD для всего тела человека со вторым типом кожи, что является эквивалентом: 1) облучению 0,25 MED 25% тела (Dowdy, 2010) 2) облучению всего тела в течение одной минуты в полдень солнечным светом в средних широтах летом (Holick, 2003) |

Влияние УФР на человека зависит не только от поступающей к поверхности Земли дозы, но и от многих других параметров. Например, негативное эритемное воздействие зависит от времени и продолжительности пребывания

ния на открытом воздухе. Образование витамина D под действием УФР зависит также от возраста человека, пола, степени незащищенности тела человека одеждой. Кроме того, человек может находиться в различном положении на воздухе (стоя, сидя, лежа), различно ориентирован по отношению к Солнцу, на незатененных площадках и в условиях городского затенения, у отдельных участков тела наблюдается различная степень чувствительности, различная степень влияния наблюдается у солнцезащитных кремов. Облучение разных частей тела составляет от 13 до 76% от облучения, которое приходит на верхушку головы [35].

Стратегия поведения человека на улице для получения человеком благоприятного эффекта от УФР на здоровье и избежания негативного влияния заключается в том, чтобы избегать долгого нахождения на открытом солнце, оставаться в тени, летом носить закрывающую тело одежду, широкополые шляпы, солнечные очки, пользоваться солнцезащитными кремами. Однако дать рекомендации по времени нахождения на солнце непростая задача, поскольку оптимальное время зависит от индивидуальных особенностей каждого человека, особенно, это касается эффективности образования под влиянием УФР витамина D [146].

Тем не менее представляется важной задача, которая поставлена в настоящей работе, которая заключается в характеристике географического климатического распределения БАУФР и его сопоставления с медицинскими рекомендациями, для того, чтобы выявить условия УФ-недостаточности, УФ-оптимума, УФ-избыточности в различных регионах Северной Евразии.

1.2.3 Экспериментальные оценки концентраций витамина D в организме человека

Исследования витамина D представлены в зарубежной и российской медицинской (например, [12, 14, 15]) литературе.

Экспериментальные исследования показывают, что концентрации витамина D варьируются в широких пределах даже у людей с одинаковым типом кожи, а также, что существует уровень насыщения для образования витамина D, который составляет приблизительно 0,5 MED [134].

Оптимальный уровень витамина D зависит от пола, возраста человека и времени года. Первичным выводом конференции по изучению витамина D, со-

стоявшейся в Варшаве в 2012 году, “Vitamin D—minimum, maximum, optimum,” (<http://www.witaminad.waw.pl/>) стало, что оптимальный уровень 25(OH)D составляет 30-50 нг/мл (75-125 нмоль/л), некоторые исследования показывают, что для оздоровительных целей необходимы концентрации 25(OH)D свыше 50 нг/мл.

По данным [156] в странах Центральной Европы на сегодняшний день средние концентрации 25(OH)D для новорожденных и младенцев составляют 7-24 нг/мл в зависимости от сезона. Зимние и весенние концентрации ниже 7-14 нг/мл, летние выше 19-24 нг/мл. Для детей в возрасте 11-14 лет в Будапеште, Венгрия концентрации 25(OH)D зимой для девочек - 21 нг/мл, для мальчиков - 23 нг/мл, летом для девочек - 38 нг/мл, для мальчиков - 41 нг/мл. Для людей в возрасте 20-60 лет зимой концентрации 25(OH)D составляют 17-18 нг/мл, летом - 18-24 нг/мл, в среднем за год - 15-29 нг/мл. Для людей старше 60 лет зимой концентрации 25(OH)D составляют 11-20 нг/мл, летом - 15-33 нг/мл, в среднем за год - 13-29 нг/мл.

На рисунке 16, построенном по экспериментальным данным о концентрации 25(OH)D у взрослого здорового населения, приведенным в статье [156], видно, что концентрации 25(OH)D у населения в Центральной Европе могут не достигать уровня 30 нг/мл, и наиболее низкие концентрации 25(OH)D отмечаются зимой.

Согласно [156] в Великобритании женщины имеют статистически более высокие концентрации 25(OH)D, чем мужчины зимой, и в то же время мужчины имеют более высокие концентрации 25(OH)D летом. Различия могут быть связаны с разным временем пребывания на улице и потреблением витамина D с пищей.

Основным выводом исследования [156] является то, что большинство людей, живущих в Западной и Центральной Европе и адаптированных к получаемым дозам УФР, имеют концентрации 25(OH)D ниже оптимальных, 30-50 нг/мл. Однако стоит отметить, что существуют значительные различия в оценках концентраций 25(OH)D в зависимости от метода клинического анализа [73].

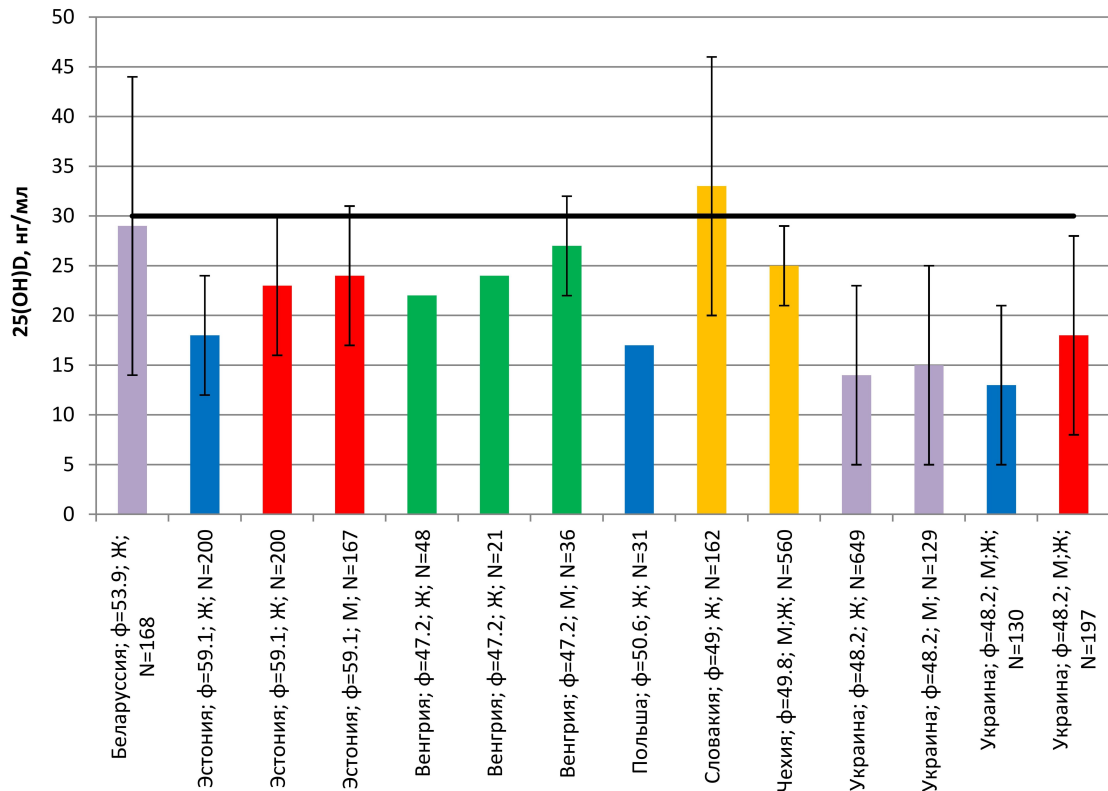


Рисунок 16 — Концентрации 25(OH)D в Центральной Европе по данным [156] зеленые столбцы - весна; синие столбцы - зима; желтые столбцы - осень; красные столбцы - лето; сиреневые столбцы - год;

После того как витамин D образовался из превитамина D, происходит процесс фотодегратации витамина D, сравнимый с синтезом превитамина D на длинах волн 300-330 нм [63]. Это объясняет почему не возникает токсичность от образования витамина D под действием УФР и смысл рекомендаций коротких периодических пребываний на Солнце, чтобы исключить негативное влияние УФР на здоровье человека.

Существует также различные мнения, касающиеся оптимальных для здоровья концентраций 25(OH)D. Недостаточными по различным источникам считаются концентрации меньше 25-50 нмоль/л, оптимальными более 50-75 нмоль/л. В лабораторных исследованиях показано, что существует линейная зависимость между дозой УФР и концентрацией 25(OH)D, которая выходит на плато в течение долгого времени [141]. Форма кривой зависит от начальной концентрации 25(OH)D.

В работе [143] показано, что людей со светлой кожей в Манчестере (Великобритания) при регулярном короткопериодном пребывании на солнце летом приводит к оптимальному уровню витамина D к концу лета (> 50 нмоль/л (20

нг/мл)) и поддержанию этого уровня в течение зимы.

В работах [37] и [118] представлено глобальное распределение статуса витамина D согласно многочисленным литературным данным.

Годовое наблюдение детей в возрасте до трех лет на территории России выявило, что в исследованной выборке более чем у 2/3 детей обнаруживаются недостаточность или дефицит витамина D [12].

Согласно разным авторам существуют различные оценки концентраций 25(OH)D, связанные с недостаточностью витамина D. В целом концентрации 25(OH)D 15–20 нг/мл считаются многими авторами недостаточными. В странах южной Европы наблюдается большая доля населения с витамин D недостаточностью по сравнению, например, со странами Скандинавии и Нидерландов, в связи с употреблением здесь в пищу богатой витамином D рыбой. Исследование статуса витамина D в зимнее месяцы в Европе показало, что недостаточность витамина D ($25(\text{OH})\text{D} < 12$ нг/мл) более часто отмечается в странах Средиземноморья, чем в Северной Европе. [131].

В последние годы выработаны рекомендации по потреблению витамина D для различных возрастных групп в Центральной Европе, они приведены в работе [121].

1.3 Основные методы изучения пространственного и временного распределения УФР

1.3.1 Измерения УФР

Первые УФ-измерения были проведены в Давосе Бенером и Дорно в начале двадцатого века [89]. Развитие измерительной техники в 20-30 гг. XX столетия привело к разработке спектрофотометра Добсона, который используется до сих пор на наземной озонометрической сети [75]. В 1960-70-ые годы большой вклад в исследование УФР сделано П. Бенером в Швейцарии [89], группой под руководством В.А. Белинского в СССР [20], Грином в США [112] и др.

В Канаде в 1970-ые годы Брюером и Вардлем был разработан комбинированный спектрометр, получивший название спектрофотометр Брюера, который позволяет измерять общее содержания озона и УФР в автоматическом режиме. Дальнейшее развитие наземной сети измерений УФР проводилось на

базе широкополосных приборов Роберсона-Бергера, приборов фирм Eppley, Yankee, KirpenZonen. В России в 1960-ые г. в Москве в Метеорологической Обсерватории МГУ А.В. Высоцким и М.П. Гараджа был разработан широкополосный прибор, позволяющий измерять УФ радиацию в диапазоне спектра 300-380нм, что позволило получить самый длинный в мире непрерывный ряд измерений с 1968 г. [59]. В МО МГУ с 1999 г. также проводится непрерывный мониторинг биологически активной эритемной радиации приборами UVB-1 YES и UV-S-E-T фирмы Kirp Zonen [26, 57].

Российские станции и ряд станций на территории бывших союзных республик в основном оснащены разработанными в Главной геофизической обсерватории Росгидромета фильтровыми озонетрами М-124, позволяющим проводить измерения УФ-В радиации. На сегодняшний день на 14 станциях Росгидромета используются корректирующие приставки к озонетрам М-124 для измерения эритемной УФР [19]. С 2005 года в рамках модернизации актинометрической сети были закуплены 19 автоматических измерительных комплексов фирмы KIPP Zonen, 6 из которых включают измерения ультрафиолетовой радиации областей А и В [9]. В Томске, Долгопрудном, Обнинске, а также на высокогорной станции ИФА РАН в Кисловодске проводятся измерения ОСО и УФР с помощью спектрофотометра Брюера [1, 13].

Данные измерений УФР собираются в международной открытой базе данных WOUDC (<http://woudc.org>), которая является частью программы GAW, организованной Всемирной Метеорологической Организацией. В архиве WOUDC содержатся измерения 11 станций, оснащенных широкополосными приборами, 43 станций - узкополосными приборами, и данные 60 станций, полученные с помощью спектральных приборов. Создан ряд региональных центров по мониторингу и хранению данных измерений УФ радиации - NSF Polar UV Monitoring Network (<http://www.biospherical.com/nsf/>), USDA UV-B Monitoring and Research Program <http://nadp.nrel.colostate.edu/UVB/>, центр данных по УФ радиации в Европе (EUVDDB)(<http://uv.fmi.fi/uvdb/>).

В 1960-70-е годы начинаются спутниковые измерения. В табл.5 представлена информация об основных метеорологических спутниках, на которых производились наблюдения за УФР и озоном. Первые измерения в ультрафиолетовом диапазоне были выполнены на спутниках серии Nimbus. По данным измерений, полученным на спутнике Nimbus-3, была организована программа

MUSE (Monitor of Ultraviolet Solar Energy) для изучения УФР. На спутниках серии Nimbus-3 и Nimbus-4 был установлен 12-ти канальный Backscatter Ultraviolet Spectrometer (BUV). На спутнике Nimbus-7, запущенном в 1978 году, был установлен прибор TOMS (Total ozone mapping spectrometer), предназначенный для измерения общего содержания озона и УФР по всему Земному шару. Позднее прибор TOMS был установлен на спутниках Meteor-3 и Earth Probe. Программа ERBE (Earth Radiation Budget Experiment), а также программа Stratospheric Aerosol Gas Experiment (SAGE II) были начаты на спутнике ERBS в 1984 году. В 1995 году Европейским космическим агентством был запущен спутник ERS-2 с прибором GOME на борту, предназначенный для измерения малых газовых составляющих, атмосферных аэрозолей, озона, УФР. С 2002 по 2010 года на борту спутника ENVISAT работал спектрометр SCIAMACHY, измеряющий концентрации газов в тропосфере и стратосфере, в том числе озон. В 2006 году был запущен прибор GOME-2 на спутнике MetOp-A. С 2004 года на спутниковой платформе Aura измерения озона были начаты с помощью прибора OMI (Ozone Monitoring Instrument). С 2011 года NASA запустило систему OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite), использующую совместно два гиперспектральных прибора, что позволяет не только картировать распределение озона и УФР по всей земной поверхности, но и восстанавливать его профили. Алгоритмы восстановления озона также разработаны для многих других спутниковых приборов, данные которых доступны на сайте WMO Ozone Mapping Centre (<http://lap.physics.auth.gr/ozonemaps2/>).

Преимуществом спутниковых наблюдений является возможность получения данных по озону и УФР практически со всей поверхности Земли. Однако восстановления УФР имеют невысокую точность, которая особенно значительно ухудшается над поверхностями со снежным покровом и в условиях сильного загрязнения атмосферы поглощающим аэрозолем и оптически активными газами [47, 104, 130].

Таблица 5 — Основные спутники, снабженные инструментами для измерения общего содержания озона (ОСО) и УФР (по данным <http://www.wmo-sat.info/oscar/instruments>)

| Годы | Спутник | Приборы | Характеристика |
|-----------|----------|---|---|
| 1969-1972 | Nimbus-3 | BUV(Backscatter Ultraviolet Spectrometer) | Измерения вертикальных профилей озона и других газов, солнечной радиации. 12 дискретных 1нм шириной каналов в интервале длин волн 250-340 нм. Глобальное покрытие (разрешение 170 км) в течение 10 дней |
| 1970-1980 | Nimbus-4 | BUV(Backscatter Ultraviolet Spectrometer) | Измерения вертикальных профилей озона и других газов, солнечной радиации. 12 дискретных 1нм шириной каналов в интервале длин волн 250-340 нм. Глобальное покрытие (разрешение 170 км) в течение 10 дней |
| 1978-1993 | Nimbus-7 | SBUV/TOMS (Solar Backscatter Ultraviolet/ Total Ozone mapping Spectrometer) | SBUV - Измерения вертикальных профилей озона и других газов, солнечной радиации. 12 дискретных 1нм шириной каналов в интервале длин волн 250-340 нм или непрерывная развертка от 160 до 340 нм. Глобальное покрытие 14 дней, разрешение 200 км. TOMS – измерения общего содержания озона, 6 каналов: 312.5, 317.5, 331.3, 339.9, 360.0, 380 нм, ширина 1 нм, разрешение 50 км в подспутниковой точке, глобальное покрытие, каждый день. |

Продолжение таблицы 5

| Годы | Спутник | Приборы | Характеристика |
|-------------------|----------------------------------|---|---|
| с 1985 - н.вр. | NOAA 9, 11, 14, 16, 17, 18 | SBUV, SBUV/2 (Solar Backscattered Ultraviolet Spectrometer) | SBUV - Измерения вертикальных профилей озона и других газов, солнечной радиации. 12 дискретных 1нм шириной каналов в интервале длин волн 250-340 нм или непрерывная развертка от 160 до 340 нм. Глобальное покрытие 14 дней, разрешение 200 км. SBUV/2 - Измерения вертикальных профилей озона и других газов, солнечной радиации. 12 дискретных 1нм шириной каналов в интервале длин волн 252-340 нм или непрерывная развертка от 160 до 340 нм. Глобальное покрытие 10 дней, разрешение 170 км. |
| 1993- 1994 | Meteor-3 | TOMS (Total Ozone mapping Spectrometer) | Измерения общего содержания озона, 6 каналов: 312.5, 317.5, 331.3, 339.9, 360.0, 380 нм, ширина 1 нм, глобальное покрытие, каждый день. |
| 1995- 2011 | ERS-2 | GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) | Профиль и общее содержание озона, содержание газов BrO, ClONO ₂ , H ₂ O, HCHO, NO ₂ , O ₂ , O ₃ , O ₄ , OCIO, SO ₂ , содержание аэрозолей. 4 полосы, 4096 каналов, 3 поляризационных канала, UV-NIR: 240 - 790 нм (разрешение 0.2-0.4нм). Глобальное покрытие каждые 24 дня с высоким разрешением, каждые 3 дня с низким разрешением. |

Продолжение таблицы 5

| Годы | Спутник | Приборы | Характеристика |
|--------------|-------------|--|---|
| 1996-2000 | Earth Probe | TOMS (Total Ozone mapping Spectrometer) | Измерения общего содержания озона, 6 каналов: 312.5, 317.5, 331.3, 339.9, 360.0, 380 нм, ширина 1 нм, глобальное покрытие, каждый день. |
| 2002-2012 | ENVISAT | SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) | Атмосферная химия: BrO, CH ₄ , ClO, CO, CO ₂ , H ₂ O, HCHO, N ₂ O, NO, NO ₂ , NO ₃ , O ₂ , O ₃ , O ₄ , OCIO, SO ₂ , аэрозоли. UV/VIS/NIR/SWIR, 8 полос, 8192 каналов, 7 поляризационных каналов, 214-2380 нм. Надирные и лимбовые измерения. Глобальное покрытие каждые 3 дня. |
| 2004-н.вр. | Aura | OMI (Ozone Monitoring Instrument) | Профиль и общее содержание озона, содержание газов BrO, NO ₂ , O ₃ , OCIO, SO ₂ , аэрозоли UV/VIS 3 полосы, 1560 каналов, 270-500 нм. Глобальное покрытие каждый день. |
| 2006 - н.вр. | MetOp-A | GOME-2 (Global Ozone Monitoring Experiment) | Профиль и общее содержание озона, содержание газов BrO, CHOCHO, H ₂ O, HCHO, NO ₂ , O ₂ , O ₃ , O ₄ , OCIO, SO ₂ , содержание аэрозолей. 4 полосы, 4096 каналов, 3 поляризационных канала, UV-NIR: 240 - 790 нм (разрешение 0.2-0.4нм). Глобальное покрытие каждые 24 дня с высоким разрешением, каждые 3 дня с низким разрешением. |

Продолжение таблицы 5

| Годы | Спутник | Приборы | Характеристика |
|-----------------|---------|---|---|
| 2011 - н.вр. | SNPP | OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite) | Лимбовые измерения - Атмосферная химия – стратосферные профили BrO, H ₂ O, HCHO, NO ₂ , NO ₃ , O ₃ , OClO, SO ₂ . UV/VIS/NIR диапазон 290-1000 нм; спектральное разрешение 0.75 - 25 нм, горизонтальное разрешение 300 км, вертикальное 2.2 км. Глобальное покрытие каждые 4 дня. Надирные измерения - Атмосферная химия: профиль и общее содержание озона. Общее содержание BrO, HCHO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ . устройство для картографирования для общего содержания озона: 300-380 нм, надирный озоновый профилемер :250-310нм. Разрешение: устройство для картографирования: 50 км. Надирный профилемер: 250 км. Глобальное ежедневное покрытие для устройства для картографирования, для надирного профилемера каждые 12 дней. |

1.3.2 Моделирование УФР

Применяемые приемы моделирования можно разделить на точные модели радиационного переноса (например, UVspec, TUV, FastRT, SBDART) [66], статистические модели (например, [52]), эмпирические модели реконструкций УФР(например, [57, 103]). Модели радиационного переноса отличаются по сложности, а следовательно, по качеству результатов, различаются по набору данных, необходимых для их запуска, временем счета [67]. Большинство точных моделей радиационного переноса являются одномерными моделями.

Они позволяют получить значения УФР, зная набор входных параметров таких, как высота Солнца, отражательная способность поверхности, общее содержание озона, характеристики аэрозолей и облачности. Одномерные модели широко используются в климатических исследованиях, как дополнительный инструмент в задачах мониторинга УФР. Трехмерные радиационные модели, использующие метод Монте Карло (например, libRadtran/MYSTIC [108]), позволяют описать неоднородность среды, например в кучевых облаках, применяются реже, поскольку требуют больших компьютерных ресурсов и больших объемов комплексной входной информации. Качество радиационных моделей зависит от качества входных параметров. Для оценок УФР в прошлом используются эмпирические и статистические модели. Эти модели чаще всего основаны на рядах наблюдений общего содержания озона, интегральной коротковолновой солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния и других доступных метеорологических параметров [103].

1.3.3 Оценки пространственно-временного распределения биологически активной УФР у поверхности Земли

В последние годы были получены климатологии УФР по различным данным, в том числе спутниковым, например, [129, 155], и наземным [86, 147]. Составлена климатология различных видов БАУФР для всего земного шара (65S-65N) за исключением полярных широт [33] (данные можно найти по адресу: <http://cdp.ucar.edu>). Для территории Новой Зеландии создан электронный атлас УФР [50].

Использование спутниковых данных для построения карт УФР у поверхности Земли дает уникальную возможность исследовать пространственную и временную изменчивость УФР, связанную с изменениями атмосферных условий, таких как истощение озонового слоя и изменения облачности. Целью проекта CUBEO (RIVM) [65] было построение карт БАУФР для территории Европы с помощью точных радиационных расчетов UVTRANS version 5, зная распределение озона и облачности, для оценки отрицательного влияния УФР на здоровье человека. Сравнения полученных годовых доз УФР с наземными измерениями в условиях низкого альбедо поверхности показали согласие с наземными измерениями в пределах 10%. В климатологии CUBEO (RIVM) особое внимание было уделено схеме расчетов облачных эффектов, были рас-

смотрены три схемы учета облачности. Первая - спутниковые наблюдения за баллом облачности ISCCP, вторая - балл облачности и облачная оптическая толщина, третья - использование отражательной способности спутникового радиометра TOMS. Наилучшие результаты по сравнению с наземными эмпирическими наблюдениями показал метод, основанный на использовании отражательной способности TOMS. В конечном итоге в климатологии RIMV для оценки влияния облачности используется метод [77]. Выбор оценки годовых доз эритемной УФР в работе [65] связан с куммулятивным эффектом влияния УФР на здоровье человека, проявляющимся в возникновении рака кожи, старении кожи, возникновении катаракты.

В работе [155] разработана климатология УФР на территории Западной Европы с пространственным разрешением 0.05 градуса, что соответствует разрешению спутника Meteosat над Европой, и с потенциальным разрешением во времени 0.5 часа.

Последние наиболее надежные спутниковые продукты радиометра OMI, измеряющего восходящую радиацию на верхней границе атмосферы в диапазоне длин волн 270-500 нм, представляют глобальное распределение эритемной УФР и УФР на длинах волн 305.1, 310.1, 324.1, 380.1 нм в местный солнечный полдень, а также суточных доз эритемной УФР [45]. Алгоритм восстановления УФР использует радиационную модель и восстановления OMI общего содержания озона и климатические значения альбедо поверхности [140], а также рассчитанные значения облачной оптической толщины как входные параметры. В работе [151] проведено сравнение суточных доз эритемной УФР, полученных по измерениях спутникового радиометра OMI, с высокоточными наземными измерениями. Выявлено, что для улучшения качества спутниковых оценок УФР необходим учет поглощающих аэрозолей и газов и знания об альбедо поверхности.

1.4 Выводы к главе 1

Ультрафиолетовая радиация оказывает влияние на многие процессы в биосфере, в том числе и на здоровье человека. Для оценки воздействия УФР на определенный биологический процесс используются спектры действия. Влияние УФР на здоровье человека может быть положительным и отрицательным. К основному, детально изученному отрицательному эффекту относится обра-

зование эритемы, а к основному положительному - образование витамина D в коже человека. Согласно исследованиям у большого числа людей в Европе отмечаются концентрации витамина D в сыворотке крови ниже оптимальных, особенно в холодный период года в связи с уменьшением притока солнечной радиации.

Поступление УФР к поверхности Земли регулируется, главным образом, такими геофизическими факторами, как высота Солнца, общее содержание озона, оптические свойства аэрозоля и облачности, альbedo поверхности.

Для оценок доз УФР, поступающих к поверхности Земли, используются данные наземных и спутниковых измерений, а также результаты радиационного моделирования. Наиболее точным способом оценки поступающих к поверхности Земли доз УФР являются наземные измерения. Однако сеть наземных измерений УФР не обеспечивают большого и детального пространственного охвата. Сеть наземных высокоточных наблюдений УФР наиболее густая в Европе, на территории Азии пункты измерений УФР расположены редко. Спутниковые оценки УФР имеют значительные погрешности (до 50%) для территорий со снежным покровом и районов, где существенно влияние поглощающих УФР аэрозолей и газовых примесей.

Пространственно-временные распределения эритемной УФР для различных территорий земного шара представлены в ряде работ (например, [38, 65, 102, 122]). После принятия Международной комиссией по освещению спектра действия образования витамина D под действием УФР [43] в литературе появились оценки влияния УФР на образование витамина D в различных географических районах, например, [54, 86, 100, 116, 157]. Однако на сегодняшний день еще не разработан единый подход к определению пороговой дозы УФР, способствующей образованию оптимального количества витамина D в организме человека.

В связи с этим к недостаткам существующих исследований можно отнести отсутствие комплексной оценки влияния УФР на здоровье человека одновременно с точки зрения образования витамина D и эритемы на всей территории Северной Евразии.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Модель радиационного переноса TUV.

Основным инструментом, с помощью которого были получены основные результаты работы, является одномерная модель радиационного переноса TUV (Tropospheric and ultraviolet model) [29, 106]. В программном блоке для решения уравнения переноса радиации реализован псевдосферический восьмипотоковый метод дискретных ординат DISORT [74]. Впервые метод дискретных ординат был описан Чандрасекаром [40]. Суть метода дискретных ординат заключается в замене в интегро-дифференциальном уравнении переноса интеграла по углам квадратурной формой Гаусса, т.е. в переходе к дискретной сетке по углам рассеяния.

Погрешность расчета солнечного излучения с помощью этого метода не превышает 1%. Вертикальное разрешение модели задавалось с шагом 1 км и включало 80 слоев, спектральное разрешение задавалось равным 1 нм. Оптические свойства задаются для каждого слоя постоянными, но могут отличаться от слоя к слою.

Входными параметрами являются широта и высота места, время (через высоту Солнца), общее содержание озона, аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм (AOT380), параметр Ангстрема, вертикальное распределение общего содержания озона и AOT380, спектральное распределение внеатмосферной солнечной постоянной, альbedo поверхности, альbedo однократного рассеяния и фактор асимметрии аэрозоля, сечения рэлеевского рассеяния и температурно-зависимые сечения поглощения озона.

В качестве спектрального распределения внеатмосферной постоянной использовалась комбинация спутниковых измерений: в области 300–400 нм использовались спутниковые данные ATLAS3 (1994 г.), а для интервала короче 300 нм применялись данные другого спутникового прибора SUSIM. Вертикальное распределение озона задавалось по [159] с учетом особенностей вертикального профиля в зависимости от его содержания согласно [159]. Расчет оптических толщин озонового слоя проводился с учетом температурной зависимости значений коэффициента поглощения. В модели учитывается поглощение малыми газовыми примесями (SO_2, NO_2) с учетом их вертикального распределения в атмосфере, а также учет ослабления радиации аэрозолем и

рассеяние радиации параллельными слоями однородной облачности.

Профиль аэрозоля задавался согласно распределению, принятому в континентальной модели атмосферы II CONT-I в слое 0-12км [159]. Для характеристики радиационных свойств аэрозоля используется аэрозольная оптическая толщина для длины волны $\lambda=380\text{нм}$, спектральный ход которой определен параметром Ангстрема. Другие важные аэрозольные характеристики задавались постоянными значениями: фактор асимметрии индикатрисы рассеяния - 0.75 и альbedo однократного рассеяния - 0.94 согласно оценкам этих параметров по данным измерений сети AERONET в Европе [58].

2.2 Созданные базы данных основных геофизических параметров, влияющих на поступление УФР к поверхности Земли, на территории Северной Евразии

Для оценки пространственно-временного распределения основных геофизических параметров, влияющих на поступление БАУФР к поверхности Земли, были созданы базы данных с пространственным разрешением 1 градус и временным разрешением 1 месяц (Табл. 6).

Для оценки временного и пространственного распределения общего содержания озона (ОСО) использовались данные спутниковых измерений спектрорадиометра TOMS за период 1980-2003 гг., которые считаются наиболее надежными.

При оценке пространственно-временного распределения АОТ аналогично методу, примененному в [58], были использованы данные MODIS (коллекция 5) за период 2000-2008 г. для $\lambda=550\text{нм}$. Однако качество этих спутниковых данных в ряде случаев является неудовлетворительным: отмечаются завышенные значения АОТ в переходные сезоны года, когда наблюдается неустойчивый снежный покров, а также ошибки восстановления АОТ над поверхностями с высокой отражательной способностью (над снегом).

Для того, чтобы исключить ошибки, связанные с восстановлением АОТ, в условиях снежного покрова была использована специально созданная климатология АОТ, в которой данные наземных измерений объединялись по 5-ти регионам. Эти регионы выделялись с учетом особенностей циркуляционных процессов, а также с учетом классификации Б.П. Алисова, уточненной Н.А.

Мячковой. Для полученных районов были рассчитаны медианные месячные оценки АОТ на длине волны 550 нм и средние параметра Ангстрема по данным измерений станций сети AERONET. В дополнение, для районов, не обеспеченных данными AERONET, использовались результаты расчетов АОТ, полученные на основании данных измерений прямой солнечной радиации стандартными приборами актинометрической сети РФ [2] по методике [16]. Параметр Ангстрема позволил перейти от АОТ на длине волны 550 нм к АОТ на длине волны 380 нм. Подробная методика создания климатологии АОТ на территории Евразии описана в [30, 31].

Для оценки альbedo поверхности на территории Северной Евразии по спутниковым данным TOMS был выбран подход с применением метода скользящего окна (MTW) в определенных временных интервалах, предложенный в [139, 140], на основании которого были получены ежедневные данные по альbedo поверхности для $\lambda=360$ нм. Техника MTW основана на предположении, что Ламбертовская отражательная способность в определенном временном окне около интересующего дня формирует выборку отражательной способности поверхности. Низкие значения в распределении соответствуют безоблачным условиям. Соответственно, "хвост"кумулятивной функции распределения отражательной способности соответствует оценкам альbedo поверхности [140]. Данные, полученные методом MTW, были выбраны для оценки пространственно-временного распределения альbedo поверхности, поскольку ранее созданная и широко используемая глобальная климатология альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра [90] опиралась на значения минимальной ламбертовской способности (MLER) для всего месяца, что служит причиной возникновения погрешностей в определении альbedo поверхности в переходные сезоны года в регионах со снежным покровом [140].

Оценка облачного пропускания УФР на территории Северной Евразии была проведена по данным об отражательной способности на длине волны 380 нм спектрорадиометра TOMS и данным по нижней облачности последнего реанализа ECMWF ERA-Interim. Метод определения облачного пропускания УФР описан в главе «Оценка особенностей пространственно-временного распределения основных геофизических факторов, влияющих на УФР, и биологически активной УФР на территории Северной Евразии».

Таблица 6 — Первичные наземные и спутниковые данные об основных параметрах, влияющих на УФР

| Параметр | База данных, (временной период, годы) |
|---|---|
| Общее содержание озона | TOMS (1979-2003) |
| Аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм | MODIS (2000-2008), AERONET (1994-2006), Российская актинометрическая сеть (1980-2003) |
| Альbedo поверхности | MTW TOMS LER (1979-1992), (Tanskanen and Manninen, 2007) |
| Отражательная способность поверхности на длине волны 380 нм | TOMS (1979-2002) |
| Балл нижней облачности | реанализ ECMWF ERA-Interim (1979-2002) |

2.3 Данные измерений

В качестве экспериментальных данных для валидации проводимых расчетов использовались данные многолетних непрерывных измерений УФР и метеорологических параметров в Метеорологической Обсерватории МГУ (МО МГУ).

Измерения эритемной УФР (Q_{ery}) в МО МГУ проводятся с 1999 года широкополосными пиранометрами [26]. Приборы имеют кривые спектральной чувствительности близкие к эритемной кривой действия [125] (рисунок 17). Регистрация и обработка измерений, которые производятся с временной дискретностью одна минута, осуществляется с помощью специально разработанного программного комплекса SUN [11]. До 2012 года включительно измерения проводились широкополосными УФ-пиранометрами UVB-1 фирмы YES. С начала 2013 года измерения Q_{ery} производятся пиранометром UV-S-E-T фирмы KIPP&Zonen. Контрольный прибор регулярно проходит калибровки по спектрорадиометру Bentham, калибровка которого получена в соответствии с европейским стандартом, в рамках международного соглашения с Департаментом Физиологии и Медицинской Физики Отделения Биомедицинской Физики Медицинского Университета, Инсбрук, Австрия.

Главными источниками погрешностей измерения Q_{ery} приборами этих типов служат различия между спектральной кривой прибора и эритемной кривой действия, а также отклонения от закона косинуса для прибора UVB-1. Порядок обработки получаемых данных наблюдений заключается в следующем. На первом этапе формируются стандартные таблицы с часовыми дозами

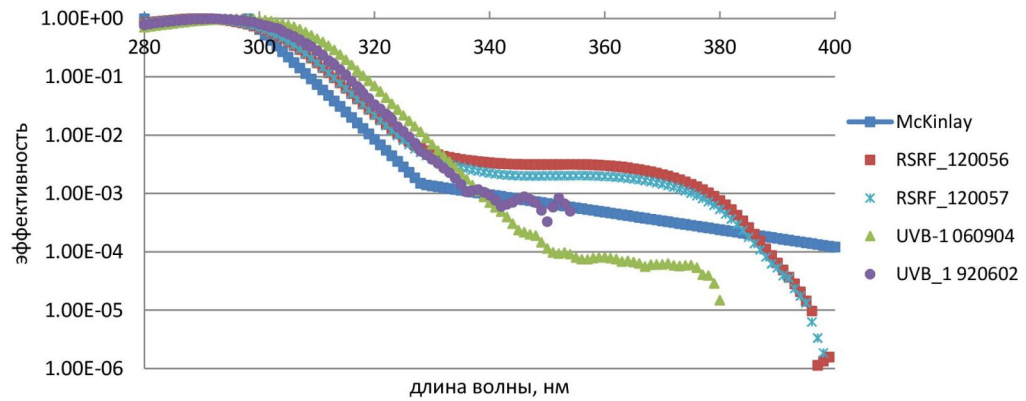


Рисунок 17 — Эритемная кривая действия (McKinlay) и кривые чувствительностей приборов

эритемной УФР, полученными с помощью переводного коэффициента при высоте Солнца 30 градусов и общем содержании озона 300 ед. Добсона (данные версии 1). Далее, согласно рекомендациям ВМО и разработанным в МО МГУ методам [26] вводятся поправки на высоту Солнца и общее содержание озона, что связано с имеющимися отличиями кривой спектральной чувствительности приборов от кривой эритемного действия (рисунок 18). Эти поправки небольшие при больших высотах Солнца и могут быть довольно существенными при низких высотах Солнца. Кроме того, в данные приборов UVB-1 вводятся поправки, учитывающие косинусные погрешности прибора. Данные измерений, учитывающие спектральные и косинусные погрешности приборов, использовались при создании базы данных измерений эритемной УФР версии 2.

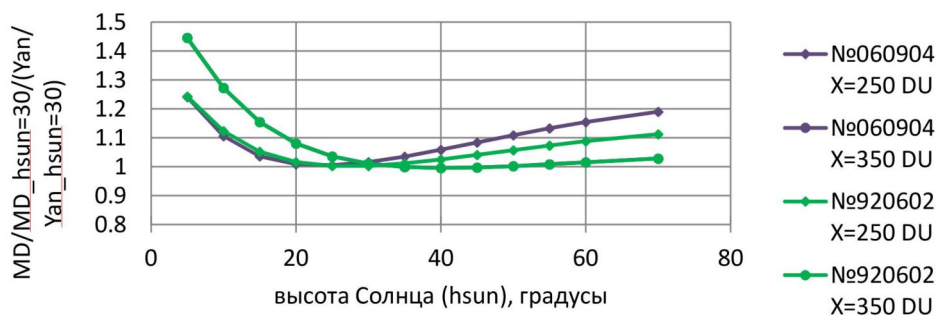


Рисунок 18 — Спектральные поправки для приборов №060904 и №920602 в зависимости от высоты Солнца

Для контроля качества мониторинга эритемной УФР ежегодно проводятся сравнения измерений регистрирующих приборов с измерениями контрольных

ного прибора UVB-1 №060904. Исследования, выполненные в 2012 году, показали, что температурная стабилизация (45°C) старой модели UVB-1 YES 90-х годов (к которой относится, в частности, регистратор UVB-1 №920602), не осуществляется в полном объеме и наблюдается остаточная температурная зависимость, которая может оказывать существенное влияние на измерения прибора. На рисунке 19 показаны отношения между измерениями контрольного (№060904) и регистрирующего (№920602) приборов, полученные по минутным данным измерений в сентябре и ноябре 2012 г. В показания приборов дополнительно были введены косинусная и спектральная поправки. Видно, что при низких высотах Солнца, которые в ноябре соответствовали пониженным значениям температуры воздуха, различия между показаниями приборов могли составлять 20-30%. Вследствие этого была дополнительно исследована зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха.

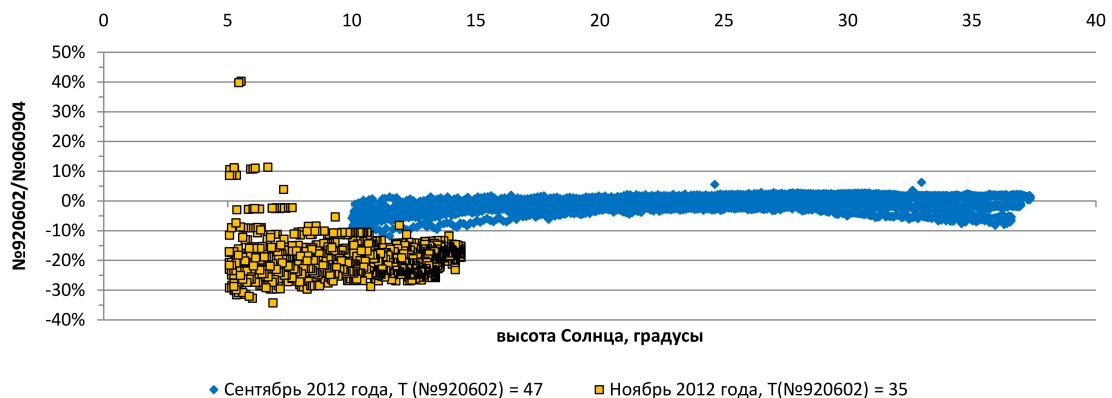


Рисунок 19 — Соотношения минутных измерений приборов №920602 и №060904 в сентябре, ноябре 2012 года.

Согласно Руководству пользователя прибора UVB-1 YES без температурной стабилизации чувствительность прибора изменяется на 1% на 1°C (рисунок 20)

На рисунке 21 представлена зависимость температуры UVB-1 YES №920602 от температуры воздуха на высоте 2 м. Из рисунка 21 хорошо видно, что при уменьшении температуры воздуха до 15°C и менее, происходят значительные изменения температуры прибора, что сказывается на качестве измерений УФР.

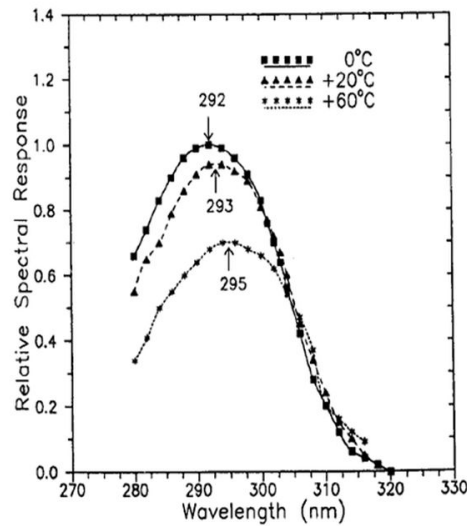


Рисунок 20 — Относительные спектральные чувствительности при трех температурах Стрелками показаны максимумы в спектральной чувствительности

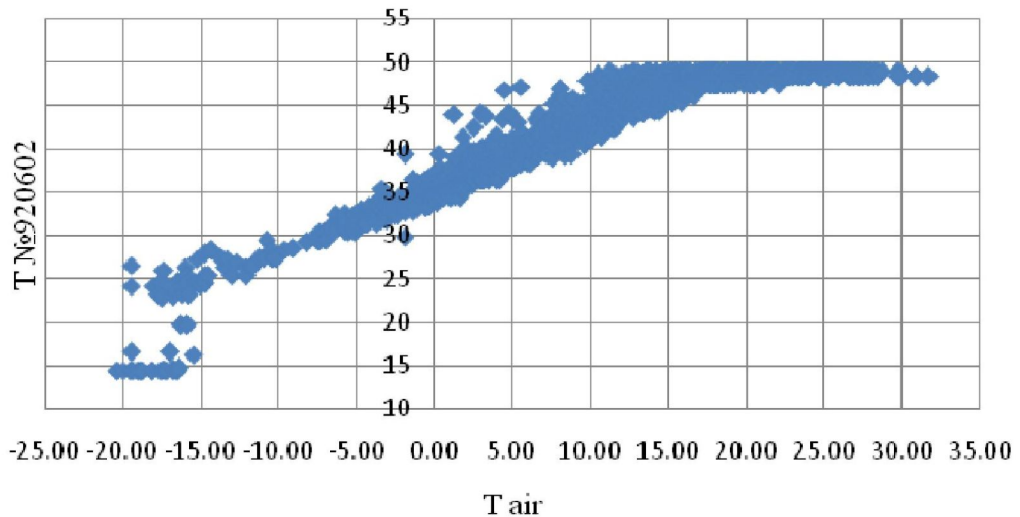


Рисунок 21 — Зависимость температуры прибора (Т №920602) от температуры воздуха (Т air) в 2012 г.

Для того чтобы ввести необходимые поправки в измерения регистрирующего прибора, используя данные одновременных измерений контрольного прибора в 2012 году (рисунок 22), было получено эмпирическое выражение для расчета скорректированной величины эритемной УФР $Q(v3)$ в зависимости от температуры прибора:

$$Q(v3) = Q(920602) / (0.000358 \times T^2(920602) - 0.014366 \times T(920602) + 0.86008), \quad (14)$$

где $Q(920602)$ - суммарная эритемная УФР, измеренная регистратором №920602, $T(№920602)$ – температура прибора №920602.

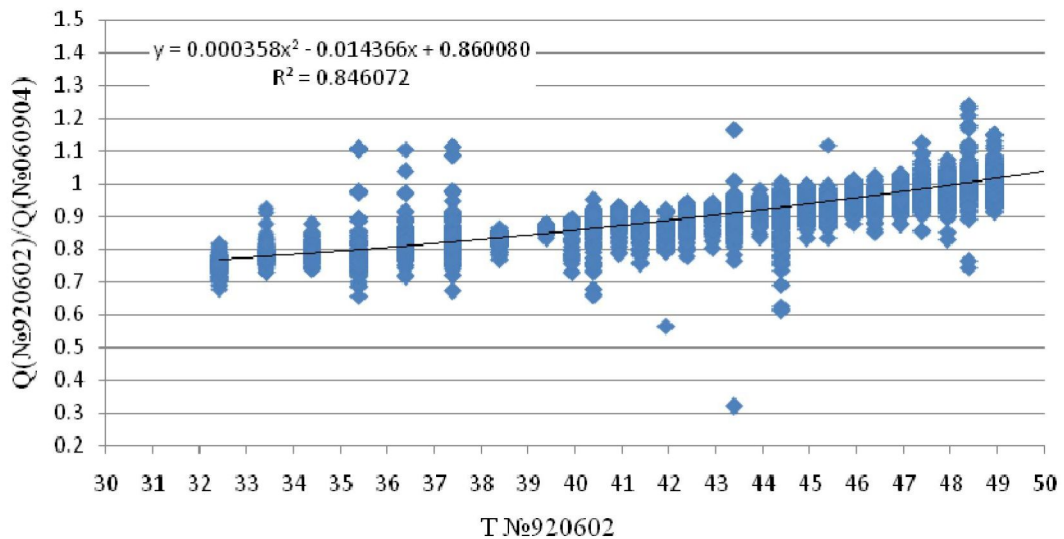


Рисунок 22 — Отношение минутных одновременных измерений приборов в мае, сентябре и ноябре в зависимости от температуры прибора №920602 в 2012 г.

Поскольку в течение периода измерений с 1999 года не всегда велась регистрация температуры прибора, то коррекция измерений эритемной УФР осуществлялась по температуре воздуха. Для этого дополнительно использовалась регрессионная связь между температурой регистрирующего прибора и температурой воздуха (рисунок 23). Зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха ($T_{air} < 15^\circ\text{C}$) аппроксимировалась линейной функцией:

$$T(920602) = 0.834 \times T_{air} + 35.20 \quad (15)$$

где $T(№920602)$ – температура прибора №920602, T_{air} – температура воздуха на высоте 2 м.

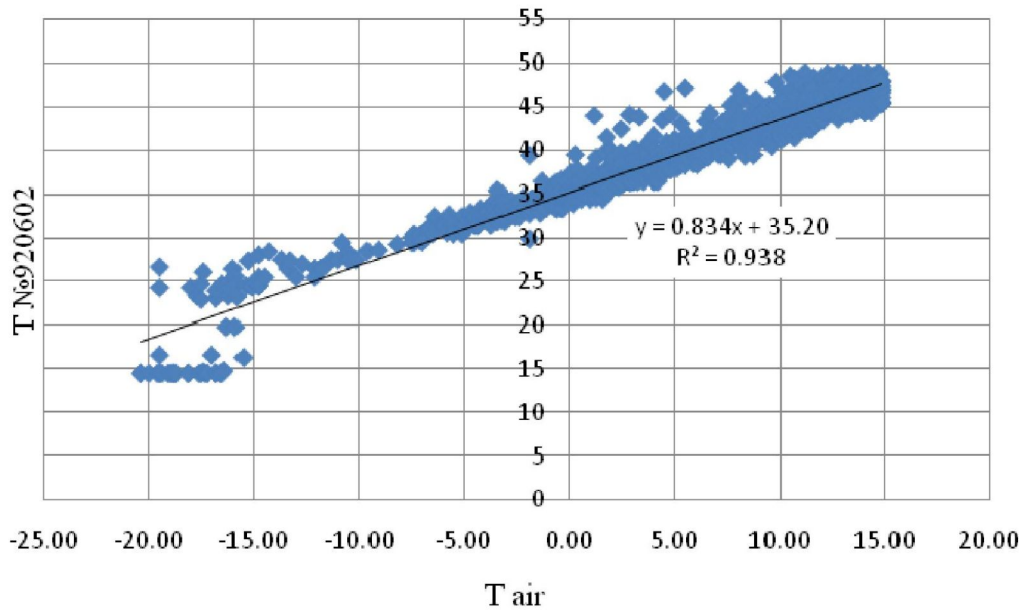


Рисунок 23 — Зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха.

Для того, чтобы проверить получаемые результаты, было рассчитано отношение измерений регистрирующего прибора к модельным оценкам эритемной УФР в ясных условиях (рисунок 24). Получено, что за счет изменения температуры прибора его чувствительность изменяется на 1.6%/С, что близко к характеристике, приведенной в документации прибора.

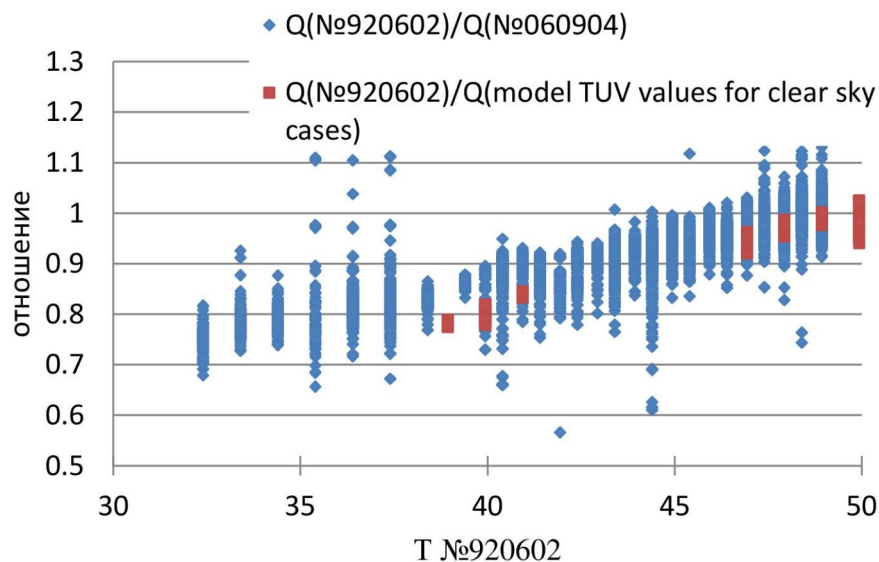


Рисунок 24 — Отношение между измерениями контрольного и регистрирующего прибора и отношение регистрирующего прибора к модельным расчетам при ясном небе в зависимости от температуры регистрирующего прибора.

Было проведено сравнение измерений регистрирующего прибора к модельным расчетом с учетом (по выражению 14) и без учета температурной коррекции в ясных условиях. Результаты, показывающие положительную роль введения температурной поправки, представлены на рисунке 25.

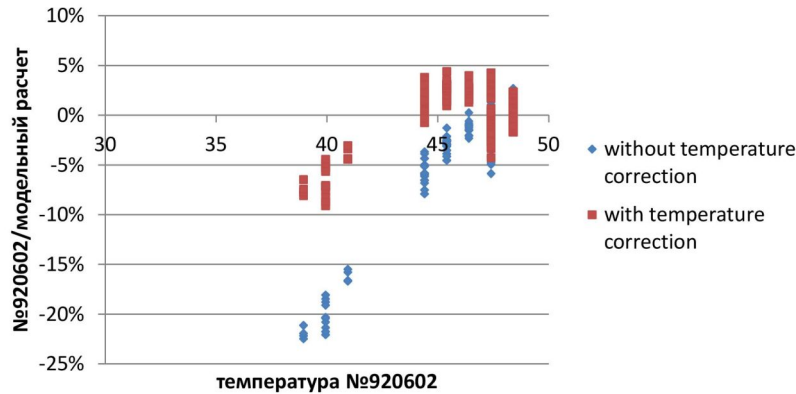


Рисунок 25 — Отношение измерений регистрирующего прибора к модельным расчетам с учетом и без учета температурной коррекции в ясных условиях.

В конечном итоге была проведена коррекция всего архива наблюдений версии 2 и создан новый архив суммарной эритемной УФР версии 3 - Q_{ery} (v3), скорректированный на температуру прибора.

На рисунке 26 показаны месячные суммы эритемной УФР средние за период 1999-2012 гг. в соответствии с архивом версии 2 и новым архивом версии 3. Разница между месячными суммами эритемной УФ-радиации старого и нового архивов изменяется от 0-1% летом до 20-30% зимой.

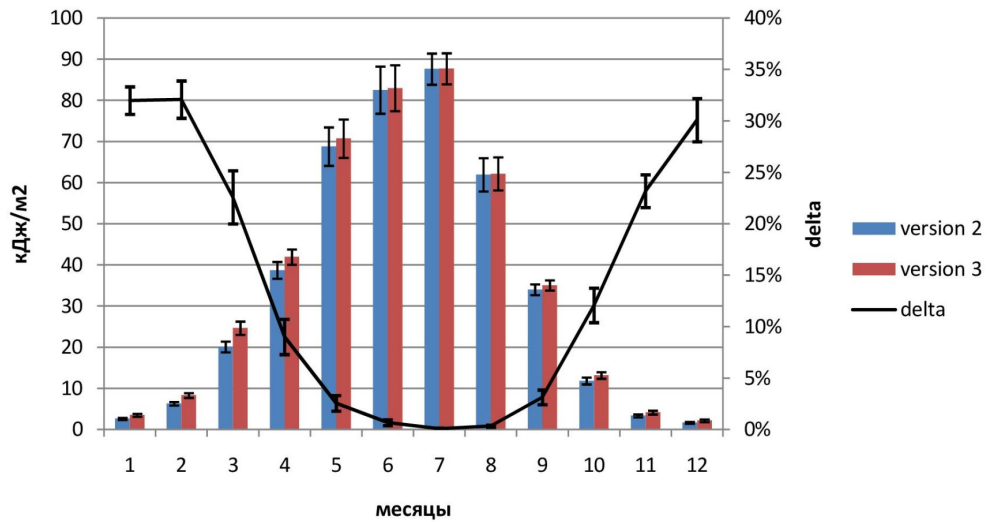


Рисунок 26 – Среднемесячные суммы эритемной УФР в соответствии с архивом версии 2 и версии 3 с 95% доверительными интервалами (левая ось). Delta – относительная разница между данными архива версии 3 и версии 2 (правая ось) 1999-2012 гг.

В дополнение в исследовании использовались данные других измерений, проводимых в МО МГУ: аэрозольные измерения фотометра CIMEL, а также ряд наблюдений стандартных метеорологических параметров: балл общей и нижней облачности, степень покрытия площадки снежным покровом, температура воздуха.

2.4 Выводы к главе 2

Основным инструментом, с помощью которого получены основные результаты работы, является одномерная модель радиационного переноса TUV (Tropospheric and ultraviolet model) [29, 106].

Для оценки пространственно-временного распределения основных геофизических параметров (общее содержание озона, аэрозольная оптическая толщина, альbedo поверхности), влияющих на поступление БАУФР к поверхности Земли, были созданы базы данных с пространственным разрешением 1 градус и временным разрешением 1 месяц.

Для валидации проводимых расчетов использованы уточненные данные многолетних непрерывных измерений УФР, проводимых в Метеорологической Обсерватории МГУ.

3 Оценка влияния основных геофизических факторов на два вида БАУФР на основании модельных расчетов

Во введении были рассмотрены факторы, которые определяют поступление БАУФР к поверхности Земли. Задачей этой главы является провести сравнительный анализ чувствительностей двух видов БАУФР - эритемная УФР и УФР, способствующая образованию витамина D, к основным геофизическим факторам: высота Солнца, общее содержание озона, аэрозольная и облачная оптические толщины, альbedo поверхности. Материалы этой главы представлены в статье Жданова Е., Чубарова Н. Оценка воздействия различных атмосферных параметров на биологически активную УФ-радиацию по данным расчетов и измерений // Оптика атмосферы и океана. — 2011. — Т. 24, № 9. — С. 775–781.

3.1 Чувствительность двух видов БАУФР к основным геофизическим параметрам

Поскольку различные виды БАУФР имеют разные кривые спектральной чувствительности, следует ожидать, что и чувствительность различных видов БАУФР к изменениям основных факторов, в первую очередь, высоты Солнца и ОСО, будет неодинаковой. Рассмотрим в качестве примера, как изменяется спектральное распределение эритемной (Q_{ery}) радиации и радиации, способствующей образованию витамина D, (Q_{vitD}) при двух высотах Солнца 20° и 50° (рисунок 27). Видно, что оба рассматриваемых вида БАУФР имеют большую эффективность в УФ-В области спектра. Однако в то же время видно, что максимум спектрального распределения Q_{ery} сдвинут в более длинноволновую область по сравнению с Q_{vitD} , особенно при низких высотах Солнца. Эти спектральные изменения могут вызывать существенные различия в чувствительности Q_{ery} и Q_{vitD} к изменениям высоты Солнца.

Оценку влияния факторов на БАУФР будем производить, используя понятие радиационный фактор усиления (Radiation Amplification Factor - RAF).

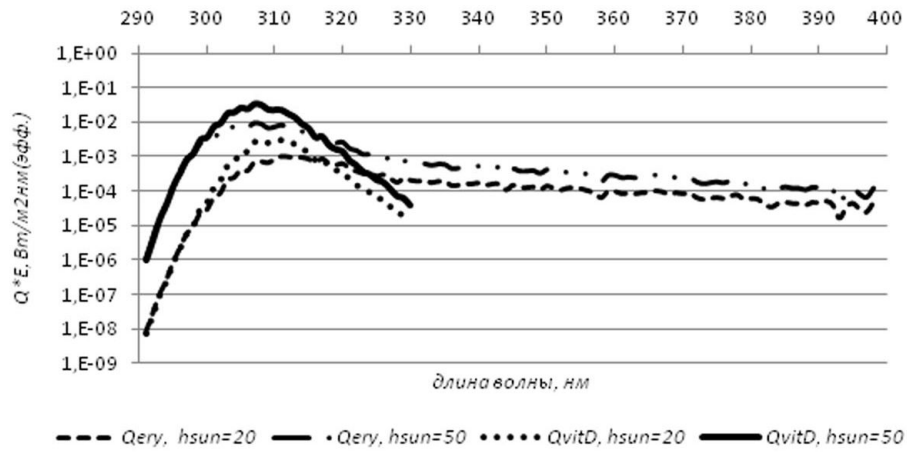


Рисунок 27 — Спектральное распределение Q_{ery} и Q_{vitD} при ясном небе. Общее содержание озона 350 ед. Добсона, АОТ380=0,1, высота Солнца (h_{sun}) 20° и 50°

Зависимость можно записать в виде:

$$Q \sim P^{-RAF_p}, \quad (16)$$

где P - рассматриваемый атмосферный параметр (общее содержание озона, аэрозольная, облачная оптические толщины, альbedo поверхности).

Возможность применения идеологии RAF не только для характеристики влияния изменений озона на изменение УФР, но и для оценки влияния других параметров показана в [62].

Для объяснения полученных спектральных различий во влиянии факторов между эритемной УФР и УФР, способствующей образованию витамина D, были рассчитаны эффективные длины волн:

$$\lambda_{eff} = \frac{\int_{280}^{400} \lambda Q_\lambda d\lambda}{\int_{280}^{400} Q_\lambda d\lambda}, \quad (17)$$

где λ - длина волны, нм, Q_λ - спектральная плотность потока

Рассмотрим численные характеристики чувствительности различных видов БАУФР к наиболее важным характеристикам атмосферы. Значения RAF_p для наиболее значимых параметров атмосферы приведены в табл.7, где также показаны эффективные длины волны и условия расчетов.

Таблица 7 — Значения радиационных факторов усиления RAF_p эритемной радиации и радиации, способствующей образованию витамина D3, для наиболее значимых параметров: высоты Солнца (RAF_h), общего содержания озона (RAF_X), аэрозольной оптической толщины (RAF_{AOT}), оптической толщины облаков (RAF_τ), альbedo поверхности (RAF_A).

| RAF_p , (диапазон)* | Параметры расчета** | R2 | Q_{ery} (Эффективные длины волн***) | Q_{vitD} (Эффективные длины волн***) |
|----------------------------|---|-----------|---|--|
| RAF_h , (10-60°) | X=250, AOT=0-1, τ =0-70, A=0.1-0.9 | 0.99 | 2...2.1 (329-313 нм) | 2.4...2.5 (311-307 нм) |
| | X=450, AOT=0-1, τ =0-70, A=0.1-0.9 | 0.99 | 1.9 (339-320нм) | 2.6...2.7 (314-309 нм) |
| RAF_X , (250-450 DU) | h=10°, AOT=0-1, τ =0-70, A=0.1-0.9 | 0.99 | -0.8 (329-339 нм) | -2.2...-2.3 (311-314 нм) |
| | h=60°, AOT380=0-1, τ =0-70, A=0.1-0.9 | 0.99 | -1.2 (313-320нм) | -1.4...-1.6 (307-309 нм) |
| RAF_{AOT} , (0.1 - 1) | h=10-60°, X=250-450, τ =0-70, A=0.1-0.9 | 0.88-0.91 | -0.05...-0.3 (325-325 нм) | -0.05...-0.3 (310-310 нм) |
| RAF_A , (0.1-0.5) | h=10-60°, AOT=0-1, X=250-450, τ =0-70 | 0.91-0.94 | 0.1...0.2 (325-324нм) | 0.1...0.2 (310-310нм) |
| RAF_τ , (10 -70) | h=10-60°, AOT=0-1, X=250-450, A=0.1-0.9 | 0.96-0.99 | -0.3...-0.7 (325-324нм) | -0.3...-0.7 (310-310нм) |

Примечание * - Отметим, что не для всех параметров применима степенная зависимость, позволяющая применять данный подход, поэтому для основных параметров иногда рассматриваются более узкие диапазоны, где коэффициент детерминации высоки. **- X-общее содержание озона, матм.см, AOT-аэрозольная оптическая толщина, τ – облачная оптическая толщина, h- высота

Солнца, A - альbedo поверхности. *** - Эффективные длины волны рассчитывались для минимальных и максимальных значений исследуемого параметра (значения приведены в скобках), приведенного в столбце 1.

Использование величин RAF_h позволило нам оценить спектральные особенности изменения Q_{ery} и Q_{vitD} за счет высоты Солнца. Из табл.7 следует, что эта чувствительность заметно больше для Q_{vitD} , чем для Q_{ery} . Это можно объяснить тем, что эффективная длина волны Q_{vitD} лежит в более коротковолновой области спектра с большими оптическими толщинами. В то же время наблюдается существенный рост эффективных длин волн Q_{ery} с уменьшением высоты Солнца, и это также снижает чувствительность Q_{ery} к высоте Солнца по сравнению с Q_{vitD} . В табл.7 приведены значения RAF_h по данным модельных расчетов для нескольких значений общего содержания озона. При увеличении общего содержания озона чувствительность к изменению высоты Солнца несколько уменьшается для Q_{ery} за счет сдвига λ_{eff} в область слабого поглощения озоном (рисунок 28). В то же время RAF_h несколько увеличивается для Q_{vitD} за счет общего роста суммарной оптической толщины в более коротковолновом диапазоне спектра.

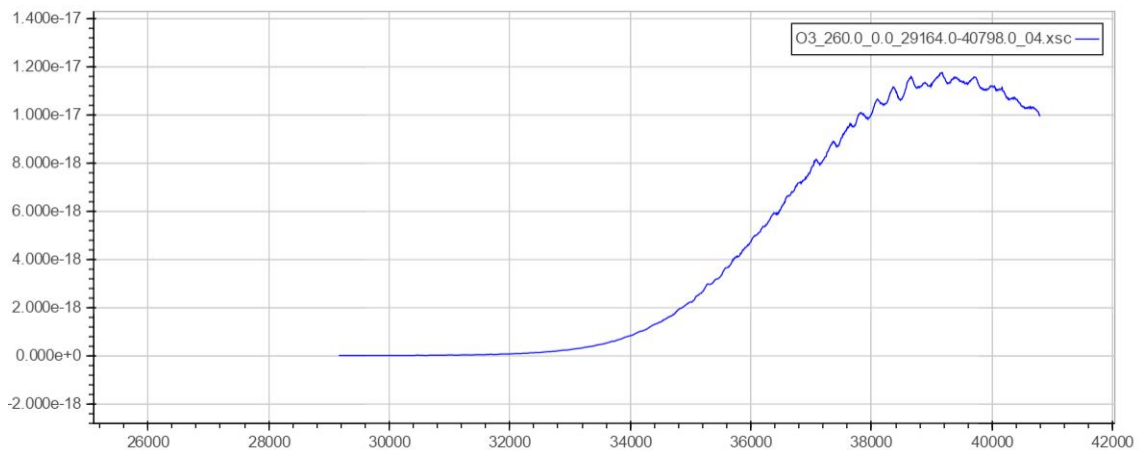


Рисунок 28 — Сечение поглощения озона (см^2) по оси ординат, волновое число по оси абсцисс ($1/\text{см}$) при температуре 260К. Источник <http://hitran.org/>

Изменение аэрозольной оптической толщины (от $AOT_{380}=0$ до $AOT_{380}=1$) и оптической толщины облаков практически не оказывает влияние на изменение RAF_h для двух видов БАУФР.

Рассмотрим, какова чувствительность БАУФР к общему содержанию озона (табл.7). Вследствие того, что для Q_{vitD} эффективные длины волны нахо-

дятся в более коротковолновой части спектра, сами величины RAF_X для Q_{vitD} заметно выше, чем для Q_{ery} . В то же время из таблицы видно, что величина RAF_X для эритемной радиации увеличивается с ростом высоты Солнца. Это связано с тем, что при увеличении высоты Солнца, эффективная длина волны смещается в более коротковолновую часть спектра, где поглощение УФР озоном больше. При низких высотах Солнца (до 10°) эффективные длины волн Q_{ery} лежат во внеозонной области спектра, за счет чего наблюдается заметное уменьшение чувствительности Q_{ery} к озону.

В то же время при уменьшении высоты Солнца характер изменения RAF_X для Q_{vitD} иной, чем RAF_X для Q_{ery} (рисунок 29). Эффективная длина волны Q_{vitD} меняется незначительно, и главную роль в изменении чувствительности к общему содержанию озона играет увеличение суммарной оптической толщины. В этой ситуации при большом общем содержании озона наблюдается более интенсивное поглощение УФР, поэтому при уменьшении высоты Солнца до определенного значения происходит рост чувствительности Q_{vitD} к озону. В то же время, при малых высотах Солнца, менее 10° (Umkehr-эффект), для Q_{vitD} будет наблюдаться обратная картина: уменьшение чувствительности Q_{vitD} к озону. Umkehr-эффект связан с тем, что при малых высотах Солнца путь прямой радиации становится очень большим и, следовательно, поглощение коротких длин волн становится настолько большим, что большинство фотонов, которые регистрируются у поверхности Земли, это те фотоны, которые рассеялись в средней атмосфере и достигли Земли, проходя через относительно короткий вертикальный путь в озоновом слое [64].

При низких высотах Солнца Q_{vitD} будет определяться вкладом рассеянного излучения. При этом с уменьшением высоты Солнца эффективная высота ослабления излучения уже может находиться над слоем озонового максимума. Следовательно, будет регистрироваться уменьшение чувствительности к озону у поверхности Земли. Прямая радиация при этом практически полностью поглощается озоном, но ее роль незначительна, поскольку ее доля в суммарной радиации незначительна (менее 0.001% при высоте Солнца 5°).

Дополнительно был рассчитан RAF_X при высоком альбедо поверхности 90% и сплошной облачности с оптической толщиной 70. Было получено, что увеличение альбедо поверхности и оптической толщины облачности практически не влияет на RAF_X для Q_{ery} . RAF_X для Q_{vitD} при увеличении опти-

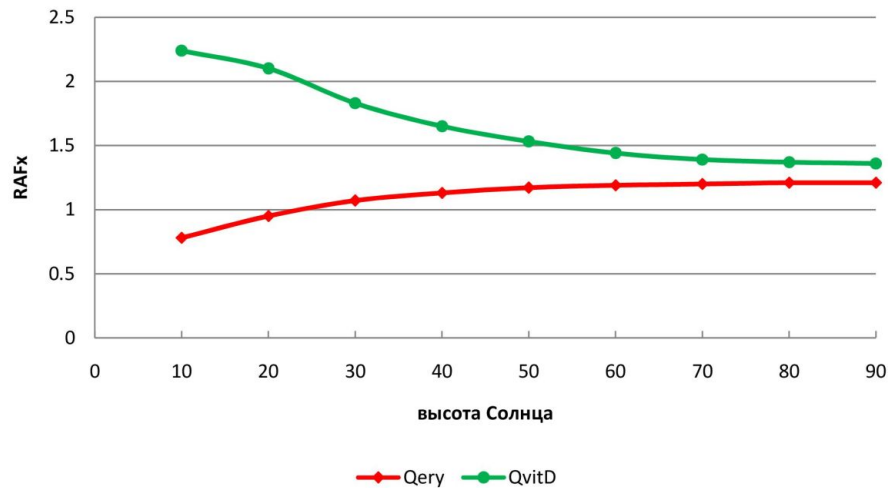


Рисунок 29 — RAF за счет общего содержания озона для Q_{ery} и Q_{vitD} в зависимости от высоты Солнца

ческой толщины облачности и альbedo поверхности увеличивается по абсолютной величине от -1.4 при ясном небе и альbedo поверхности 10% до -1.6 при облачной оптической толщине 70 и альbedo поверхности 90% (см. табл.7). Большее изменение RAF_x для Q_{vitD} при увеличении оптической толщины облачности и альbedo поверхности по сравнению с RAF_x для Q_{ery} объясняется меньшей эффективной длиной волны. При увеличении оптической толщины облачности и альbedo поверхности в результате процессов многократного рассеяния и переотражения в более коротковолновой области (Q_{vitD}) большую роль играет более эффективное поглощение озоном.

Ослабление БАУФР, приходящей к земной поверхности, за счет аэрозолей зависит, главным образом, от аэрозольной оптической толщины (АОТ) и альbedo однократного рассеяния (SSA) и в незначительной степени определяется фактором асимметрии индикатрисы рассеяния [58].

Модельные значения $RAF_{АОТ}$ гораздо меньше значений RAF_x и RAF_h , так как хуже описываются степенным законом, и несколько варьируют при различных значениях SSA. При уменьшении альbedo однократного рассеяния (от 1 до 0.87) несколько увеличивается по абсолютной величине RAF от -0.1 до -0.3 (при высоте Солнца 60°, ОСО 350 ед.Добсона, изменении АОТ380 от 0.5 до 1). В то же время значения RAF одинаковы для двух видов БАУФР, а следовательно не проявляются спектральные различия чувствительности БАУФР к этому фактору.

В УФ-диапазоне спектра альbedo поверхности (A) обычно низкое от 1 до

8%, но резко возрастает при наличии снежного покрова. Типичное значение локального альbedo чистого снега – 72-82%, [85], однако региональное альbedo поверхности в городских условиях зимой, гораздо меньше и составляет около 40%. В условиях арктических и антарктических пустынь альbedo поверхности может достигать 95% [49]. Как видно из табл.7, величины RAF_A не превышает 0.2, а спектральные различия за счет влияния альbedo поверхности на Q_{ery} и Q_{vitD} отсутствуют.

Радиационный фактор усиления за счет оптической толщины облаков (RAF_τ) довольно существенен и может достигать -0.7 при низких значениях альbedo поверхности. Его абсолютная величина уменьшается до -0.3 при альbedo поверхности 90% за счет эффектов переотражения с ростом оптической толщины. В то же время спектральных различий в чувствительности разных типов БАУФР не обнаружено.

Таким образом, наибольшая разница в чувствительности разных типов БАУФР выявлена для высоты Солнца и общего содержания озона. Отметим, что значения RAF_τ для разных факторов между собой несравнимы, поскольку диапазоны изменчивости параметров заметно отличаются и используются для выявления спектральных особенностей разных видов БАУФР между собой.

3.2 Относительная изменчивость двух видов БАУФР за счет изменений основных геофизических параметров

Рассмотрим насколько существенно изменяется БАУФР различных видов в реальном диапазоне изменчивости значений атмосферных параметров.

Очевидно, что наиболее существенны вариации Q_{ery} и Q_{vitD} за счет изменения высоты Солнца. При этом поступлении радиации к поверхности Земли может изменяться на порядки.

Рассмотрим более детально другие параметры атмосферы. На рисунке 30 показан относительный рост Q_{ery} и Q_{vitD} при убывании общего содержания озона в диапазоне значений, характерном для сезонного хода ОСО в умеренных широтах. Хорошо видно, что за счет уменьшения общего содержания озона рост Q_{vitD} превышает 200%, а рост Q_{ery} - 100%. Как видно из рисунка 30, относительные изменения Q_{ery} в зависимости от относительных изменений общего содержания озона по данным измерений в Метеорологической

Обсерватории хорошо согласуются с результатами модельных расчетов. Соответственные значения RAF_X для Q_{ery} составляют около 1.2. Полученные нами оценки RAF_X согласуются и с оценками, приведенными в [51].

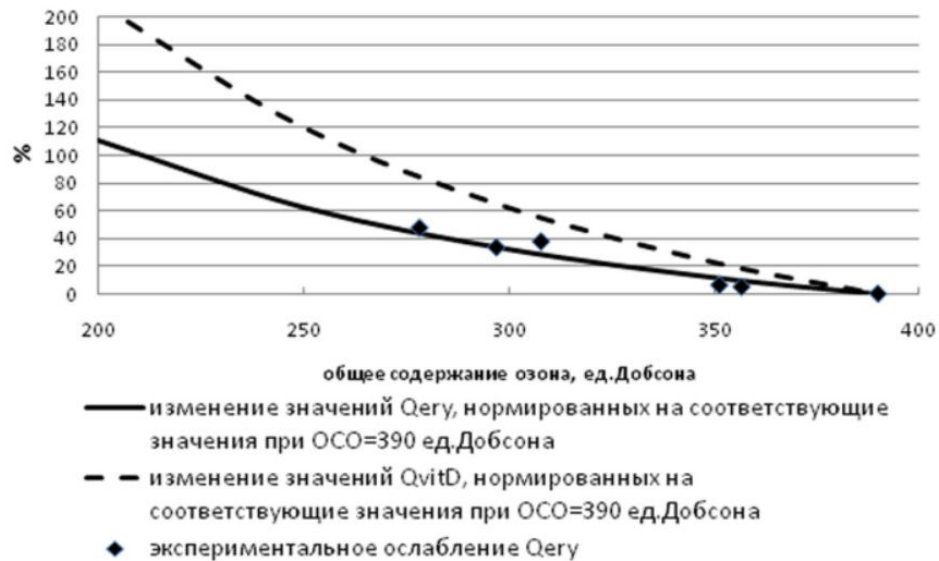


Рисунок 30 — Относительные изменения БАУФР за счет общего содержания озона

На рисунке 31 приведено относительное ослабление БАУФР за счет аэрозольной оптической толщины в диапазоне изменчивости значений, возможных для типичного аэрозоля в Москве, при двух вариантах альбеда однократного рассеяния, характерных для московских условий. Ослабление БАУФР закономерно увеличивается с ростом АОТ и с уменьшением SSA. Отметим, что максимальное ослабление составляет почти 40% при $SSA=0.86$ и $AOT_{380}=1$ для обоих видов БАУФР. За счет разницы в значениях SSA различия в БАУФР могут достигать 17% при $AOT_{380}=1$. Однако, следует отметить, что мы не учитываем возможное существование спектрального хода альбеда однократного рассеяния в УФ-диапазоне спектра. В то же время согласованные модельные и экспериментальные изменения Q_{ery} при различных SSA свидетельствуют о возможности в первом приближении использовать его постоянное значение.

Альбеда поверхности может играть существенную роль при наличии, главным образом, снежного покрова. В табл.8 приведены значения эффектов альбеда поверхности за счет переотражения для облачных и безоблачных условий. При ясном небе и небольшом аэрозольном содержании атмосферы ($AOT_{380}=0.1$) максимальный рост БАУФР относительно условий с альбеда поверхности $A=0$ меняется от 17-18% зимой в условиях городской застройки

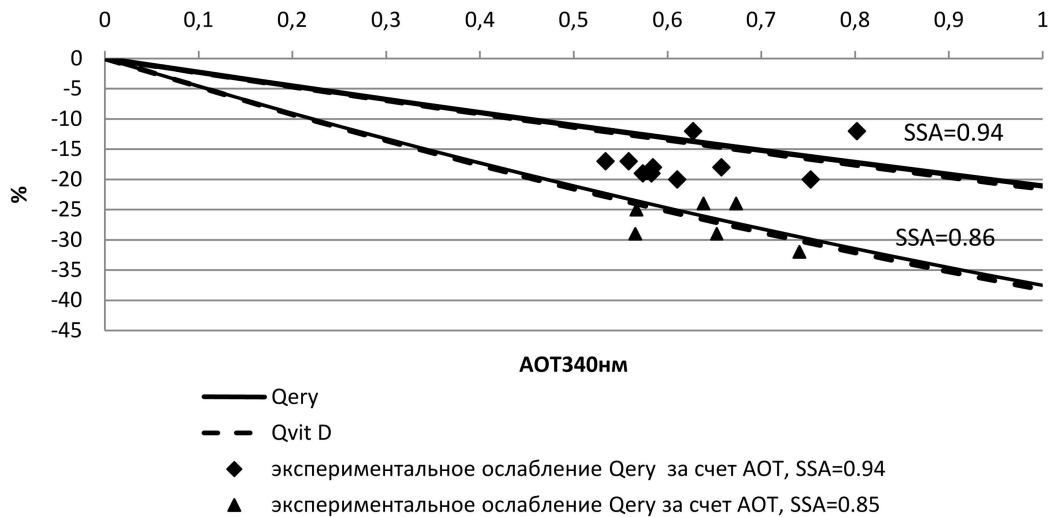


Рисунок 31 — Относительное ослабление БАУФР как функция АОТ на 340нм для SSA=0.94 и 0.86 по модельным и экспериментальным данным, полученным в МО МГУ. Высота Солнца 60 и ОСО 350 ед.Добсона.

при $A=0.4$ до 54-55% в условиях арктических пустынь (табл.8). В условиях облачности, как видно из таблицы, за счет эффектов многократного отражения рост БАУФР может достигать сотен процентов, при этом начинают проявляться слабые спектральные различия, выраженные в некотором уменьшении роста для Q_{vitD} за счет большего влияния поглощения озоном для этого диапазона спектра и «гибели» фотонов в более поглощающей среде.

В табл.8 приведены также оценки относительных изменений БАУФР при различных оптических толщинах облаков и разном альбедо поверхности. В условиях сплошного покрова облаков с $\tau = 70$, характерных для мощной облачности нижнего яруса, и при отсутствии эффектов переотражения от поверхности ($A=0$) ослабление БАУФР может достигать 84-85%. В то же время высокие значения альбедо поверхности ($A=95\%$) способствуют росту радиации на 5-9% даже в условиях относительно плотной облачности с $\tau = 30$ по сравнению с ясным небом и $A=0$. Наличие аэрозолей несколько снижает поступление БАУФР к поверхности Земли при сплошном облачном покрове. Усиление ослабления при возрастании τ связано с дополнительным аэрозольным поглощением в плотном облачном слое.

Таблица 8 — Относительные изменения БАУФР за счет облачности при различных значениях альбедо поверхности и вклад переотраженной радиации при различных условиях облачности. Высота Солнца 40° и ОСО 350 ед.Добсона, АОТ380=0.15

| τ | A | $\frac{Q_{ery}(\tau,A)}{Q_{ery}(\tau,A=0)-1}$ | $\frac{Q_{vitD}(\tau,A)}{Q_{vitD}(\tau,A=0)-1}$ | $\frac{Q_{ery}(\tau,A)}{Q_{ery}(\tau=0,A=0)-1}$ | $\frac{Q_{vitD}(\tau,A)}{Q_{vitD}(\tau=0,A=0)-1}$ |
|--------|------|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 10 | 0 | 0% | 0% | -43% | -43% |
| 30 | 0 | 0% | 0% | -69% | -69% |
| 70 | 0 | 0% | 0% | -84% | -85% |
| 0 | 0.4 | 17% | 18% | 17% | 18% |
| 10 | 0.4 | 32% | 31% | -25% | -25% |
| 30 | 0.4 | 43% | 42% | -56% | -56% |
| 70 | 0.4 | 51% | 50% | -77% | -77% |
| 0 | 0.95 | 54% | 55% | 54% | 55% |
| 10 | 0.95 | 134% | 130% | 34% | 32% |
| 30 | 0.95 | 254% | 240% | 9% | 5% |
| 70 | 0.95 | 410% | 377% | -21% | -27% |

3.3 Выводы к главе 3

Проведено сравнение чувствительностей двух видов БАУФР (Q_{ery} и Q_{vitD}) к изменению основных геофизических факторов. Выявлено, что изменения высоты Солнца и общего содержания озона определяют наибольшие различия между изменениями Q_{ery} и Q_{vitD} . Радиационный фактор усиления за счет высоты Солнца для Q_{ery} изменяется от 1.9 до 2.1, для Q_{vitD} - от 2.4 до 2.7. Радиационный фактор усиления за счет общего содержания озона для Q_{ery} изменяется от -0.8 до -1.2, для Q_{vitD} - от -1.4 до -2.3. Показано, что Q_{vitD} и Q_{ery} также имеют разный характер чувствительности к общему содержанию озона в зависимости от высоты Солнца. Различный характер чувствительности Q_{vitD} и Q_{ery} к изменению общего содержания озона и высоты Солнца объясняется различиями в спектрах действия, изменениями эффективной длины волны и оптической толщины атмосферы.

Модельные оценки радиационного фактора усиления за счет аэрозольной оптической толщины показали незначительные различия для Q_{ery} и Q_{vitD} . Различия во влиянии протяженной облачности на указанные виды БАУФР также незначительные.

В действительном диапазоне изменчивости геофизических параметров, влияющих на УФР, большие относительные изменения БАУФР наблюдаются за счет общего содержания озона (для Q_{vitD} превышает 200%, для Q_{ery} - 100%). Ослабление БАУФР закономерно увеличивается с ростом АОТ и с уменьшением SSA. Наши расчеты показали, что ослабление БАУФР за счет аэрозолей может составить почти 40% при SSA=0.86 и АОТ380=1. Высокое альbedo чистой снежной поверхности (95%) увеличивает за счет многократного переотражения Q_{ery} и Q_{vitD} в безоблачных условиях на 54% и 57% , соответственно. В зимних городских условиях альbedo поверхности (40%) увеличивает Q_{ery} и Q_{vitD} на 17% и 18%, соответственно, в безоблачных условиях.

Ослабление БАУФР плотной облачностью в условиях отсутствия переотражения радиации от поверхности Земли может достигать 85%, однако, в условиях высокого альbedo поверхности и при облачности может наблюдаться относительный рост БАУФР.

4 Оценка особенностей пространственно-временного распределения основных геофизических факторов, влияющих на УФР, и биологически активной УФР на территории Северной Евразии

Для модельных расчетов БАУФР на территории Северной Евразии были созданы базы данных основных геофизических параметров, влияющих на УФР (общее содержание озона, аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм, альbedo поверхности), а для облачных условий оценено облачное пропускание УФР (см. Главу Материалы и методы исследования).

4.1 Общее содержание озона

Общее содержание озона - основная характеристика озонового слоя. Общее содержание озона (ОСО) характеризуется выраженным годовым ходом и географическим распределением, что свидетельствует о том, что оно контролируется фотохимическими и динамическими процессами в атмосфере [22]. На изменение общего содержания озона оказывает также влияние синоптические условия, на что указывал еще Добсон в 1929 году [21]. При антициклональной погоде развиваются нисходящие движения, и атмосферный озон переносится в нижние слои атмосферы, где его время жизни больше, вследствие этого наблюдается увеличение концентрации озона. Уменьшение общего содержания озона часто наблюдается в центральных частях циклонов и на теплом фронте в связи с развитием интенсивных восходящих движений воздуха. Рост общего содержания озона наблюдается за холодным фронтом циклона. На пространственное распределение ОСО также оказывает влияние орографические особенности местности.

Распределения сезонных изменений общего содержания озона на территории Северной Евразии представлены на рисунке 32. Согласно теории Добсона-Брюэра-Дютша в тропической стратосфере образуется фотохимический избыток озона, который переносится в нижнюю стратосферу высоких широт, где озон накапливается. Перенос озона в высокие широты происходит преимущественно зимой, когда в стратосфере преобладают западные ветры,

и ослабевает летом, когда происходит смена направления зонального переноса [8]. В результате осенью на территории Северной Евразии наблюдается минимум ОСО (в октябре), а весной (в марте) – его максимум.

С января по март наблюдается максимум ОСО в районе Дальнего Востока, обусловленный действием Алеутского минимума и адвекцией богатого озоном воздуха из полярных широт в высотной ложбине, формирующейся в данном районе. Над Атлантикой расположена область минимальных значений ОСО, формирующаяся под действием Азорского антициклона и высотного гребня. Ослабление Алеутского минимума в апреле-мае способствует постепенному приобретению полем ОСО субширотного характера. В мае область повышенных значений ОСО наблюдается на побережье Лаптевых и Восточно-Сибирского морей, что, возможно, связано с особенностями топографии. В июне повышенные значения ОСО отмечаются на Европейской территории России. Кроме того область повышенных значений ОСО отмечается в районе хребта Черского, что связано с особенностями рельефа. Например, в работе [161] показано, что ОСО для горных районов Тибета значительно ниже, чем для прилегающих равнинных территорий, что связано с восходящими движениями воздуха в горных районах, которые переносят воздух с низким содержанием озона из тропосферы в стратосферу.

В июле можно выделить три области несколько повышенного содержания ОСО в умеренных широтах: над Атлантикой и Тихим океаном, связанные с развитием Азорского и Гавайского антициклонов, и над югом Западно-Сибирской равнины.

Осенью и зимой особенности распределения ОСО на востоке Евразии начинает формировать развивающийся Алеутский циклон, способствующий росту озона в этом регионе. Над Европейской территорией России при этом господствует область пониженных значений ОСО (рисунок 32).

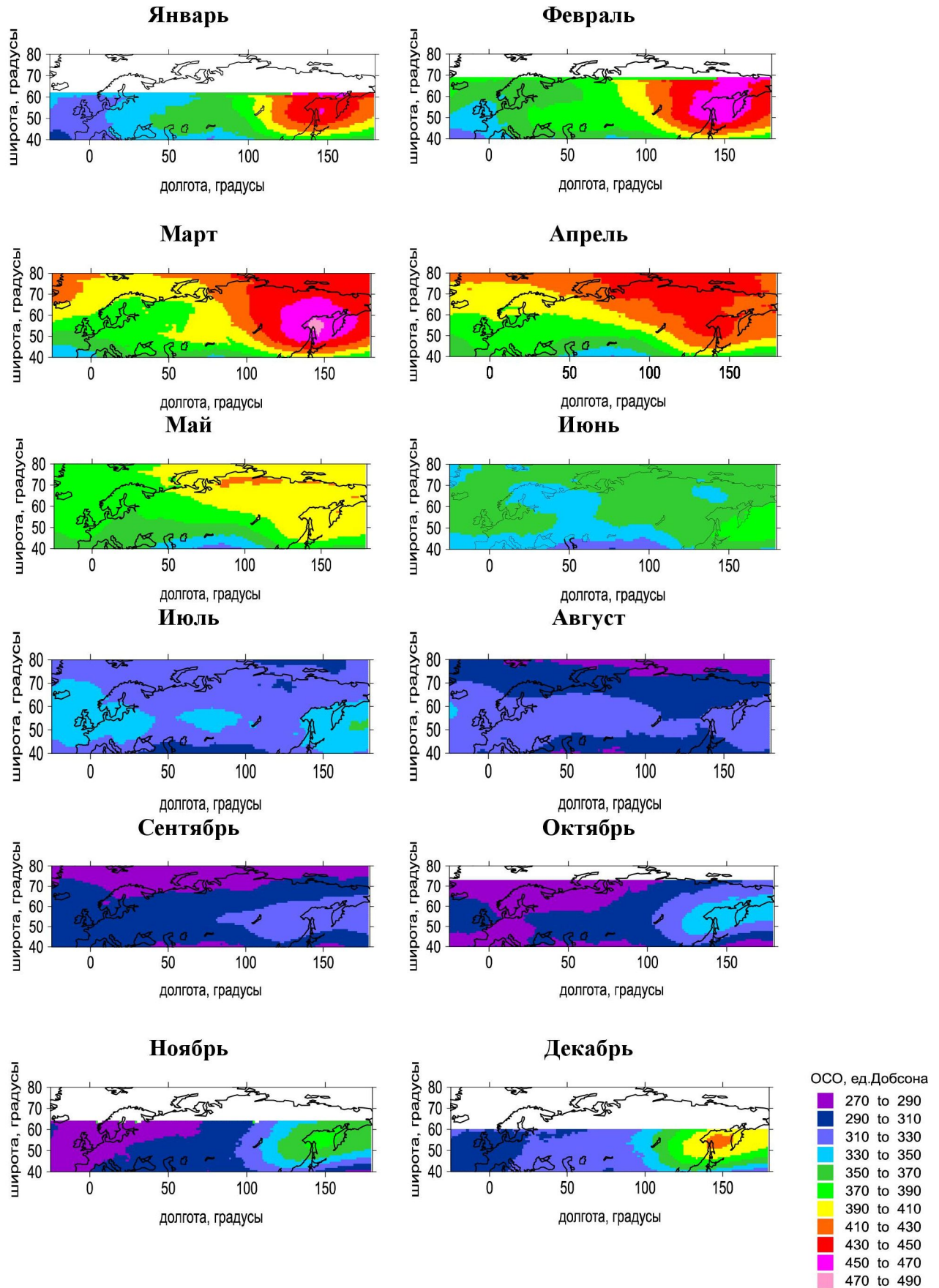


Рисунок 32 — Среднемесячные распределения общего содержания озона по данным TOMS (1979-2003гг.)

4.2 Аэрозоль

Наиболее важной характеристикой аэрозоля является аэрозольная оптическая толщина (АОТ). Распределение АОТ на длине волны 380 нм (АОТ380) на территории Северной Евразии было получено по данным спутниковых измерений сканирующего спектрорадиометра среднего разрешения MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), наземным измерениям сети AERONET и наземной актинометрической сети [30,31] (см. Главу Материалы и методы исследования).

В регионах со снежным покровом в связи с ошибками в определении АОТ с помощью спутниковых измерений, применялись данные наземных измерений, которые использовались в качестве пороговых значений. Вся рассматриваемая территория была разделена на несколько регионов с учетом особенностей атмосферной циркуляции:

1. «Север» - Территория с преобладанием арктических воздушных масс (65 с.ш до 80°с.ш. и с 20°в.д. до 180°в.д.)
2. «Европа» - Территория с преобладающим западным переносом, возможна адвекция арктического и тропического воздуха (от 40°с.ш до 65°с.ш. и от 25°з.д. до 60°в.д.)
3. «Северная Сибирь» - регион от Урала и до Камчатки (от 60°с.ш. до 65°с.ш. и от 60°в.д. до 180°в.д.), характеризуется преобладанием умеренной воздушной массы во все сезоны с частыми вторжениями арктического воздуха.
4. «Центральная Сибирь» - Регион Западной и Восточной Сибири, характеризуется преобладанием умеренной воздушной массы с вторжениями трансформированного арктического воздуха и воздушных масс из Центральной Азии (от 40° до 60°с.ш. и от 60° до 120°в.д.).
5. «Восточная Сибирь» - Регион Восточной Сибири и Дальнего Востока, для него характерно влияние океанической и муссонной циркуляции (от 40° до 60°с.ш. и от 120° до 180°в.д.).

Для каждого региона были получены медианные оценки АОТ550 по данным наземных измерений. Та же работа была проведена для параметра Ангстрема, который позволил перейти от АОТ550 к АОТ380.

Рассмотрим среднемесячные распределения АОТ380 (рисунок 33) совместно с распределениями скорости ветра в нижней тропосфере (рисунки 34,35, 36) и количества осадков (рисунки 37, 38, 39) (использованы данные

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>).

Аэрозольная оптическая толщина на рассматриваемой территории меняется почти на порядок: от нуля до единицы, имея сезонные особенности. Ослабление УФР за счет аэрозоля в среднем составляет 5-15% , однако оно может увеличиваться до 50-60% при адвекции дымового аэрозоля [56], а во время пожаров в Москве в 2010 году составило 90-97% [135].

В январе наименьшие значения АОТ380 отмечаются в высоких широтах. Наибольшими значениями АОТ380 характеризуются районы вблизи Каспийского моря, Казахского мелкосопочника, а также юг Дальнего Востока, что объясняется формированием минерального аэрозоля и адвекцией континентального аэрозоля. В зимние месяцы значения АОТ380 на территории России невелики, этому способствует выведение аэрозолей из атмосферы за счет выпадения снега. В феврале наблюдается увеличение площадей с повышенными значениями АОТ380, в частности над акваторией Японского моря, связанные с поступлением континентальных воздушных масс, с переносом воздушных масс с севера, с континента под влиянием Азиатского максимума и Алеутской депрессии. В марте также отмечается увеличение АОТ380 в районе Аральского моря и Казахского мелкосопочника, в связи с выносом песчаного аэрозоля потоками северного направления. Отметим, что в марте АОТ380 для Европейской части Евразии больше, чем для азиатской. В Западной Европе и Средней Азии значения АОТ380 превышают 0.5. В апреле увеличивается АОТ380 над акваторией Японского моря в связи с интенсивным выносом аэрозоля из континентальных районов Китая. В теплый период года картина распределения АОТ380 становится более пестрой. В мае по сравнению с апрелем наблюдается рост АОТ380 на азиатской территории. На Европейской территории России в мае и июне наблюдаются пониженные значения АОТ380, которые в годовом ходе расположены между двумя максимумами, первый из которых приходится на апрель и связан со сходом снежного покрова и поступлением в атмосферу почвенных частиц, второй - на июль-август, связан с развитием лесных пожаров и выносом континентального аэрозоля. Для Сибири характерно развитие лесных пожаров в первой половине теплого периода, поэтому наибольшие значения АОТ380 наблюдаются в мае-июле. Наибольшие значения АОТ380 (до 1.2) наблюдаются в теплый период в районе Казахского мелкосопочника, поскольку в этом районе преобладает песчаный аэрозоль. В июле также от-

мечается максимум АОТ380 в Восточной Сибири, связанный с максимумом лесных пожаров. В то же время из-за увеличения количества осадков уменьшение АОТ380 наблюдается на Дальнем Востоке. В августе на территории ЕТР наблюдается годовой максимум, связанный с накоплением антропогенного аэрозоля и адвекцией аэрозоля из Восточной Европы, а в Сибири, напротив, отмечается снижение АОТ380, объясняемое вымыванием дымового аэрозоля, который сформировался в период лесных пожаров. Осенью в связи с увеличением количества осадков отмечается общее уменьшение АОТ380.

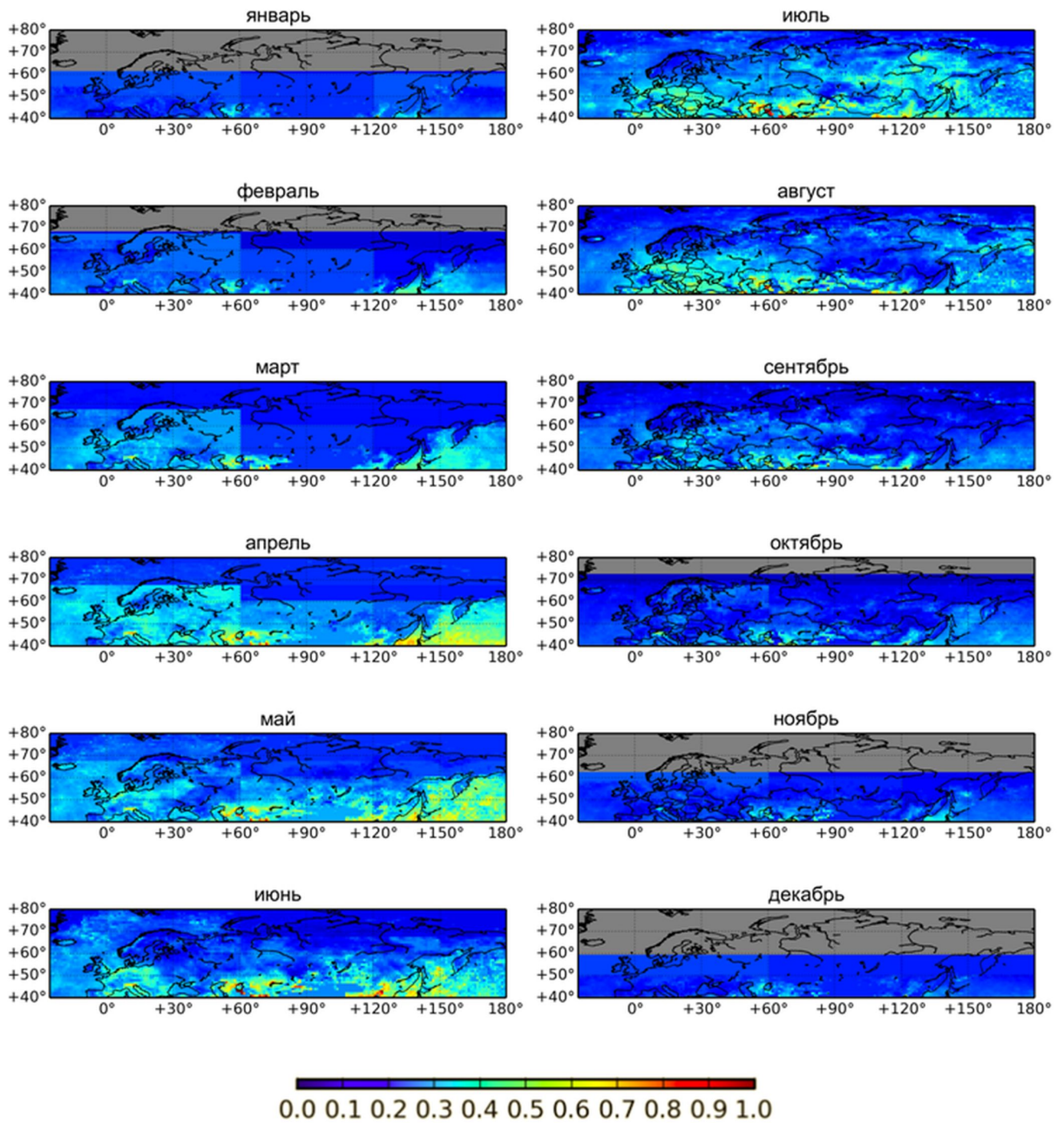


Рисунок 33 — Среднемесячные распределения аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм

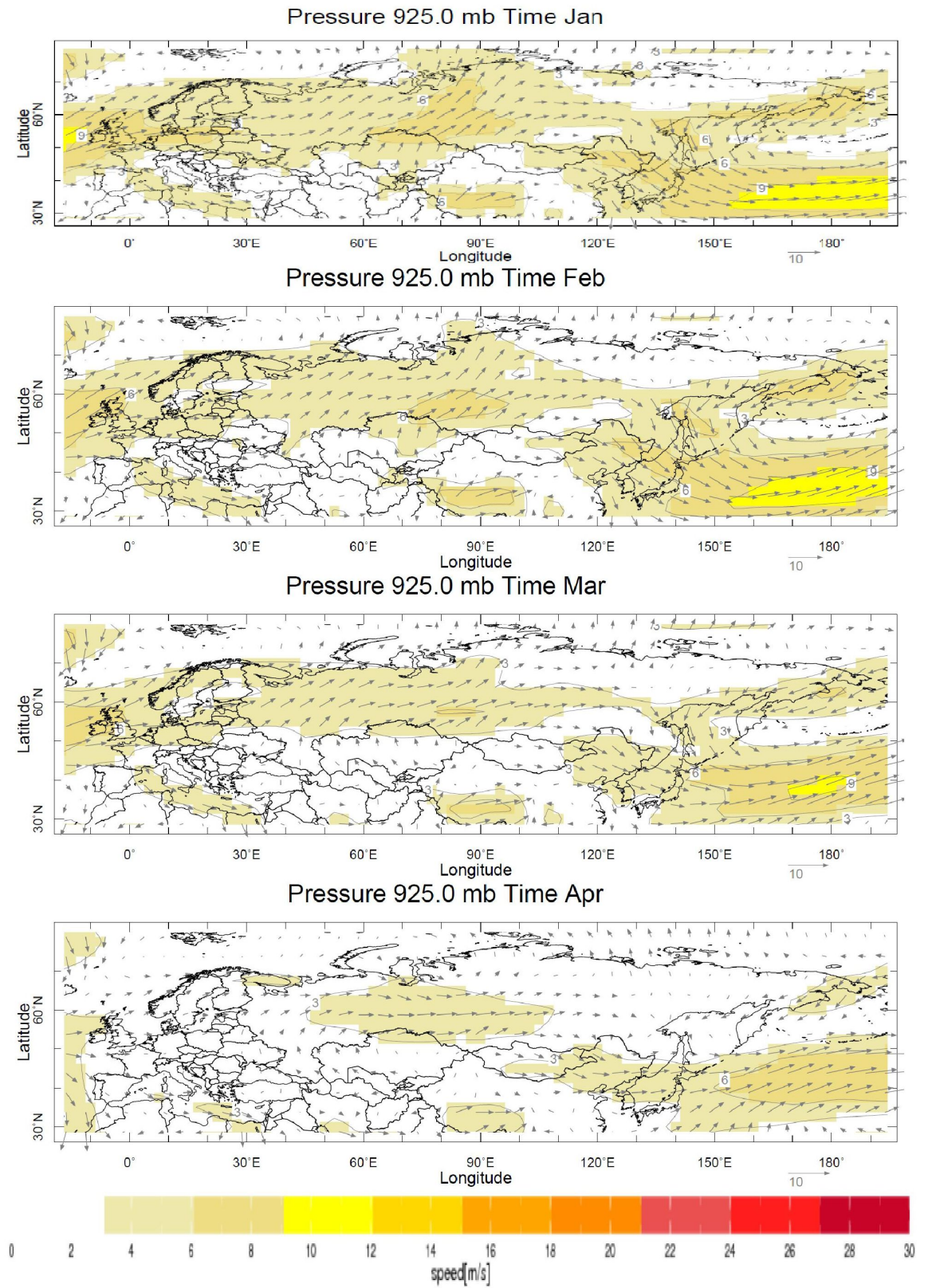


Рисунок 34 — Среднемесячные распределения скорости ветра, январь-апрель

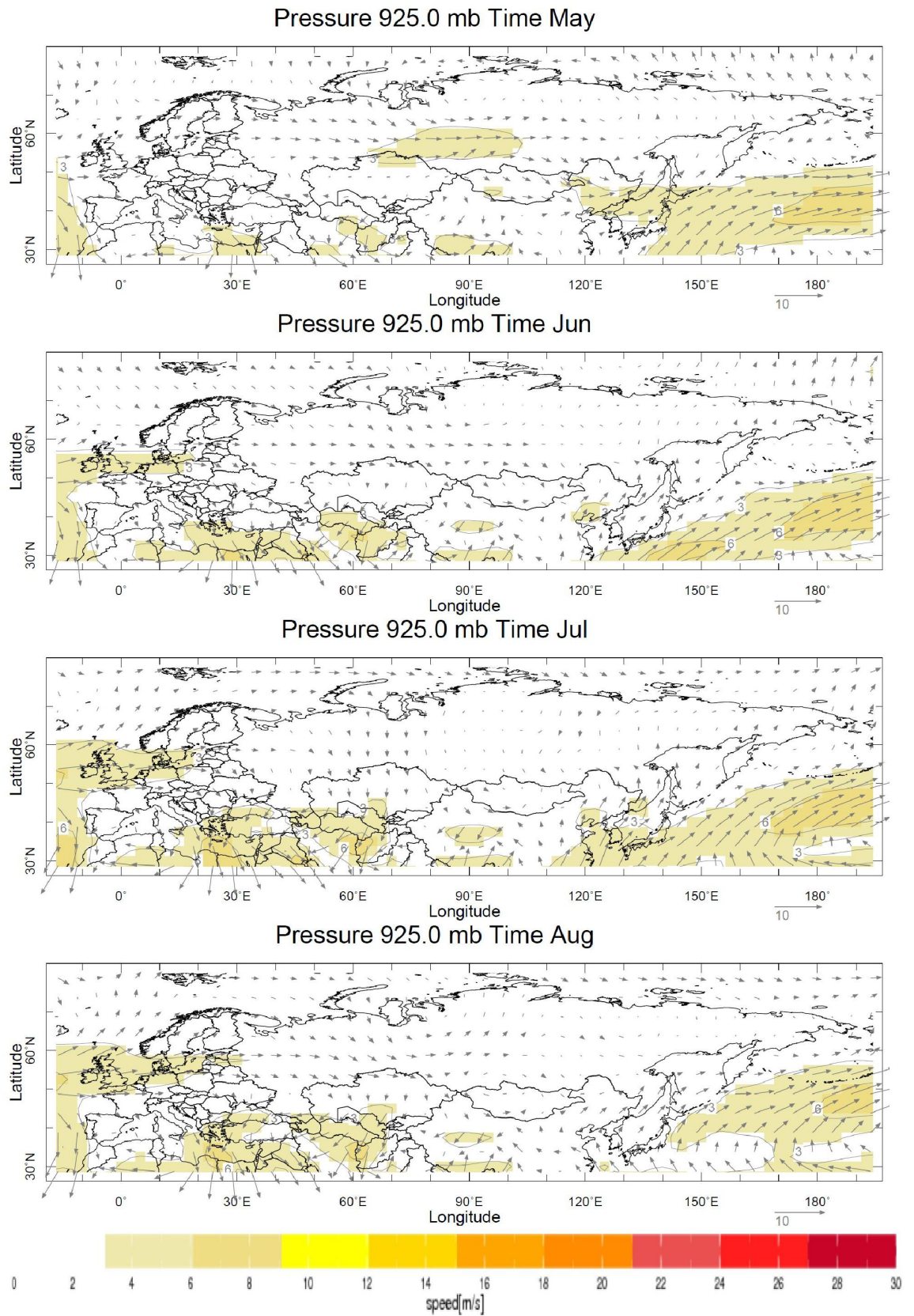


Рисунок 35 — Среднемесячные распределения скорости ветра, май-август

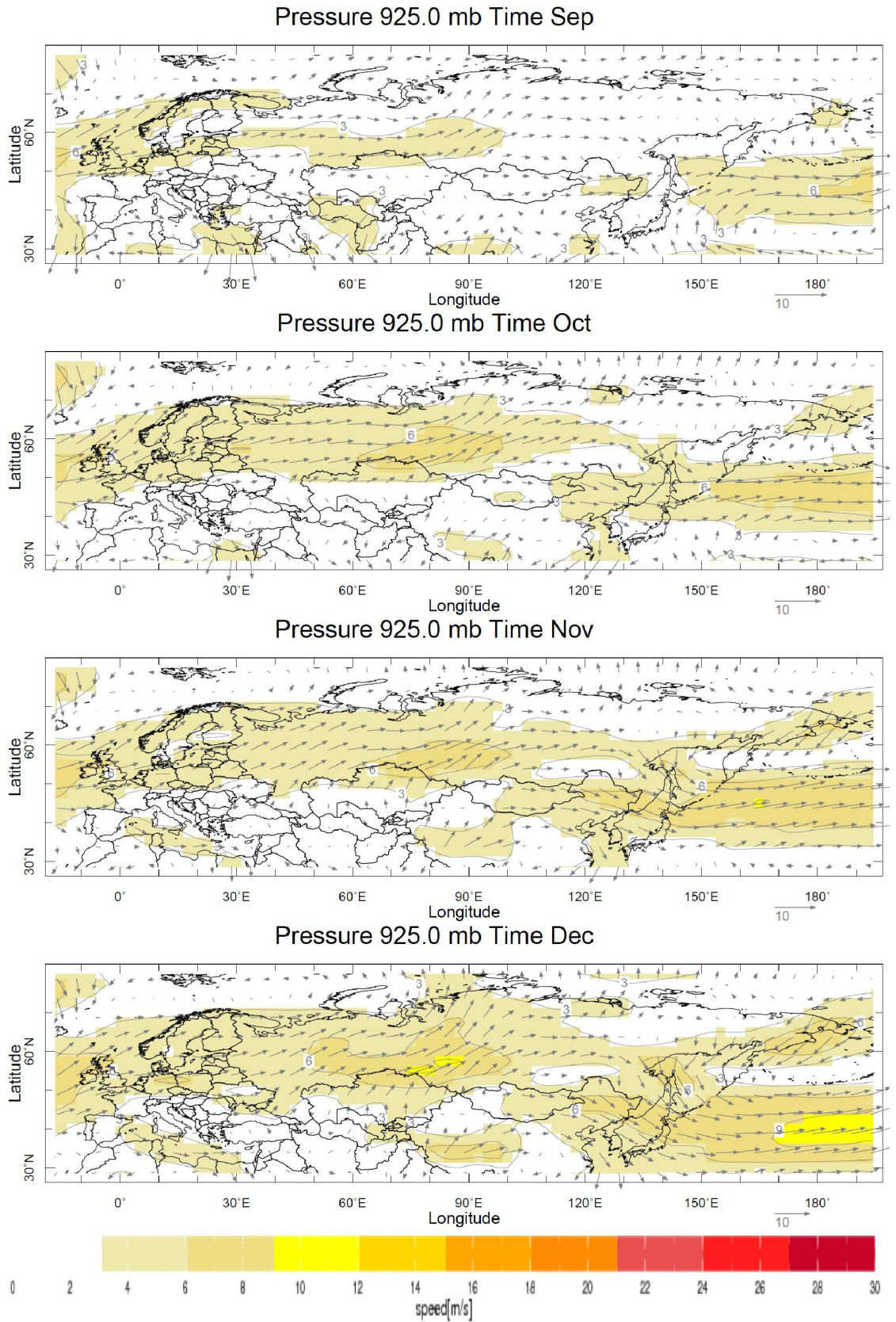


Рисунок 36 — Среднемесячные распределения скорости ветра, сентябрь-декабрь

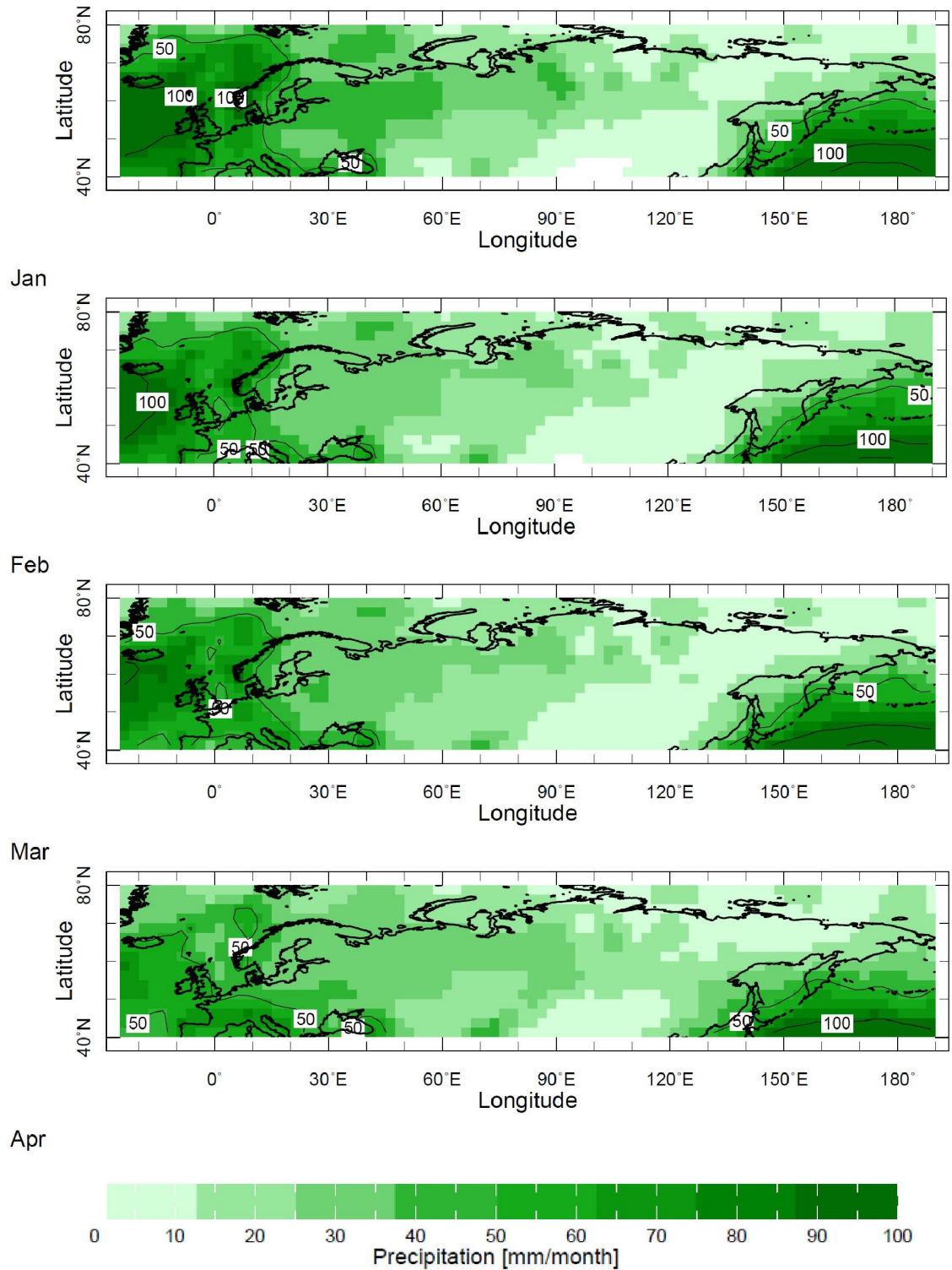


Рисунок 37 — Среднемесячные распределения количества осадков, январь-апрель

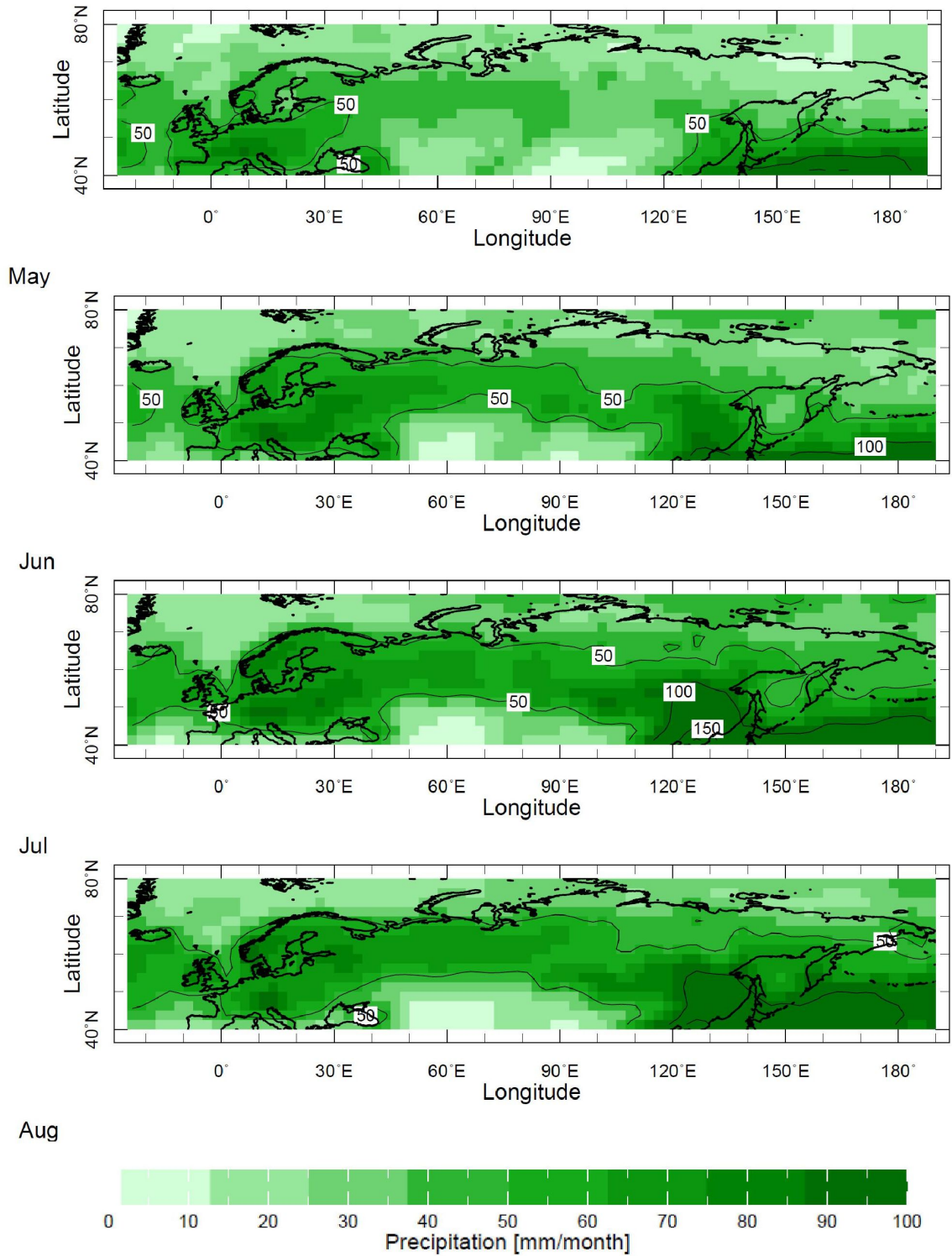


Рисунок 38 — Среднемесячные распределения количества осадков, май-август

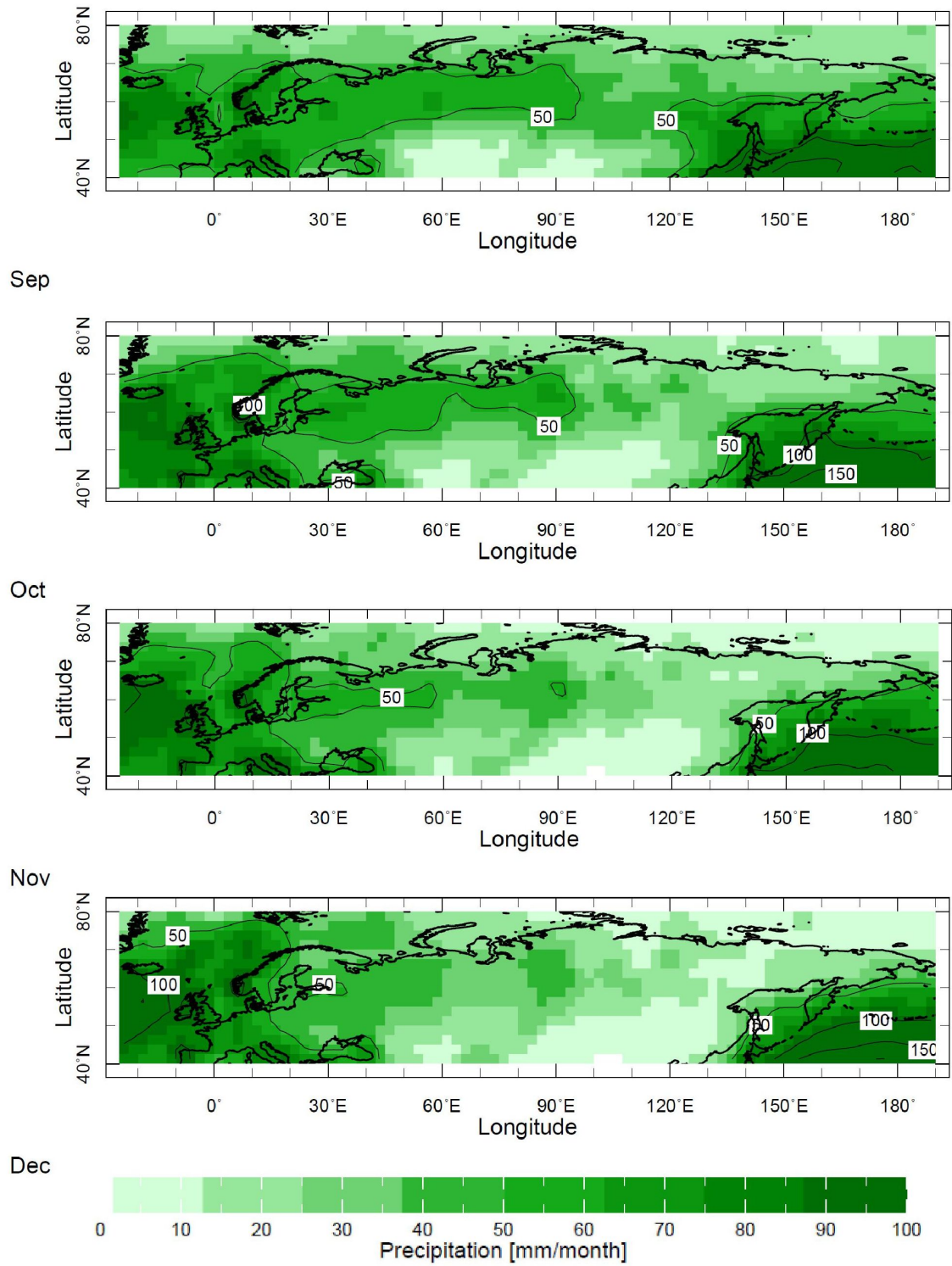


Рисунок 39 — Среднемесячные распределения количества осадков, сентябрь-декабрь

4.3 Альbedo поверхности

Альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра было получено по спутниковым данным TOMS по отражательной способности на длине волны 360 нм, используя технику перемещающегося временного окна (MTW) за временной период 1979-1992 гг. [140] (см. Главу Материалы и методы).

Пространственные вариации альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра отражают существующие закономерности в распределении снежного покрова и растительности. Известно, что альbedo травы и растительного покрова в УФ-диапазоне очень низкие (менее 3%), но в то же время альbedo чистого снега может достигать 95%. Таким образом, по изменению альbedo поверхности в УФ-диапазоне можно судить об изменении границ снежного покрова. Учет распределения альbedo поверхности крайне важен в условиях снежного покрова, поскольку даже в условиях ясного неба радиация в УФ-диапазоне спектра может увеличиваться на 50% за счет эффектов многократного переотражения от земной поверхности. В то же время лесные массивы и городская застройка способствуют занижению пространственного альbedo поверхности до 40% в зимний период [68]. Как видно из рисунка 40, максимальные значения альbedo поверхности в течение всего года наблюдаются в арктических районах в условиях чистого снежного покрова. Также повышенные значения альbedo поверхности отмечаются в предгорьях Южного Урала, где увеличению альbedo поверхности способствует накопление снега, связанное с условиями атмосферной циркуляции и рельефа местности. В теплый период года распределение альbedo поверхности на территории России в связи с отсутствием снежного покрова более однородное, чем зимой и в переходные сезоны года.

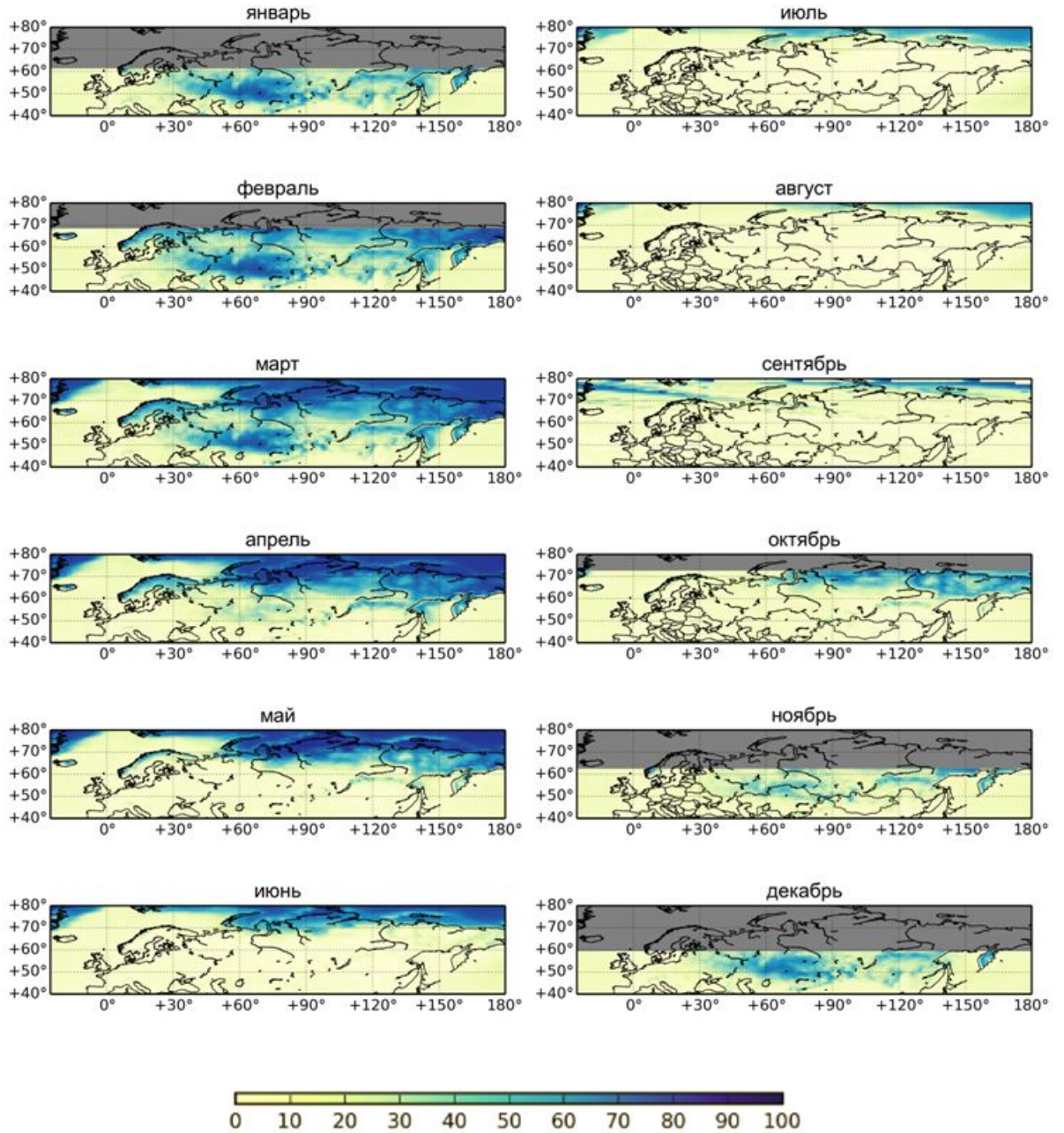


Рисунок 40 — Среднемесячные распределения альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра

4.4 Облачность

4.4.1 Метод определения облачного пропускания УФР

Как уже было отмечено в первой главе, облачность наряду с общим содержанием озона оказывает существенное влияние на поступление УФР к поверхности Земли, причем величина и знак этого эффекта (увеличение или уменьшение поступления УФР к поверхности Земли) зависит от свойств облачности (оптической толщины облачности, балла облаков, микрофизических и оптических свойств, количества облачных слоев и их взаимного расположения [25, 53]).

Для определения облачного пропускания УФР применяются различные спутниковые данные, например, отражательная способность в видимом диапазоне спектра с использованием радиометра AVHRR, установленного на борту полярно-орбитального спутника NOAA. Более надежным является подход для определения облачного пропускания УФР, основанный на использовании данных по отражательной способности в УФ-диапазоне спектра по данным приборов TOMS, GOME, SBUV.

При использовании спутниковых наблюдений, если считать облачный слой однородным и подстилающую поверхность ламбертовской, т.е. отражающей изотропно, то выражение для CQ примет следующий вид [129]:

$$CQ_0 = \frac{1 - R_c}{1 - A_s R_c^{diffuse}}, \quad (18)$$

где CQ_0 - облачное пропускание в отсутствии атмосферы (пренебрежение атмосферными эффектами – молекулярным рассеянием и поглощением УФР озоном), R_c и $R_c^{diffuse}$ - сферическое альbedo однородного облачного слоя, освещенного прямым и рассеянным светом при альbedo поверхности, равном нулю, A_s - ламбертовская отражательная способность поверхности. Сферическое альbedo представляет собой отношение всего отраженного солнечного излучения ко всему падающему излучению на сферу.

Для однородного облачного слоя его альbedo будет функцией облачной оптической толщины, альbedo однократного рассеяния, индикатрисы рассеяния и солнечного зенитного угла. Следуя этому подходу, по спутниковым измерениям определяется облачная оптическая толщина (и микрофизические характеристики облачности), затем альbedo облачности, а потом непосред-

ственно CQ с привлечением данных по альбедо поверхности.

С другой стороны, по оценкам сферического альбедо системы подстилающая поверхность-облачность, полученным по спутниковым данным, при условии отсутствия поглощения в атмосфере, но учета молекулярного рассеяния, зная альбедо поверхности, CQ напрямую восстанавливается из энергетического баланса без привлечения информации об облачной оптической толщине и микрофизических характеристиках облачности. В этом случае

$$A = R_c + \frac{T_c A_s T_c^{diffuse}}{1 - A_s R_c^{diffuse}}, \quad (19)$$

где $T_c, T_c^{diffuse}$ - облачное пропускание для прямой и рассеянной радиации A - сферическое альбедо системы облачность-земная поверхность.

Предполагая, что поглощение облачностью равно нулю, получаем:

$$T_c = 1 - R_c \quad (20)$$

$$T_c^{diffuse} = 1 - R_c^{diffuse}, \quad (21)$$

Следовательно, облачное пропускание УФР будет определяться как:

$$CQ_0 = \frac{1 - A}{1 - A_s} = 1 - \frac{A - A_s}{1 - A_s} \quad (22)$$

В летних условиях альбедо поверхности в УФ-диапазоне обычно низкое (1-8%) [85], можно пренебречь отражательной способностью поверхности и тогда будет существовать линейная связь между облачным пропусканием при отсутствии влияния атмосферы и сферическим альбедо системы облачность-земная поверхность.

$$CQ_0 = 1 - A \quad (23)$$

$$A = R_c \quad (24)$$

Однако при увеличении альбедо поверхности чувствительность облачного пропускания к облачной оптической толщине уменьшается (рисунок 41).

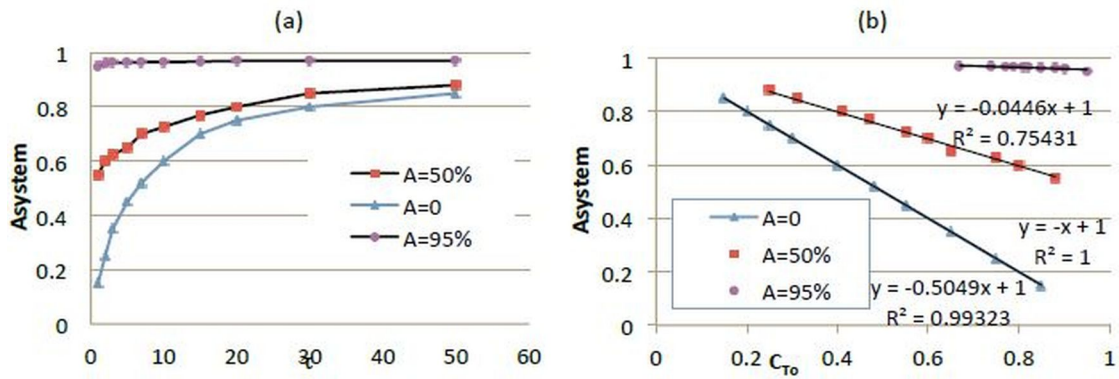


Рисунок 41 — (а) Связь между альбедо системы облачность-земная поверхность (A_{system}) и облачной оптической толщиной (τ) при различных значениях альбедо поверхности (A). (б) Связь между A_{system} и облачным пропусканием (C_{T0}) при различных значениях альбедо поверхности (A). Использованы данные работы [129]. Высота Солнца 30 градусов.

Облачное пропускание УФР имеет слабую спектральную зависимость в диапазоне длин волн 300-400 нм, которую иллюстрирует рисунок 9, [101]. Более короткие длины волн ослабляются меньше, чем более длинные, и эта разница увеличивается с увеличением солнечного зенитного угла. Меньшее ослабление коротких длин волн происходит за счет многократного рассеяния между верхним облачным слоем и атмосферой. Фотоны рассеиваются от верхнего облачного слоя и рассеиваются в обратном направлении молекулами воздуха. Молекулярное рассеяние при этом имеет сильную зависимость от длины волны за счет существенного вклада релеевского рассеяния. Уменьшение облачного пропускания УФР на длинах волн до 320 нм происходит за счет поглощения озоном и многократного рассеяния в облаках.

Так как облачное пропускание УФР все же имеет слабую спектральную зависимость, облачное пропускание для всего УФ диапазона по спутниковым данным может быть оценено по облачному пропусканию на одной длине волны 380 нм. В [77] был предложен метод оценки облачного пропускания по спутниковым данным, основанный на использовании Ламбертовской отражательной способности на длине волны 360 нм или 380 нм (R_{380}) LER по данным радиометра TOMS. Он заключается в следующем:

если $R_{380} < 0.5$, то

$$CQ = 1 - (R_{380} - A_s)/(1 - 2A_s), \quad (25)$$

если $R380 > 0.5$, то

$$CQ = 1 - R380, \quad (26)$$

где $R380$ - отражательная способность на длине волны 380 нм A_s - альбедо поверхности.

Данный подход к определению облачного пропускания хорош тем, что в нем используются данные непосредственно об отражательной способности в УФ-диапазоне спектра, кроме того данные спектрорадиометров TOMS/OMI имеют длинный временной ряд наблюдений с высоким пространственным разрешением.

В [129] отмечено, что оценки CQ , полученные с помощью метода LER хорошо согласуются с данными наземных наблюдений в условиях, когда отсутствует снежный покров. В то же время при использовании спутниковых данных для определения пропускания УФР возникает ряд проблем. Во-первых, в условиях высокой отражательной способности поверхности ($R380$) трудно разделить облачные пиксели и пиксели, занятые земной поверхностью со снежным покровом. При этом пиксель с высокой отражательной способностью может быть принят за облачный, и, как следствие, значения пропускания окажутся заниженными. Во-вторых, при протяженной плотной облачности спутниковые измерения практически нечувствительны к влиянию альбедо поверхности (рисунок 41). Однако в таких условиях у земной поверхности за счет эффектов многократного переотражения может наблюдаться существенно разное изменение УФР в зависимости от величины альбедо поверхности. Поэтому при использовании спутниковых данных важно разделить влияние облачности и альбедо поверхности, особенно при ее высокой отражательной способности. Метод оценки облачного пропускания [77] приводит к большим погрешностям в определении облачного пропускания (до 40-50%) по сравнению с результатами, полученными по данным наземных наблюдений, в условиях снежного покрова. Алгоритм [77] будет надежно работать, если использовать дополнительную информацию об альбедо поверхности, однако получение такой информации в глобальном масштабе и ежедневно затруднительно.

Для решения обозначенных проблем в определении облачного пропускания по спутниковым данным может быть предложена следующая методика [160], использующая приближение независимых пикселей: представление спутниковых данных по $R380$ в виде двух частей: ясной (отражательная спо-

способность поверхности) и облачной (отражательная способность облаков), взятых с весовыми коэффициентами, определяемыми по баллу нижней облачности как наиболее оптически плотной и вызывающей наибольшие потери УФР [25]. Для определения облачного пропускания УФР будем использовать данные по отражательной способности на длине волны 380 нм TOMS (R380), которые, как отмечалось выше, наиболее надежны в УФ-диапазоне спектра.

В результате отражательную способность на длине волны 380 нм можно представить как:

$$R380 = K_1 * A_s + K_2 * R_c, \quad (27)$$

где R380 - отражательная способность на длине волны 380 нм. A_s - отражательная способность альбеда поверхности, R_c - отражательная способность облачности, K_1 , K_2 – весовые коэффициенты

Фактически, в линейном приближении K_1 и K_2 соответствуют области без облаков и области с облаками, т.е. можно переписать:

$$K_1 = 1 - Nn, \quad (28)$$

$$K_2 = Nn, \quad (29)$$

где Nn – нижняя облачность в долях единицы.

Тогда выражение 27 можно переписать в следующем виде:

$$R380 = (1 - Nn) * A_s + Nn * R_c \quad (30)$$

Обозначим второе слагаемое в выражении 30, которое показывает облачное отражение, как $Reffcloud$. Запишем окончательное выражение:

$$Reffcloud = R380 - (1 - Nn) * A_s \quad (31)$$

Пропускание УФР будет равно при отсутствии поглощения в слое:

$$CQ = 1 - Reffcloud \quad (32)$$

Окончательно,

$$CQ = 1 - (R380 - (1 - Nn) * A_s) \quad (33)$$

Данный простой подход позволяет разделить влияние облачности и подстилающей поверхности на величину отражательной способности R380.

4.4.2 Описание баз данных, используемых для расчета облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра

Базы данных по баллу нижней облачности

В настоящее время существует более десятка глобальных баз данных для облачного покрова, основанных на спутниковых и наземных наблюдениях (с различным временным и пространственным разрешением и разной длительности) [24].

Для определения весовых коэффициентов в выражении (27) рассматривались различные базы данных по баллу нижней облачности: реанализ ECMWF ERA-Interim (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), спутниковые данные ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project), Calipso (The Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations), данные наземных наблюдений (табл.9).

Климатология ISCCP представляет собой среднемесячные спутниковые наблюдения в сетке $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ с 1983 года, при этом нижней считается облачность, расположенная > 680 гПа (< 3.2 км). В данной климатологии облачность определяется по спутниковым снимкам в видимом и ИК-диапазонах с оперативных погодных спутников. Облачный анализ ISCCP состоит из трех основных этапов: 1) определение облачности (при определении облачных и ясных пикселей используется допущение, что изменчивость излучения ясных пикселей меньше, чем облачных), 2) анализ модели радиационного переноса (для каждого пикселя, классифицируемого как ясный или облачный, измеренные яркости можно сравнить с расчетами модели радиационного переноса излучения, которая воспроизводит излучение, которое должен был измерить спутник), 3) статистический анализ [128].

Таблица 9 — Использованные базы данных по баллу нижней облачности.

| Название | Период | Разрешение |
|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| ISCCP | 1983 – 2007гг. | $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ |
| ERA Interim ECMWF | 1979г.-наст.время | $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ |
| Calipso | 2005г.-наст.время | $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ |

ERA-Interim – последний реанализ Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, включает в себя полную прогностическую облачную схему, которая учитывает радиационное воздействие облачности, изменение скрытого тепла при конденсации и испарении в облаках и осадках, дополнительные эффекты, связанные с переносом тепла и влаги. Реанализ содержит среднемесячные данные по нижней облачности ($P > 0.8 P_s$, P - давление, P_s - приземное давление) с января 1979 года с пространственным разрешением $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$. Для его производства используется модель IFS Cy31r2 и 12 часовая 4D-Var ассимиляция данных. Приблизительный шаг по пространству 79 км, 60 уровней по вертикали до 0.1 гПа. В реанализе ERA-Interim была улучшена облачная схема (учет конвекции, разрушения облачности и др.) по сравнению с реанализом ERA-40 [142].

Данные по нижней облачности CALIPSO-GOCCP получены с помощью спутникового лидара, уровни распределения облачности соответствуют уровням облачности ISCCP. Недостаток этих данных заключается в том, что они представляют собой небольшой ряд наблюдений – среднемесячные значения получены при осреднении за 4 года (с 2007 по 2011 гг.).

Базы данных по альbedo поверхности

Рассмотрим две базы данных по альbedo поверхности. Первая база данных включает в себя данные о пространственном спутниковом альbedo, полученном на основе применения метода скользящих средних (MTW) к сеточному временному ряду Ламбертовской отражательной способности на длине волны 360 нм и вычисления среднего альbedo поверхности для каждой пространственной ячейки сетки [139]. Преимуществом этой базы данных по альbedo поверхности является непосредственное использование информации об отражательной способности в УФ-диапазоне спектра.

Вторая база данных основана на данных спектрорадиометра MODIS с 36 каналами в диапазоне 0.42-14.24 мкм, которые позволяют определять различные атмосферные характеристики (восстановление аэрозольной оптической

толщины, общего количества водяного пара), и восстанавливать альbedo поверхности для первых семи каналов прибора, а также для видимого диапазона, ближнего инфракрасного и коротковолнового (0.3-5 мкм) диапазонов [42].

В связи с тем, что альbedo снега в видимом диапазоне и УФ-диапазоне имеют близкие значения, были использованы данные по альbedo поверхности в видимом диапазоне MODIS коллекция ALBEDO MCD43 C1 16-Day L3 0.05Deg, пространственное разрешение данных составляет приблизительно 5600 метров. Преимуществом данных по альbedo поверхности MODIS является их высокое пространственное разрешение, что важно для определения такой изменчивой характеристики как альbedo поверхности.

Валидация баз данных по облачности и альbedo поверхности

Валидация баз данных по облачности и альbedo поверхности производилась для московских условий по измерениям МО МГУ.

Рассмотрим балл нижней облачности. На рисунке 42 показан годовой ход среднемесячных значений балла нижней облачности для условий Москвы. Nn_{OBS} представляет собой значения балла нижней облачности, полученные по результатам многолетних измерений в МО МГУ.

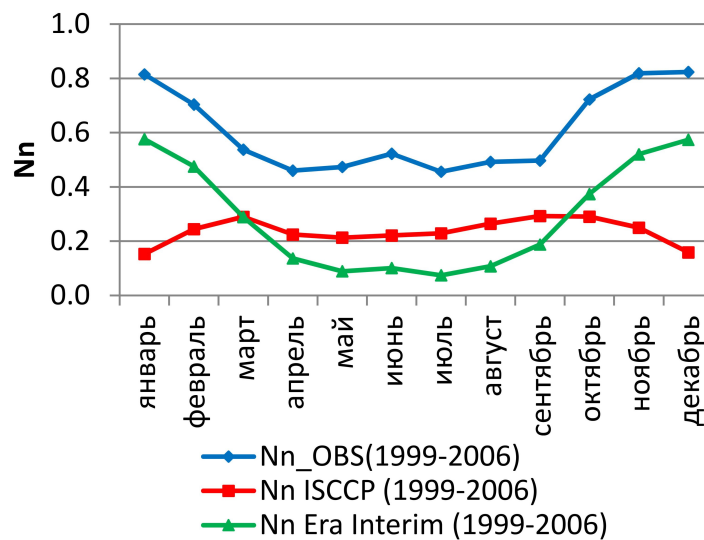


Рисунок 42 — Балл нижней облачности по различным базам данных для Москвы

Видно, что по данным наземных наблюдений наибольший балл нижней облачности отмечается для московских условий в период с ноября по январь, что связано с усилением циклонической деятельности в холодный период года. Годовой ход нижней облачности ERA Interim имеет схожий характер с го-

довым ходом нижней облачности по данным наземных наблюдений. Наибольшие различия между баллом облачности Nn_{OBS} и Nn Era Interim наблюдаются в теплый период, когда активно развивается конвекция. У спутниковых данных ISCCP практически отсутствует годовой ход, а также для них характерны низкие значения балла облачности, особенно в зимний период.

В дальнейшем для определения облачного пропускания УФР по предлагаемому методу будем использовать данные о нижней облачности Era Intetim, так как их валидация по наземным данным показала, что они корректнее отражают годовой ход облачности. В то же время сложно сравнивать между собой данные спутниковых и наземных измерений облачности, потому что они представляют собой разный взгляд на облачность: спутниковые измерения оценивают балл облачности сверху, наземные измерения – снизу. Спутниковые и наземные измерения относятся к различному полю обзора, наземные данные имеют тенденцию к завышению балла облачности за счет боковых граней облаков, что особенно сказывается в теплое время года.

Альbedo поверхности ($A_{surface}$) может быть дополнительно оценено по методике, приведенной в [57], в которой используются наземные данные о степени покрытия снежным покровом:

$$A_{surface} = w * A_{s1} + (1 - w) * A_{s2} \quad (34)$$

где $A_{s1} = 0.4$ – УФ альbedo снега, $A_{s2} = 0.02$ – УФ альbedo травы. Эти оценки получены в соответствии с типичными значениями TOMS MLER для Москвы. w – стандартная метеорологическая характеристика, балл покрытия снежным покровом.

Для московских условий значения $Albedo_{surface}$ были получены с использованием данных TOMS MLER и балльности снежного покрова на метеорологической площадке МО МГУ. Данные $Albedo_{MTW}$ получены на основе базы данных , которая имеет пространственное разрешение $1^\circ \times 1^\circ$ и временное разрешение 1 день. $Albedo_{Modis}$ получены на основе базы данных для точки с координатами 55.725° с.ш., 37.525° в.д., ближайшей к координатам Москвы. Для $Albedo_{snow}$ временное осреднение было проведено за период 1999-2006гг, для $Albedo_{Modis}$ – 2001-2006гг, для $Albedo_{MTW}$ – 1979-1992гг (рисунок 43).

Значения $Albedo_{Modis}$ демонстрируют более высокие показатели при наличии снежного покрова и летом, поскольку альbedo бесснежной поверхности

в видимом диапазоне спектра больше, чем в ультрафиолетовом.

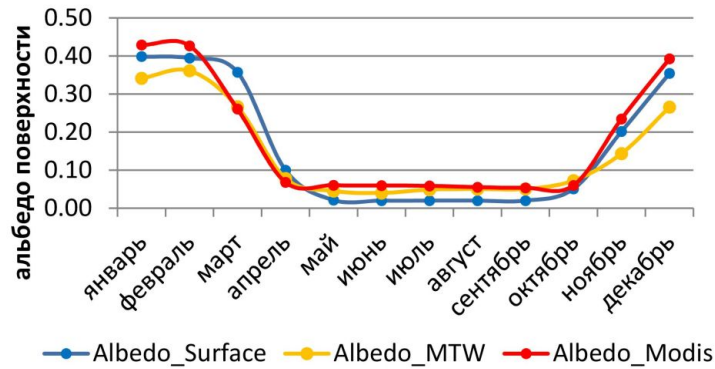


Рисунок 43 — Альbedo поверхности по различным базам данных для Москвы

Для того, чтобы оценить чувствительность предлагаемого метода к изменению балла облачности для трех месяцев со снежным покровом в московских условиях (январь-март) было рассчитано облачное пропускание при различном балле нижней облачности. Из рисунка 44 видно, что чувствительность SQ к изменению балла облачности составляет 2.7-3.6% /1 балл в зависимости от месяца. Чем меньше альbedo поверхности, тем ниже чувствительность SQ к изменению балла облачности, что хорошо иллюстрирует рисунок 45.

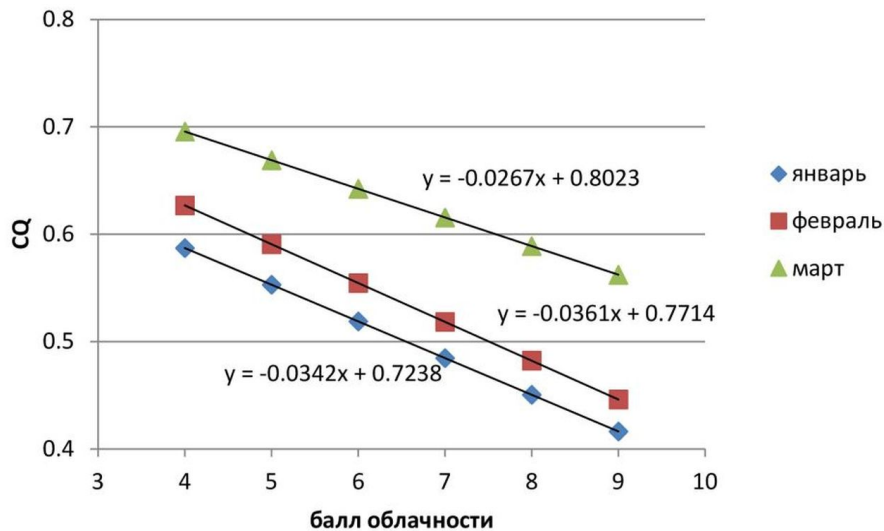


Рисунок 44 — SQ в зависимости от балла нижней облачности для января-марта

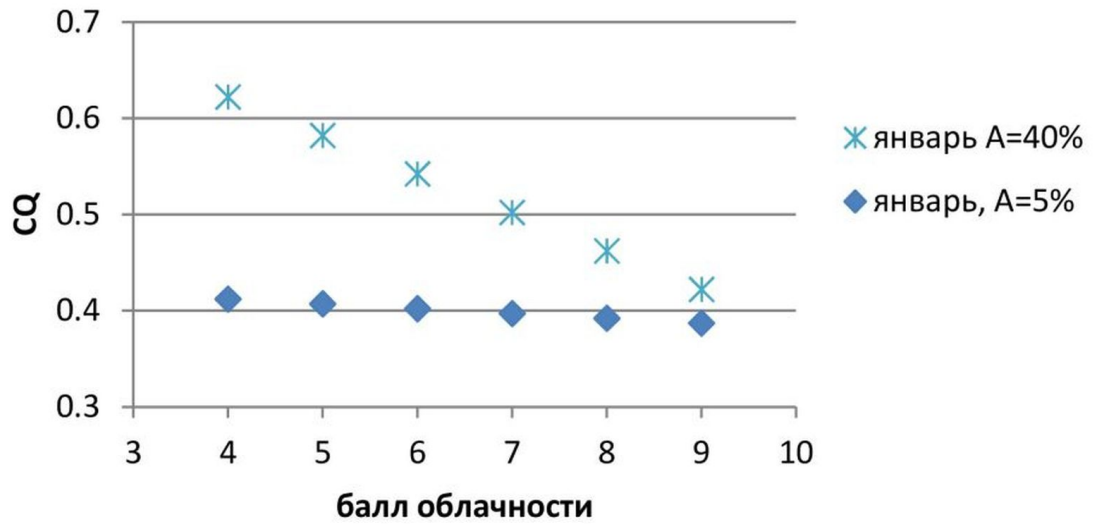


Рисунок 45 — CQ в зависимости от балла нижней облачности для двух вариантов альbedo поверхности 5 и 40%.

Таким образом, изменения балла облачности оказывает существенное влияние на изменение величины CQ при высоком альbedo поверхности в зимнее время года.

4.4.3 Тестирование предлагаемого метода оценки облачного пропускания УФР

Среднемесячное облачное пропускание УФР было оценено по предлагаемому методу для условий, характерных для Москвы. Его валидация была проведена несколькими способами. Были использованы измерения Метеорологической обсерватории МГУ: измерения эритемной радиации, производимые широкополосным прибором UVB-1 YES; измерения УФР в диапазоне 300-380 нм, прибором разработанным в обсерватории. Оценки УФР в ясных условиях осуществлялись как непосредственно по данным измерений, так и с привлечением модельных расчетов УФР с помощью программного комплекса TUV.

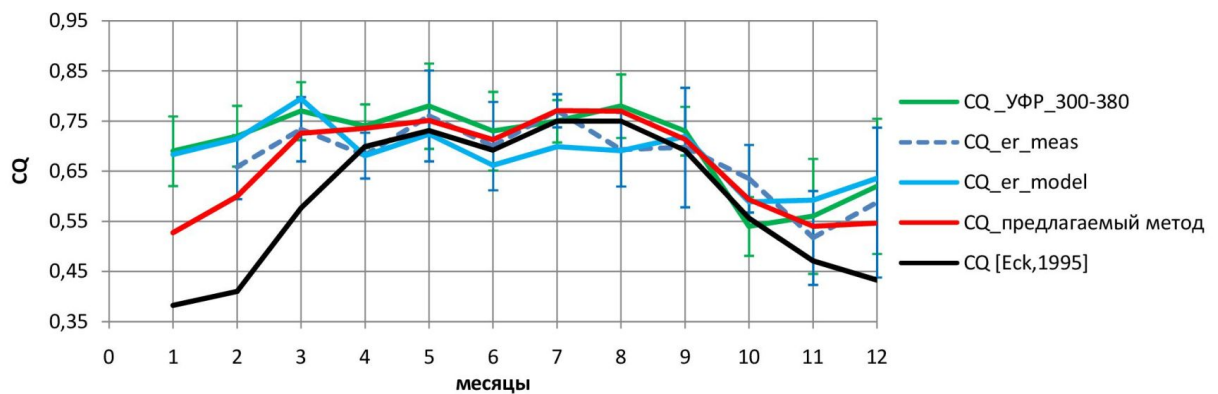


Рисунок 46 — Среднемесячные значения облачного пропускания (CQ) для московских условий, определенные различными методами: $CQ_{300-380}$ - по данным измерений УФР 300-380, $CQ_{er_{meas}}$ - по данным измерений эритемной УФР, $CQ_{er_{model}}$ - с привлечением модельных расчетов при безоблачном небе. Для оценок CQ, полученным по экспериментальным данным, приведены 95% доверительные интервалы.

На рисунке 46 и в табл.10 показаны значения облачного пропускания (CQ), рассчитанные по предлагаемому методу (выражение 33) (красная кривая), используя данные по нижней облачности ERA Interim, альbedo поверхности [139] и отражательной способности поверхности R380 TOMS, усредненные за период 1999-2006гг. Зелеными и голубыми кривыми показаны значения облачного пропускания для УФР в диапазоне 300-380 нм и эритемной УФР по экспериментальным данным МО МГУ.

Экспериментальное облачное пропускание было получено по месячным суммам эритемной УФР. Знаменатель в экспериментальных оценках CQ был

получен двумя способами: с использованием измерений радиации в ясные сроки (обозначение "meas") и с помощью модельных расчетов при безоблачном небе и учете действительных значений аэрозольной оптической толщины и альbedo поверхности по [139] (обозначение "model"). Для экспериментальных значений CQ показаны доверительные интервалы на уровне значимости 0.05. Черной кривой на рисунке 46 показаны значения облачного пропускания, полученные по стандартному методу [77].

Среднемесячное экспериментальное облачное пропусканием УФР 300-380 нм, было получено на основе данных наземных наблюдений в МО МГУ Е.И.Незваль за период 1968-2003 гг. При вычислении экспериментального пропускания УФР определение знаменателя (Q_{clear}) заключалось в следующем: для каждого часа каждого месяца выбирались данные измерений УФР, полученные при отсутствии облачности и рассчитывалась средняя величина УФР для каждого часа. Затем по средним часовым значениям получалась средняя суточная сумма, а затем была определена средняя месячная сумма. Недостатками данного метода определения знаменателя является различное число случаев с ясным небом для каждого часа, малое число случаев ясного неба в зимний период из-за большой повторяемости облачных условий.

Модельные оценки величины Q_{clear} для эритемной УФР (в случае расчета величины CQ_{er_model}) рассчитывались с использованием интерполяционной программы, основанной на таблице точных модельных значений УФР в различных условиях. Соответствующие атмосферные условия определялись по среднемесячным данным об общем содержании озона, аэрозольной оптической толщине на длине волны 380 нм, за период 1999-2006 гг, из рассмотрения были исключены данные по АОТ380 за 2002 год, характеризующиеся высокими значениями АОТ380 за счет дымового аэрозоля. Месячные суммы УФР для ясного неба были получены из суточных сумм, значения которых в свою очередь были получены по расчетам УФР с дискретностью 3 минуты. При этом использовалось среднее склонение для каждого дня месяца. Получившиеся месячные суммы УФР были приведены к реальному расстоянию Земли до Солнца. Для расчета величины Q_{cloud} использовались результаты многолетних измерений эритемной УФР и УФР 300-380нм, представленные в виде месячных сумм и усредненные за период 1999-2006 гг., за исключением 2002 года.

Таблица 10 — Облачное пропускание (CQ) в Москве по различным данным

| Месяц | $CQ_{er_{model}}$ | $CQ_{er_{meas}}$ | $CQ_{300-380}$ | CQ [Eck et al., 1999] | CQ ,новый метод |
|-------|-------------------|------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 0.68 | | 0.69 | 0.38 | 0.53 |
| 2 | 0.71 | 0.66 | 0.72 | 0.41 | 0.60 |
| 3 | 0.79 | 0.73 | 0.77 | 0.58 | 0.73 |
| 4 | 0.68 | 0.68 | 0.74 | 0.70 | 0.74 |
| 5 | 0.72 | 0.76 | 0.78 | 0.73 | 0.75 |
| 6 | 0.66 | 0.70 | 0.73 | 0.69 | 0.71 |
| 7 | 0.70 | 0.77 | 0.75 | 0.75 | 0.77 |
| 8 | 0.69 | 0.69 | 0.78 | 0.75 | 0.77 |
| 9 | 0.72 | 0.70 | 0.73 | 0.69 | 0.71 |
| 10 | 0.59 | 0.64 | 0.54 | 0.56 | 0.59 |
| 11 | 0.59 | 0.52 | 0.56 | 0.47 | 0.54 |
| 12 | 0.64 | 0.59 | 0.62 | 0.43 | 0.55 |

Видно (рисунок 46), что облачное пропускание в Москве имеет годовой ход с максимумом в летний период (с небольшим уменьшением в июне за счет увеличения балла облачности и хорошо коррелирует с уменьшением аэрозольной оптической толщины [56]) и минимумом в зимний период в связи с усилением циклонической активности.

Если принять, что ошибка измерений УФР составляет в среднем 5%, то относительная погрешность определения облачного пропускания по экспериментальным данным составляет 7%. Отметим, что полученные значения облачного пропускания находятся в пределах доверительных интервалов для значений облачного пропускания, полученных по экспериментальным данным во все месяцы года за исключением января, что может быть связано с малой выборкой измерений для этого месяца года.

Таким образом, для оценок облачного пропускания на территории Евразии в качестве значений альbedo поверхности в дальнейшем будем использовать базу данных по альbedo поверхности MTW, которая имеет удовлетворительное пространственное и временное разрешение и дает оценки альbedo поверхности непосредственно в УФ диапазоне спектра, и в качестве оценок балла нижней облачности реанализ Era Interim.

4.4.4 Облачное пропускание УФР на территории Северной Евразии

Распределение рассчитанного среднемесячного облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра совместно с давлением на уровне моря представлено на рисунке 47.

С января по март на европейской территории преобладает перенос с юго-запада на северо-восток, наблюдается частая повторяемость циклонов, выходящих на северное побережье Сибири, связанная с распространением ложбины Исландского минимума, что приводит к низкому облачному пропусканию УФР. Западная Сибирь находится под влиянием Исландской депрессии на севере, при этом преобладает юго-западное направление ветра, и отрога Азиатского антициклона на юге, преобладающее направление ветра южное, поэтому значения облачного пропускания на юге Западной Сибири выше, чем на севере. На юге Восточной Сибири развивается Азиатский антициклон, поэтому облачное пропускание в этих районах высокое – 70-90%. Юг ЕТР и Кавказ испытывают воздействие средиземноморских циклонов. Циклоническая деятельность над Западной Сибирью ослаблена по сравнению с ЕТР. Континентальные районы Дальнего Востока находятся под действием Азиатского антициклона, а прибрежные районы испытывают воздействие Алеутской депрессии, поэтому облачное пропускание здесь 50-60%. Азиатский антициклон определяет преобладание над материком сухой морозной погоды с северными и северо-западными ветрами – зимний муссон, облачное пропускание составляет 70-90%. Область пониженных значений облачного пропускания характерна для Камчатки, Сахалина, Курильских и Командорских островов, в которой развивается активная морская зимняя конвекция, связанная с адвекцией холодного воздуха в тыловых частях циклонов над теплой поверхностью океана [10].

В апреле происходит перестройка барического поля. Циклоническая деятельность на ЕТР смещается к северу, на юго-востоке рассматриваемой территории сохраняется гребень Азиатского антициклона. В центральных районах ЕТР облачное пропускание составляет 80-90%. В районе Казахстана начинает формироваться Азиатская термическая депрессия с высоким облачным пропусканием от 80 до 90%. Пониженные значения облачного пропускания (50-60%) в средиземноморском климате. В центральном районе ЕТР и на юге наблюдается слабоградиентное барическое поле. На севере Западной Сиби-

ри усиливается циклоническая деятельность, приводящая к усилению межширотного обмена. На весь Дальний Восток распространяется область пониженного давления, являющаяся результатом развития циклонической деятельности. Начиная с мая, на побережье Охотского моря юго-восточные и южные ветры связаны с западной и юго-западной перифериями Охотского антициклона, под воздействием которого в прибрежных районах формируется слоистая облачность и облачное пропускание снижается.

Летом в связи с увеличением температуры воздуха увеличивается роль конвекции, в континентальных областях наблюдается максимальная повторяемость кучевых и кучево-дождевых облаков. В летние месяцы над Восточной Сибирью нарушается западный перенос, возникают ветры с северной составляющей (см.35). Усиливается циклоническая деятельность на территории Европы и в Прибайкалье на ветви полярного фронта, облачное пропускание уменьшается. Над всей территорией Западной Сибири преобладает циклоническая деятельность, при этом число дней с циклонами убывает, также как и облачное пропускание, с севера на юг. Летом наблюдается интенсивная циклоническая деятельность на Дальнем Востоке, отмечается продвижение на материк летнего тихоокеанского муссона.

Осенью происходит перестройка барического поля от теплого сезона к холодному. На европейской территории России облачное пропускание достигает минимальных значений в связи с циклонической активностью составляет 50-70%. В Восточной Сибири начинает развиваться Азиатский антициклон.

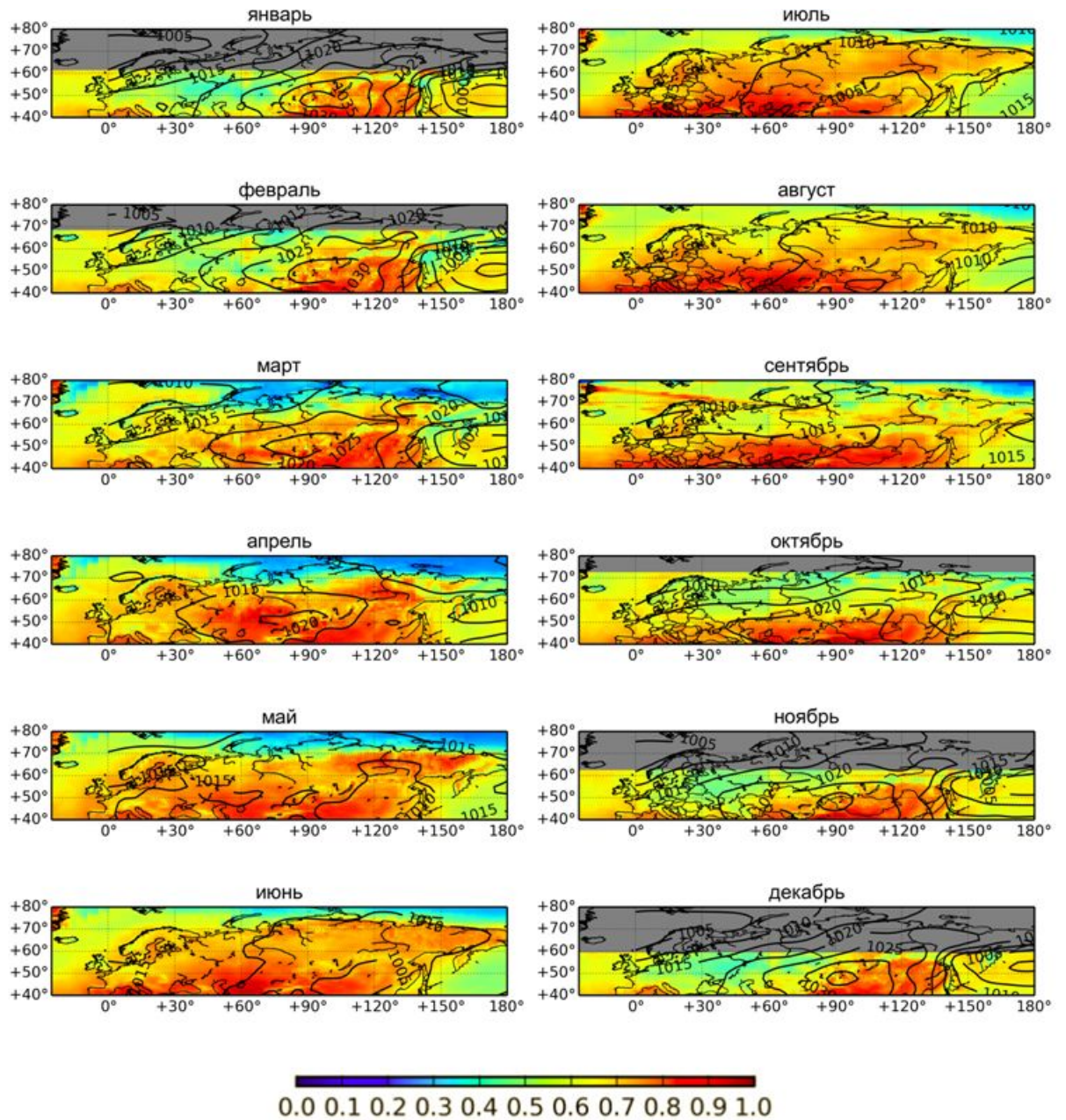


Рисунок 47 — Среднемесячные распределения облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра и давление на уровне моря NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 MONTHLY Intrinsic dataset (1949-2014)

4.5 Биологически активная УФР у поверхности Земли

4.5.1 Метод расчета доз биологически активной УФР

Для определения пространственно-временного распределения БАУФР на территории Северной Евразии был выбран подход радиационного моделирования. Расчеты были проведены с помощью модели TUV [29, 106] методом дискретных ординат DISORT в восьмипотоковом приближении [40]. Вертикальное разрешение модели задавалось с шагом 1 км и включало 80 слоев, спектральное разрешение - 1 нм. Поскольку расчеты БАУФР с помощью модели TUV требовали больших машинных ресурсов, то было решено сначала создать базу данных модельных значений БАУФР у поверхности Земли в ясных условиях для широкого набора параметров, а затем, используя интерполяционные схемы, проводить оценки доз УФР. Подход расчета УФР с помощью заранее составленных электронных таблиц широко распространен, например [111, 155]. База данных расчетных значений БАУФР была создана с шагом 1 градус по высоте Солнца в диапазоне от 1 градуса до 90 градусов, с шагом 0.02 по АОТ380 в диапазоне от 0 до 0.99, с разрешением 20 ед. Добсона по общему содержанию озона в диапазоне от 150 до 490 ед. Добсона, и с шагом 10% по альбедо поверхности в диапазоне 0-100%. Значения остальных параметров, влияющих на УФР (альбедо однократного рассеяния и фактор асимметрии аэрозоля, концентрации оптически активных газов), задавались типичными постоянными [58]. Набор атмосферных параметров и их высотных профилей, использованных для составления таблиц, приведены в Табл.11 и 12. Плотность потока эритемной УФР была рассчитана по выражению (1), с применением эритемного спектра действия [125]. Относительная разница между точными радиационными расчетами и значениями, полученными с использованием линейной интерполяции, не превышает 1 %.

Таблица 11 — Атмосферные параметры, использованные при расчете электронных таблиц для расчетов УФР

| Параметр | Значение | Параметр | Значение |
|----------------------------------|--|---------------------|-----------------------|
| Высота Солнца | 1 - 90 градусов Шаг : 1 градус | AOT 380 нм | 0 - 0.99 Шаг: 0.02 |
| СО ₂ | 150 - 490 ед.Добсона Шаг: 20 ед.Добсона | SSA | 0.94 |
| Сечение поглощение озона | Molina and Molina, 1986 | Фактор асимметрии | 0.75 |
| Приземная концентрация озона | 30 ppb | Приземное давление | 1013 гПа |
| Внеатмосферная радиация | ATLAS3 (1994), SUSIM | Высота поверхности | 0 км |
| SO ₂ ,NO ₂ | 0.1 ppb | Альбедо поверхности | 0 |

Таблица 12 — Атмосферные профили, используемые при создании электронных таблиц

| Профиль | Источник |
|--|------------|
| Озон (в зависимости от широты) | WMO, 1986 |
| Аэрозоль, континентальная модель II CONT-I | WMO, 1986 |
| Температура | USSA, 1976 |
| Плотность воздуха | USSA, 1976 |
| Сечение ослабления рэлеевского рассеяния | WMO, 1985 |

Использование разработанных баз данных основных геофизических параметров, влияющих на УФР (табл. 6), позволило эффективно проводить расчеты эритемной УФР с помощью созданных интерактивных программ. Расчеты БАУФР были проведены в ясных условиях с разрешением 1 градус и разным временным осреднением: от мгновенных значений до суточных доз с шагом в 3 минуты. Временное интегрирование было проведено методом трапеций. Однако даже при таком подходе требуется довольно существенное время для проведения расчетов. Поэтому основные вычисления были выполнены с помощью суперкомпьютера МГУ «Чебышев».

4.5.2 Распределение УФ-индексов в безоблачных условиях

Распределение УФ-индексов (величина, равная $Q_{ery}/0.025$) для всех месяцев года в околополуденное время (11:30-12:30 солнечного времени) на уровне моря показано на рисунке 49. Видно, что в течение года значения УФ-индексов изменяются от 0 до 10. Также видно, что главным регулятором поступления УФР к поверхности Земли является высота Солнца, что ведет к субширотному распределению УФ-индексов. Наблюдается широтный градиент УФ-индексов, значения УФ-индексов возрастают к югу. В безоблачных условиях нарушение широтного распределения УФ-индексов обусловлено вариациями общего содержания озона, содержания аэрозоля и альбедо поверхности (рисунок 48). Максимальное ослабление эритемной УФР за счет общего содержания озона достигает 45%. В среднем ослабление эритемной УФР за счет АОТ380 на рассматриваемой территории России составляет 5-10%, а районы Дальнего Востока и Казахского мелкосопочника выделяются более высокими значениями ослабления до 10-15%, которое может достигнуть в отдельные месяцы 20%. Относительное изменение эритемной УФР за счет отражения от поверхности в летнее время не превышает 5%, а в зимний период увеличиваются до 30-35%.

Если УФ-индекс превышает значение 3, то этот уровень УФР считается опасным, и необходима защита от Солнца для человека со вторым типом кожи [148]. На рассматриваемой территории такие уровни радиации наблюдаются в ясных условиях с марта по октябрь. В марте северная граница распространения опасной зоны УФ-индексов (УФ-индекс равен 3) находится на широтах от 44.5° с.ш. до 51.5° с.ш., в июне северная граница опасной зоны УФ-индексов достигает широты 78.5° , затем перемещается к югу в июле до 73.5° , а в октябре, достигая 46.5° .

Рассмотрим некоторые отличия в распределении УФ-индексов от широтного. В январе-марте повышенные значения УФ-индексов немного севернее Аральского моря и озера Балхаш объясняются пониженными значениями ОСО. В апреле границы между различными категориями УФ-индексов связаны одновременно с полями распределения ОСО, альбедо поверхности и аэрозоля. В апреле на большей части территории Евразии происходит сход снежного покрова, и в связи с этим увеличивается содержание аэрозоля в воздухе, что приводит к снижению прихода УФР к поверхности Земли.

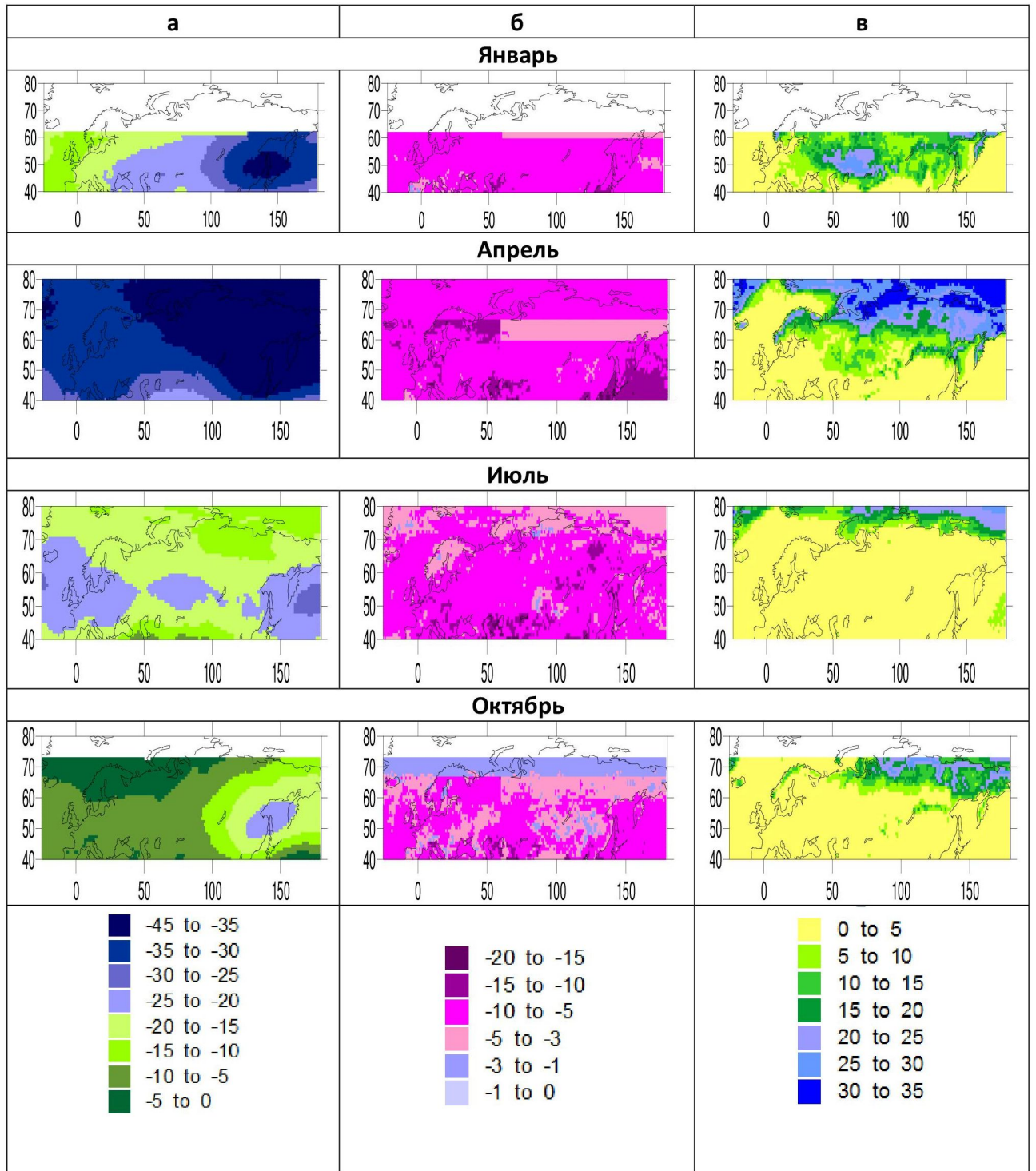


Рисунок 48 – Относительные изменения эритемной УФР за счет различных факторов. а – за счет поглощения озоном (нормирование на величину Q_{ery} при ОСО, равном 273 ед.Добсона) б – за счет ослабления аэрозолями (нормирование на величину Q_{ery} при АОТ380=0) в – за счет отражения поверхностью (нормирование на величину Q_{ery} при альбедо = 0)

В мае неравномерность распределения УФ-индексов на полуострове Таймыр связана с повышенными значениями альбедо поверхности. В летние ме-

сяцы распределение альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра на территории Евразии имеет однородный характер, поэтому не влияет на особенности распределения границ категорий УФ-индексов. В летние месяцы высокие значения УФ-индексов на широтах южнее примерно 45° с.ш. связаны не только с большими высотами Солнца, но и пониженным ОСО (рисунок 32).

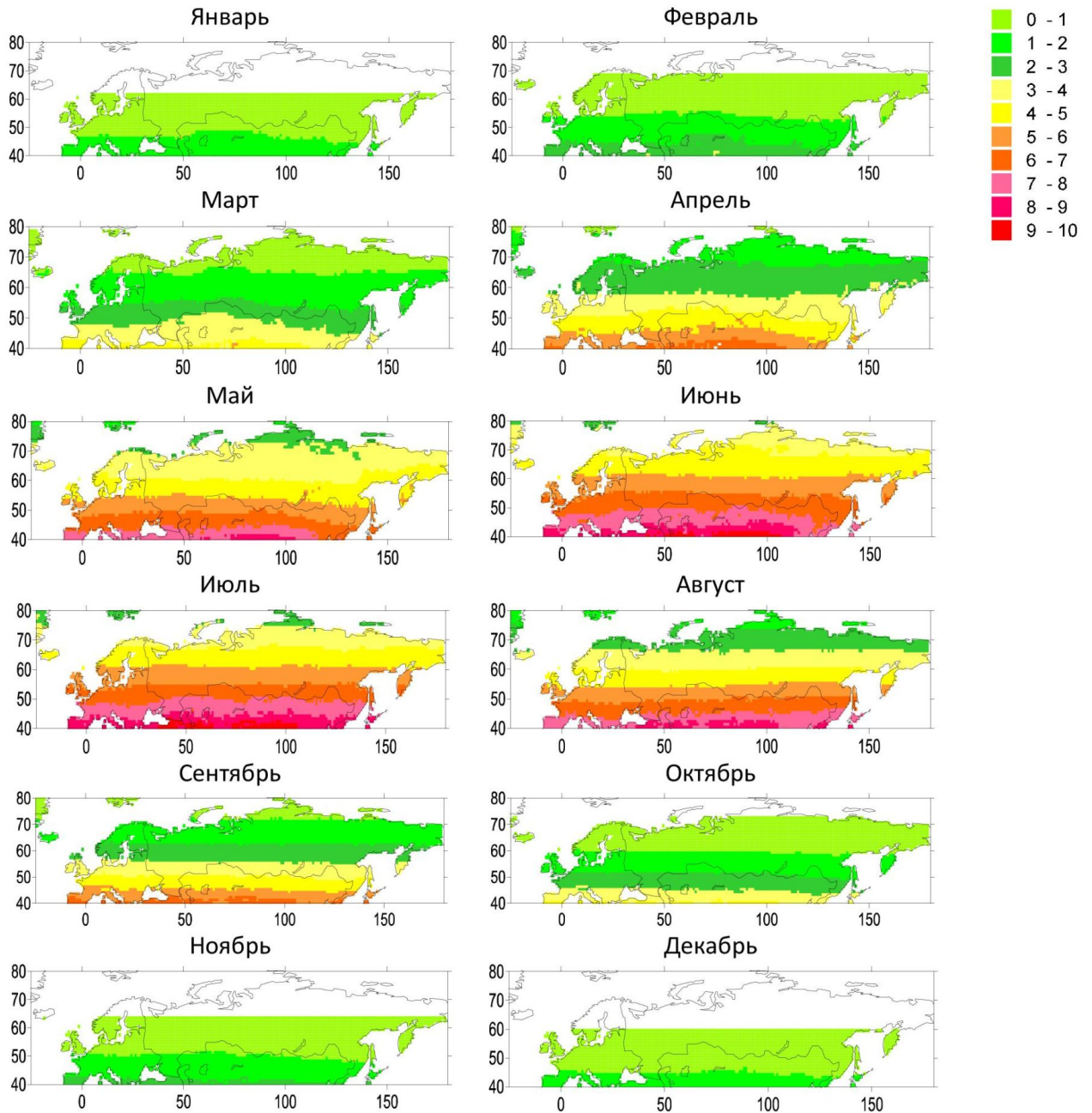


Рисунок 49 — Распределение УФ-индексов в ясных условиях

4.5.3 Распределение УФ-индексов в средних облачных условиях

Распределение УФ-индексов в средних облачных условиях получено с учетом среднемесячных оценок облачного пропускания УФР (рисунок 51). Особенности распределения облачного пропускания на территории Евразии представлены в разделе "Облачность". Ослабление УФР облачностью приводит к сдвигу границ различных категорий УФ-индексов к югу и нарушению их зонального распределения.

УФ-индексы превышают значение 3 на рассматриваемой территории в средних облачных условиях, также как и в ясных, с марта по октябрь. В марте северная граница распространения опасной зоны УФ-индексов (УФ-индекс равен 3) находится на широтах от 40.5° с.ш., лишь для нескольких точек достигая 47.5° с.ш., в июне северная граница опасных УФ-индексов достигает широт $60.5 - 78.5^{\circ}$, затем перемещается к югу в июле до широт $60.5 - 67.5^{\circ}$, а в октябре, достигает на севере широты 43.5° .

На рисунке 50 показана для центральных месяцев сезонов года разность между УФ-индексами в ясных и средних облачных условиях. Максимальные изменения УФ-индексов за счет облачности на рассматриваемой территории достигают 4 (в значениях УФ-индексов) и наблюдаются в июле на восточном побережии Евразии в связи с развитием летнего муссона.

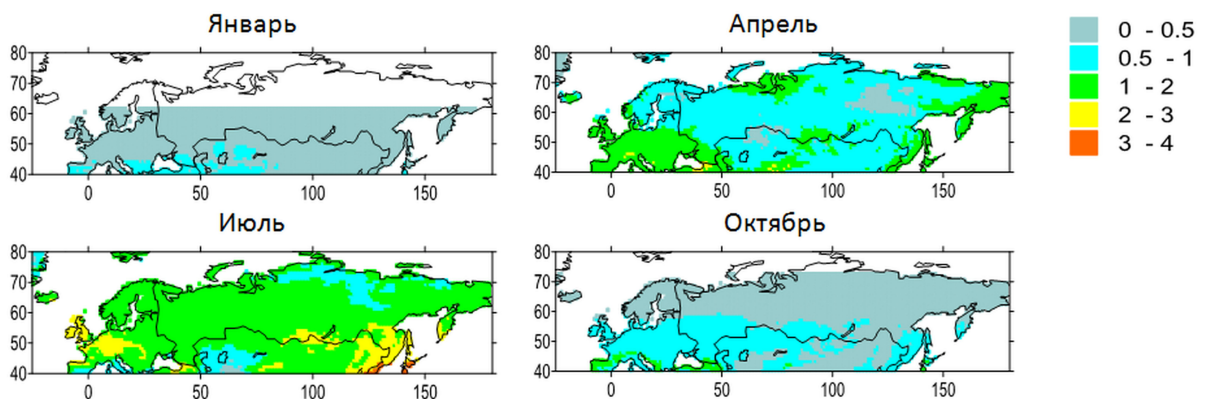


Рисунок 50 — Разность между УФ-индексами в ясных и средних облачных условиях

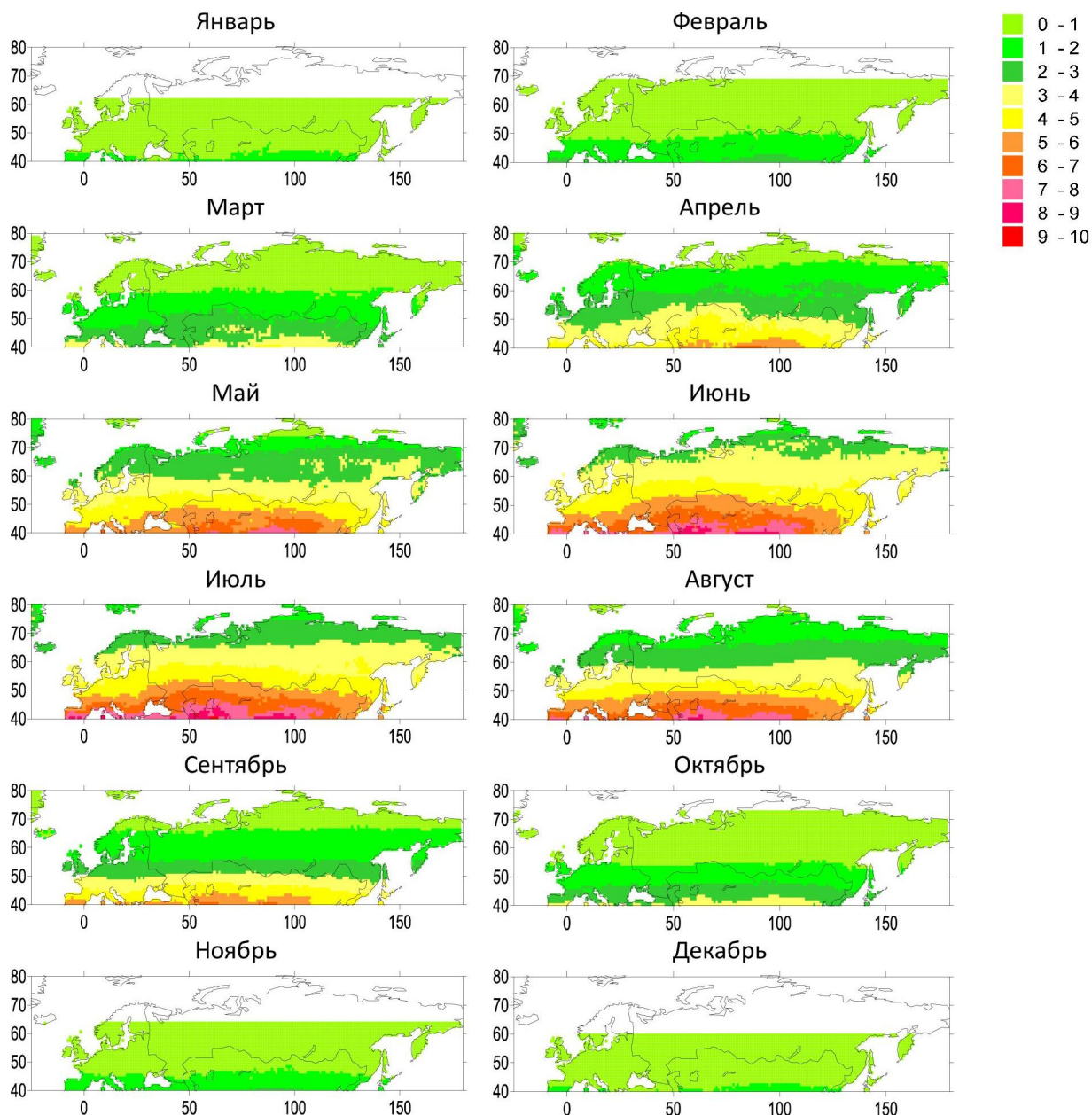


Рисунок 51 — Распределение УФ-индексов в средних облачных условиях

4.6 Выводы к главе 4

На основании анализа существующих спутниковых и наземных данных основных геофизических параметров были созданы базы данных по общему содержанию озона, аэрозольной оптической толщине на длине волны 380 нм, альбедо поверхности и облачному пропусканию в УФ-диапазоне спектра с разрешением по пространству $1 \times 1^\circ$ и 1 месяц по времени для территории Северной Евразии. Выявлены особенности в пространственном распределении среднемесячных значений основных геофизических параметров, влияющих на

поступление УФР к поверхности Земли, на исследуемой территории.

Представлен метод для определения облачного пропускания УФР на основе спутниковых данных по отражательной способности на длине волны 380 нм, данных о нижней облачности реанализа ERA-Interim и альбедо поверхности. Проведено сравнение получаемых с его помощью оценок облачного пропускания с экспериментальными данными Метеорологической Обсерватории МГУ.

Получены оценки среднемесячных значений УФ-индексов на территории Северной Евразии в ясных и средних облачных условиях. Показано, что пространственные распределения УФ-индексов имеют субширотный характер, а отклонение от него обусловлено изменениями общего содержания озона, содержания аэрозоля, альбедо поверхности и облачности. УФ-индексы, превышающие значение, равное 3, на рассматриваемой территории наблюдаются с марта по октябрь.

5 УФ-ресурсы на территории Северной Евразии

5.1 Метод определения влияния БАУФР на здоровье человека

Вопрос о рациональном использовании ресурсов естественной УФР для целей гелиотерапии на территории СССР был рассмотрен в монографии [20]. Отличительная особенность настоящей работы заключается в том, что ее основная задача состояла в необходимости охарактеризовать комплексное воздействие УФР на здоровье человека, используя современные методы исследования и надежные данные измерений. С этой целью вводится понятие УФ-ресурсы, которое позволяет оценить одновременно отрицательное и положительное воздействие на здоровье человека. Понятие УФ-ресурсы используется для демонстрации потенциальных возможностей УФР оказывать влияние на здоровье человека. Основные положения данного подхода опубликованы в статьях: Чубарова Н., Жданова Е. Ультрафиолетовые ресурсы при ясном небе на территории России. Вестник Московского университета. Серия 5. География. — 2012. — № 6. — С. 9–19; Chubarova N., Zhdanova Ye. Ultraviolet resources over Northern Eurasia. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. — 2013. — Vol. 127. — P. 38–51.

Основное отрицательное воздействие УФР на здоровье человека проявляется, как было сказано ранее, через образование эритемы. Чувствительность кожи человека к образованию эритемы зависит от типа кожи человека, который определяется с основе классификации Фитцпатрика [87]. В основу классификации Фитцпатрика положено понятие минимальной эритемной дозы (MED), то есть такой дозы эритемной УФР, которая приводит к первичному покраснению незагорелой кожи в течение 12–24 часов с момента облучения. Таким образом, выделяется шесть типов кожи (табл. 13).

Таблица 13 — Типы кожи, соответствующие им минимальные эритемные дозы (MED) по [87]

| Тип кожи | Цвет | Характеристика | MED, Дж/м ² |
|----------|---|---|------------------------|
| 1 | Кавказский тип. Блондины, рыжеволосые, веснушчатые, светлый тип кожи, голубые глаза | Всегда легко сгорают, никогда не загорают, очень светлая кожа | 200 |
| 2 | Кавказский тип. Блондины, рыжеволосые, веснушчатые, голубые или зеленые глаза | Обычно легко сгорают, загорают с трудом, светлая кожа | 250 |
| 3 | Темный кавказский тип, светлый Азиатский | Умеренно обгорают, загорают постепенно, цвет кожи светлый или средней светлости | 300 |
| 4 | Средиземноморский, Азиатский, Испанский | Редко обгорают, всегда хорошо загорают, тон кожи средней светлости | 450 |
| 5 | Ближневосточный, Латинско-американский, Индийский | Очень редко обгорают, очень легко загорают, цвет кожи – оливковый или темный | 600 |
| 6 | Темнокожий | Никогда не обгорают, глубоко пигментированная кожа, очень темный цвет | 1000 |

Основным рассматриваемым положительным влиянием УФР на здоровье человека является образование витамина D, происходящее при поглощении кожей УФР. В литературе расчет доз УФР, способствующей образованию витамина D (Q_{vitD}), также как и расчет доз Q_{er} , осуществляется с помощью спектра действия образования превитамина D [54, 82, 86, 150, 157]. На сегодняшний день не выработано единого подхода к определению пороговой дозы радиации, способствующей образованию оптимального количества витамина D. Например, в [150] в качестве пороговых значений для образования витамина D были выбраны данные измерений, проведенных 15 февраля 1986 года в Бостоне, когда по данным клинических наблюдений у пациентов не происходило образования витамина D. Однако в работе отсутствует детальная информация о клиническом исследовании, а приведенные спектральные оценки

радиации оказались существенно ниже, чем проведенные нами для этого дня модельные расчеты.

Важным параметром, который нужно учитывать при расчете порогового значения УФР, необходимого для образования витамина D, является степень открытости тела человека [109]. Известно, что при облучении MED всего тела, человек получает $W=10000-25000$ МЕ витамина D (МЕ – международные единицы). Уровень витамина D, необходимый для человека, составляет 400-600 МЕ [43], по последним рекомендациям 1000 МЕ [63].

Если принять, что $W=10000$ МЕ, а необходимое количество витамина D человеку в день, равным 600 МЕ, то величина порога радиации $P(i)$ для витамина D ($\text{Дж}/\text{м}^2$) с учетом типа кожи (i) и степени открытости человеческого тела S (в долях единицы) может быть представлена как:

$$P_i = MED_i(600/10000)/S \quad (35)$$

Отметим, что, используя выражение (35), мы не учитывали спектральные отличия эритемной радиации от радиации, способствующей образованию витамина D, которые обусловлены различными спектрами действия для этих биологических эффектов. В частности, обоснованием возможности неучета спектральных различий служит то, что с точки зрения образования витамина D важно установить регионы недостаточности витамина D, т.е. регионы, где время образования витамина D предельно велико. Такие условия наблюдаются при относительно низких высотах Солнца, когда, как показали модельные оценки, соотношение между Q_{vitD} и Q_{ery} примерно равно единице [97, 116]. Кроме того, в настоящее время все еще существуют неопределенности в принятом Международной комиссией по освещению спектре действия радиации, способствующей образованию витамина D [43, 114], что также может сделать необоснованным введение спектральных различий.

К неопределенностям спектра действия образования витамина D под воздействием УФР относятся то, что он был получен по результатам эксперимента 1982 года с монохроматическим источником УФ-излучения, характеризующимся относительно грубым спектральным разрешением 6-10 нм [115]. В принятом спектре действия витамина D дополнительную погрешность вносит также интерполяция полученного экспериментального спектра от длины волны 315 нм до 330 нм. В то же время биологи и медики в своих экспериментах

часто используют эритемную радиацию при исследованиях витамина D [92]. Все вышесказанное дает возможность для оценки вклада УФР в производство витамина D в коже человека через количественное соотношение с величиной Q_{ery} (выражение 35).

В расчетах Q_{vitD} обычно используется степень открытости кожи человека S , равная 0.25. Если использовать данный параметр, то в высоких широтах дозы радиации, достаточные для образования витамина D, наблюдаются уже в январе, что не согласуется с медицинскими данными. Однако степень открытости тела человека существенно зависит от эффективной температуры воздуха T_{eff} . Используя данные таблицы 6.4 из [5] была получена зависимость T_{eff} от температуры воздуха T с поправкой на скорость ветра V :

$$T_{eff} = T + (4.2719V^{-0.229} - 10) \quad (36)$$

Данные по T и V были получены из архива Университета Восточной Англии (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/tmc/>), созданного на основании стационарных измерений, которые затем были приведены к используемому пространственному разрешению в 1 градус. Далее было получено соотношение между степенью открытости тела и эффективной температурой воздуха:

$$S = 0.141 \exp(0.0041 T_{eff}) \quad (37)$$

для диапазона эффективной температуры от -35 до $+35^\circ\text{C}$. $R^2=0.98$, R^2 - коэффициент детерминации.

На рисунке 52 показана зависимость открытости тела человека от эффективной температуры воздуха, полученная согласно правилу девятки (площадь головы и шеи человека составляет 9%, руки - 18%, ноги - 36%) и дополнительно использовались данные из [18], которые хорошо согласуются между собой.

На основании рассчитанных эффективных температур по (36) и степени открытости человеческого тела S по (37) были получены пороги радиации, необходимые для образования витамина D для различных типов кожи для узлов сетки $1^\circ \times 1^\circ$ на территории Северной Евразии.

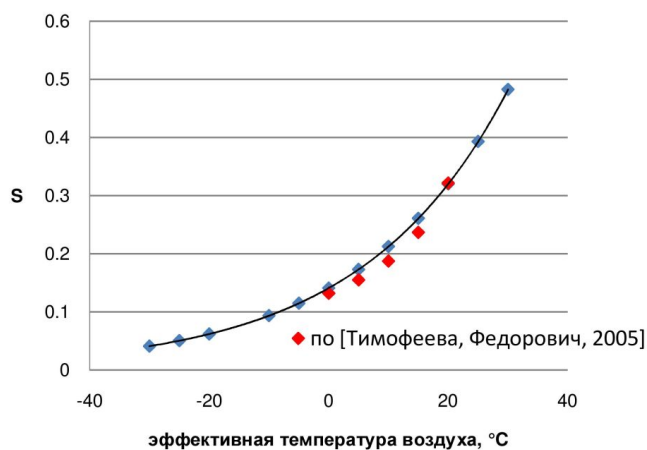


Рисунок 52 — Зависимость открытости тела человека от эффективной температуры воздуха

На рисунке 53 для центральных месяцев года (январь, апрель, июль, октябрь) приведено распределение открытости тела человека и эффективной температуры воздуха.

Распределение степени открытости тела человека определяется особенностями распределения среднемесячной температуры воздуха. Наименьшие температуры воздуха, а соответственно и минимальная степень открытости тела человека, наблюдаются в январе в Якутии, что связано с интенсивным радиационным охлаждением воздуха в условиях малооблачной погоды и снежного покрова, а также с минимальным проникновением теплого воздуха с Атлантического и Тихого океанов [7]. Летом, в июле, распределение изотерм на территории Евразии принимает субширотный характер. Наибольшая степень открытости тела человека наблюдается южнее 50 градуса с.ш. преимущественно на европейской территории Евразии.

В январе на ЕТР изотермы имеют субмеридиональный характер распределения с минимумом на севере Восточной Сибири. В апреле распределение изотерм принимает широтный характер вследствие усиления радиационного фактора. В июле широтный градиент температуры воздуха в континентальной части Евразии уменьшается, наибольшие градиенты температуры отмечаются в прибрежных районах арктических морей. Наиболее высокие температуры в июле отмечаются в Прикаспии. В октябре заметна перестройка поля температуры на зимнюю, на севере Восточной Сибири оформляется температурный минимум.

На основании рассчитанных эффективных температур и степени откры-

тости человеческого тела S (рисунок 53) были получены пороги радиации, необходимые для образования витамина D для различных типов кожи (рисунок 54). Видно, что величина порога образования витамина D в зимний период имеет субмеридиональное распределение с минимумом в области минимальных T_{eff} , которые наблюдаются на северо-востоке Евразии, где величины P для второго типа кожи превышают 1000-1500 Дж/м². Это происходит за счет того, что величина S уменьшается на порядок по сравнению с теми значениями, которые наблюдаются, например, на юго-западе Европы. В то же время для более смуглого четвертого типа кожи с ростом MED пороговые дозы увеличиваются (до 1500-2000 Дж/м²).

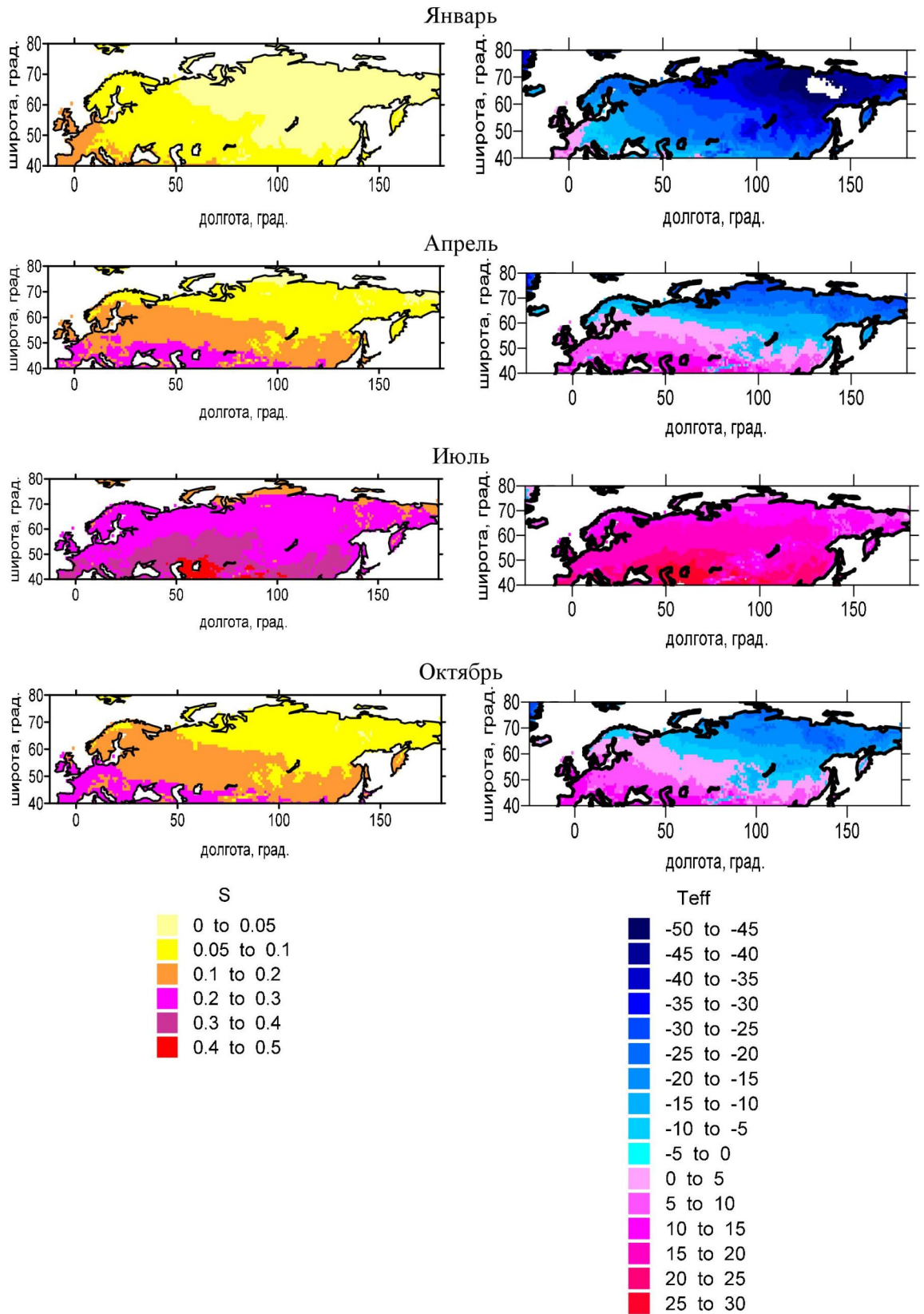


Рисунок 53 — Открытость тела человека и эффективная температура воздуха в центральные месяцы года

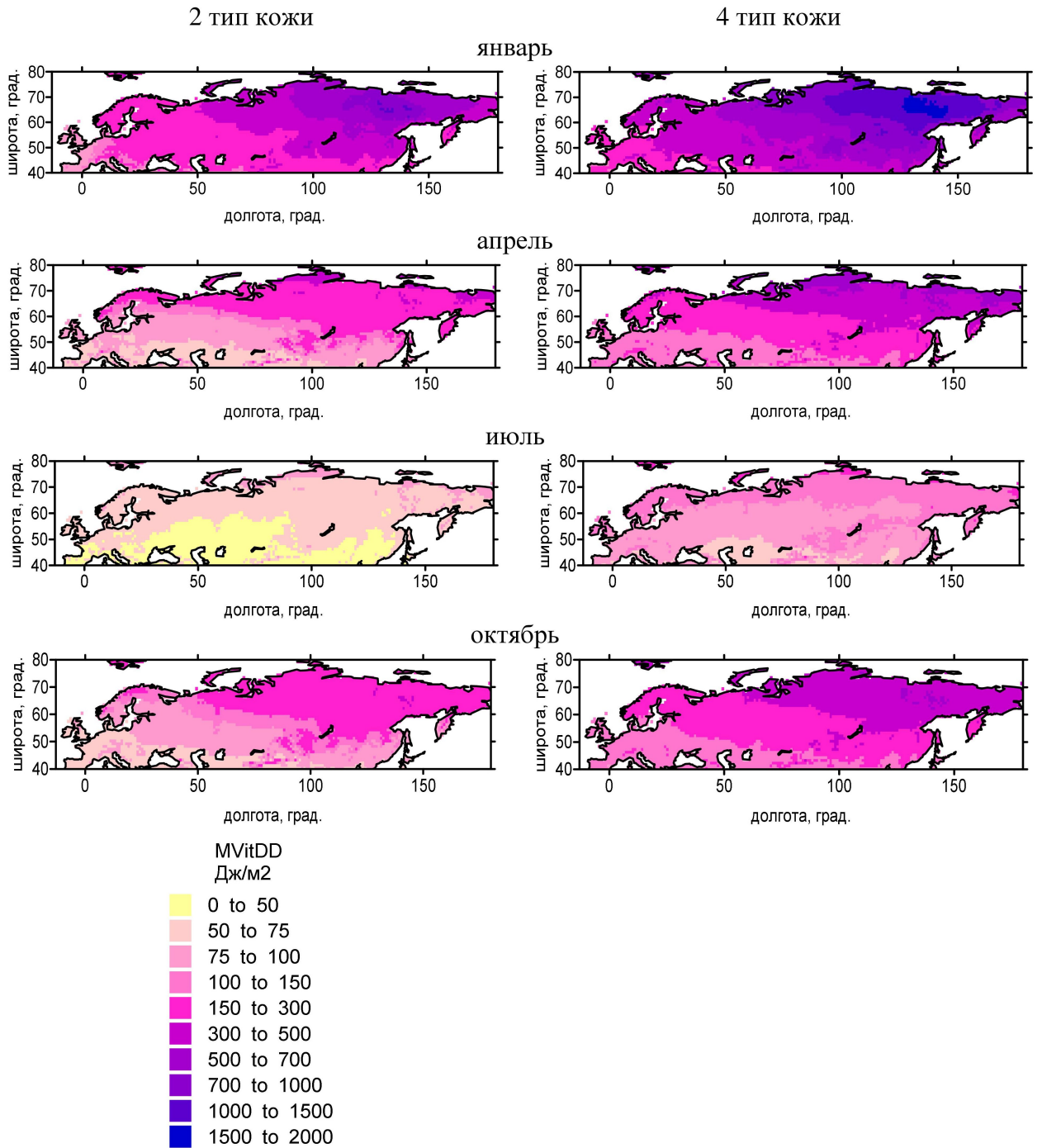


Рисунок 54 — Пороговые значения радиации для образования витамина D в центральные месяцы года

Далее для того, чтобы охарактеризовать влияние УФР на здоровье человека, была разработана **классификация УФ-ресурсов**. В зависимости от того, достигаются или нет пороговые дозы эритемной УФР в течение часа в околополуденное время или в течение суток предложено определять два типа УФ-недостаточности. Если в течение суток невозможно получить пороговую дозу эритемной УФР, необходимую для формирования витамина D, то такие условия определяются как условия **100% УФ-недостаточности**. Условия **полуденной УФ-недостаточности** определяются как условия, при которых невозможно получить такую дозу в течение часа около полудня, но можно в течение суток. **УФ-оптимум** определяется условиями, когда в околополуденное время в течение часа уже возможно получить дозу УФР для формирования витамина D, но величина эритемной УФР не превосходит MED для соответствующего типа кожи. Класс УФ-избыточности подразделяется на несколько подклассов в соответствии с международной классификацией УФ-индексов (UVI). В подклассе **УФ-избыточности средней степени** в околополуденное время доза эритемной УФР соответствует средней категории УФ-индексов по международной классификации для человека со вторым типом кожи (UVI=3-5). В подклассе **УФ-избыточности высокой степени** в околополуденное время доза эритемной УФР соответствует высокой категории УФ-индексов для человека со вторым типом кожи (UVI=6-7), когда в течение часа можно получить примерно 2-3 MED. Подкласс **УФ-избыточности очень высокой степени** соответствует очень высокой категории УФ индексов (UVI=8-10) для человека со вторым типом кожи. Подкласс **УФ-избыточности экстремально высокой степени** соответствует экстремально высоким значениям УФ индексов (UVI=11-15). Соответственные пороговые значения эритемной УФР для разных типов кожи в значениях УФ-индексов пересчитываются с учетом отношения MED. (табл. 14).

Таблица 14 — Верхние границы категорий УФ-ресурсов в значениях УФ-индексов

| Тип кожи | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Полуденная УФ-недостаточность при S=20% и 600 МЕ | 0.7 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.3 |
| УФ-оптимум | 2.2 | 2.8 | 3.3 | 5 | 6.7 | 11.1 |
| УФ-избыточность средней степени | 4.4 | 5.5 | 6.6 | 9.9 | 13.2 | 22 |
| УФ-избыточность высокой степени | 6 | 7.5 | 9 | 13.5 | 18 | 30 |
| УФ-избыточность очень высокой степени | 8.4 | 10.5 | 12.6 | 18.9 | 25.2 | 38.0 |
| УФ-избыточность экстремально высокой степени | 12.5 | 15.5 | 18.6 | 27.9 | 37.2 | 62.0 |

Таким образом, предлагаемая методика определения УФ-ресурсов позволяет охарактеризовать комплексное действие УФ-излучения на человека (образование эритемы и витамина D). До последнего времени анализ закономерностей изменения Q_{ery} и Q_{vitD} проводился отдельно [54, 82, 86, 147, 150, 157].

5.2 Эритемная УФР и УФ-ресурсы в Москве

Проведем оценку УФ-ресурсов в московских условиях по данным многолетних измерений эритемной УФР в Метеорологической Обсерватории МГУ. Подробно процедура составления архива измерений эритемной УФР описана в разделе "Материалы и методы исследования".

Материалы, представленные в главе, были опубликованы в работе: Zhdanova E., Chubarova N., Blumthaler M. Biologically active UV-radiation and UV-resources in Moscow (1999–2013) // Geography. Environment. Sustainability. — 2014. — no. 2. — P. 71–85.

5.2.1 Основные параметры, влияющие на изменения эритемной УФР в Москве

Для оценки влияния основных атмосферных параметров на поступление Q_{ery} к поверхности Земли были использованы данные по общему содержанию озона, полученные спутниковыми приборами TOMS и OMI, по аэрозольной оптической толщине на длине волны 380 нм (АОТ380) – по измерениям AERONET в МО МГУ [56]. По методике, представленной в [57], было рассчитано эффективное облачное пропускание Q_{ery} (CQ) с учетом повторяемости балла облаков различного яруса и дополнительного влияния на величину облачного пропускания альbedo поверхности. Альbedo поверхности, в свою очередь, определялось согласно работе [57] (рисунок 55).

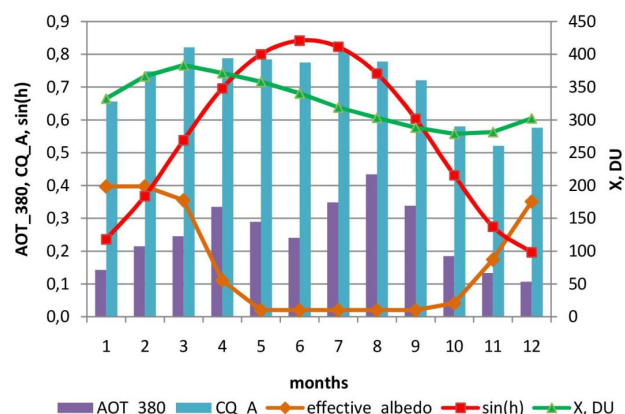


Рисунок 55 — Среднемесячные значения общего содержания озона (X), аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм (АОТ380), эффективного облачного пропускания с учетом влияния альbedo поверхности (CQ_A), синуса высоты Солнца (1999-2013гг.)

5.2.2 Эритемная УФР в Москве

Рассмотрим основные характеристики изменчивости средних месячных значений Q_{ery} в Москве за 15 лет наблюдений за период 1999-2013 гг. На рисунке 56 представлен ярко выраженный сезонный ход средних и экстремальных (минимальных и максимальных) месячных доз Q_{ery} . В годовом ходе максимум средних значений Q_{ery} приходится на июль, минимум - на январь. В среднем, годовая доза Q_{ery} в Москве составляет 433 кДж/м². Июльский, а не июньский максимум, когда наблюдаются максимальные высоты Солнца, связан с несколько меньшим содержанием общего содержания озона и, следовательно, меньшим поглощением Q_{ery} в июле. Выявить роль большего поглощения Q_{ery} в июне по сравнению с июлем помогло сопоставление сезонного хода Q_{ery} с ходом длинноволновой УФ радиацией (300-380 нм), практически не поглощаемой озоном, максимум которой приходится на июнь [6]. Коэффициент вариации месячных доз Q_{ery} (отношение стандартного отклонения к среднему значению) достигает наибольших значений в период с ноября по январь (максимум в декабре - 28%), поскольку в эти месяцы наблюдается большая изменчивость синоптических условий. В теплое время года (с апреля по сентябрь) коэффициент вариации месячных доз Q_{ery} составляет 8-15% (минимум в апреле - 8%) вследствие уменьшения вариаций облачного покрова и озона.

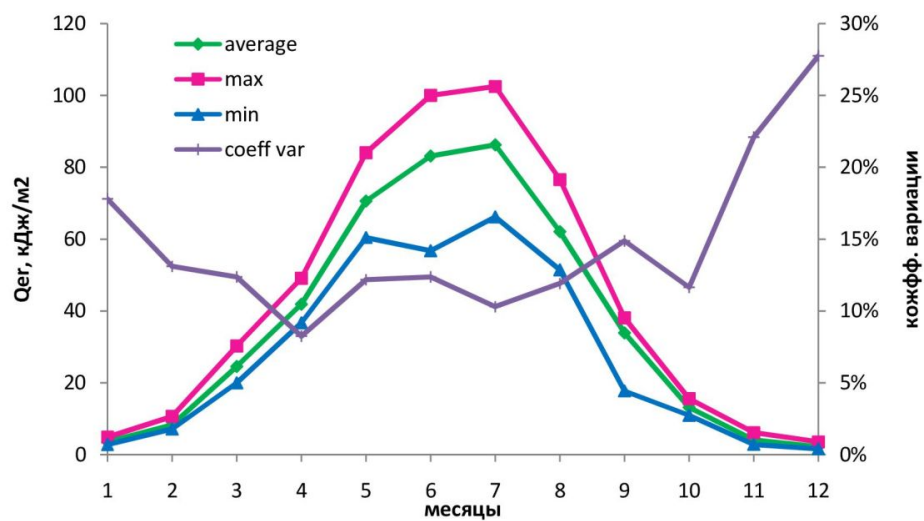


Рисунок 56 — Сезонный ход средних и экстремальных (минимальных и максимальных) и коэффициента вариации месячных доз Q_{ery}

Проанализируем основные статистические параметры суточных доз Q_{ery} . В табл.15 приведены для каждого месяца первые четыре момента распределения (среднее, стандартное отклонение, коэффициенты эксцесса и асимметрии) суточных доз Q_{ery} , а также минимальные и максимальные значения. На рисунке 57 показаны сезонный ход первых четырех моментов распределения для суточных доз Q_{ery} с 95 % доверительными интервалами, полученными с помощью бутстреп-метода [79], который позволяет оценивать доверительные интервалы вне зависимости от типа распределения величины. Значения коэффициента эксцесса с учетом доверительных интервалов суточных доз Q_{ery} значимо больше нуля с ноября по февраль; меньше нуля - с марта по сентябрь. Значения коэффициента асимметрии с учетом доверительных интервалов суточных доз Q_{ery} больше нуля с сентября по апрель; меньше нуля - с мая по август. Такой характер связан преимущественно с изменениями условий облачности в течение года.

Таблица 15 — Статистические характеристики суточных доз эритемной УФР, кДж/м² (среднее, максимум, минимум, стандартное отклонение (SD), коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса)

| месяц | среднее | макс | мин | SD | коэфф. асимметрии | коэфф. эксцесса |
|-------|---------|------|-----|-----|-------------------|-----------------|
| 1 | 113 | 321 | 19 | 55 | 0.91 | 0.58 |
| 2 | 293 | 956 | 37 | 155 | 1.09 | 1.46 |
| 3 | 791 | 2011 | 145 | 385 | 0.50 | -0.51 |
| 4 | 1394 | 2846 | 194 | 579 | 0.06 | -0.71 |
| 5 | 2278 | 4099 | 393 | 823 | -0.17 | -0.64 |
| 6 | 2770 | 4506 | 458 | 869 | -0.44 | -0.42 |
| 7 | 2783 | 4514 | 522 | 808 | -0.47 | -0.20 |
| 8 | 2003 | 3727 | 211 | 729 | -0.20 | -0.55 |
| 9 | 1130 | 2479 | 135 | 496 | 0.13 | -0.46 |
| 10 | 422 | 1191 | 50 | 255 | 0.80 | -0.09 |
| 11 | 136 | 513 | 25 | 85 | 1.23 | 1.37 |
| 12 | 70 | 176 | 15 | 34 | 0.85 | 0.20 |

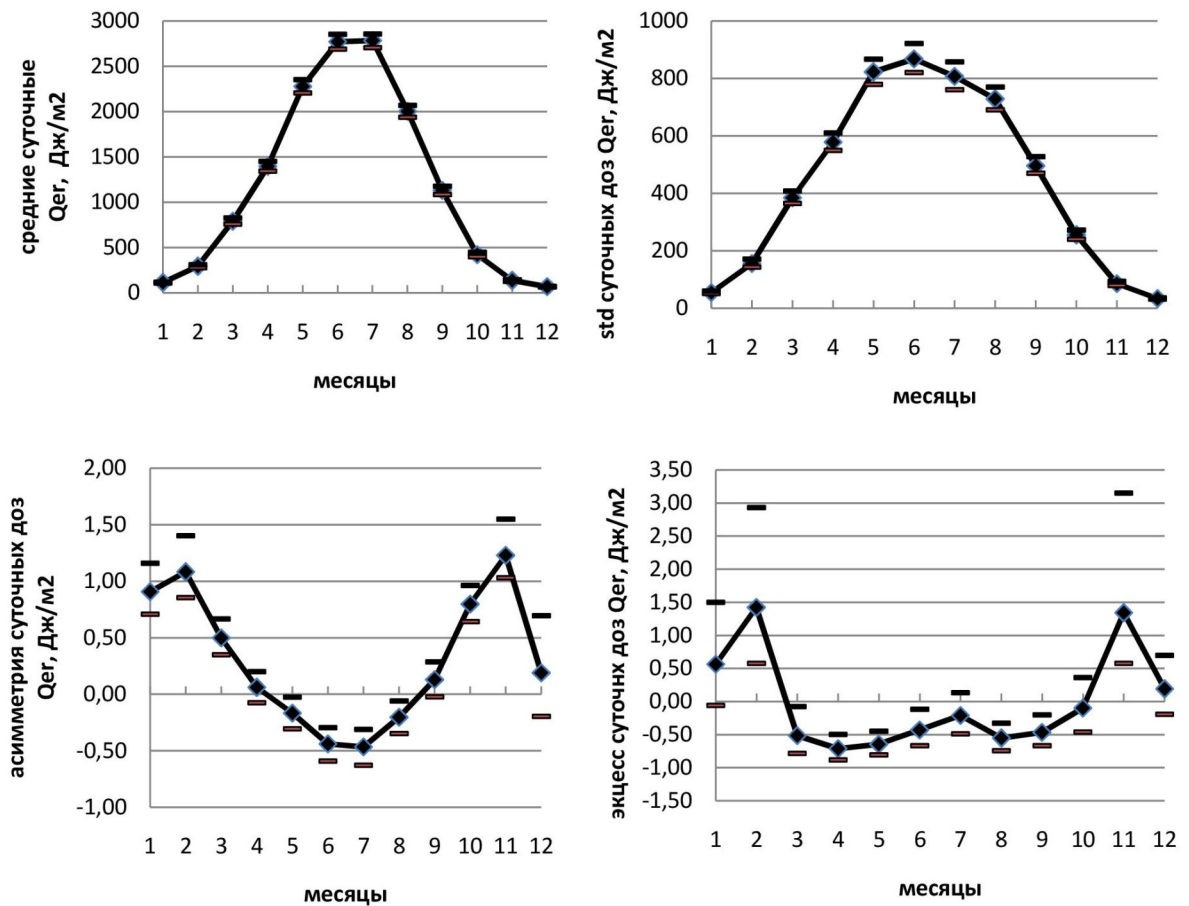


Рисунок 57 — Сезонный ход первых четырех моментов распределения для суточных доз Q_{ery} с 95% доверительными интервалами.

В качестве примера типичных для теплого и холодного периодов на рисунке 58 показаны относительные частоты для суточных доз Q_{ery} , в январе и июле. В январе распределение имеет правостороннюю положительную асимметрию, в июле – отчетливо выраженную левостороннюю. Это во многом объясняется преобладанием плотной облачности зимой с отдельными периодами повышенных значений, и, наоборот, преобладанием малооблачной погоды и более высоких значений Q_{ery} в теплый период года.

Осредненные значения Q_{ery} с часовой дискретностью представлены на рисунке 59. В частности, показаны изоплеты средних значений (а) и стандартных отклонений (б) часовых доз Q_{ery} в зависимости от часа (по солнечному времени) и месяца года. Максимум средних часовых доз приходится на околополуденное время в июле, а максимум стандартного отклонения часовых доз Q_{ery} на июнь, что связано с большими вариациями общего содержания озона и облачности в июне по сравнению с июлем.

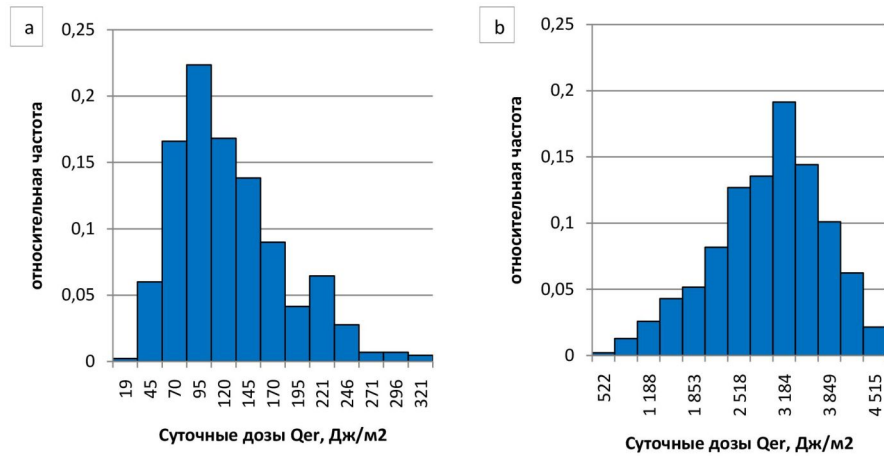


Рисунок 58 – Относительные частоты для суточных доз Q_{ery} , в январе (а) и июле (b), 1999-2013.

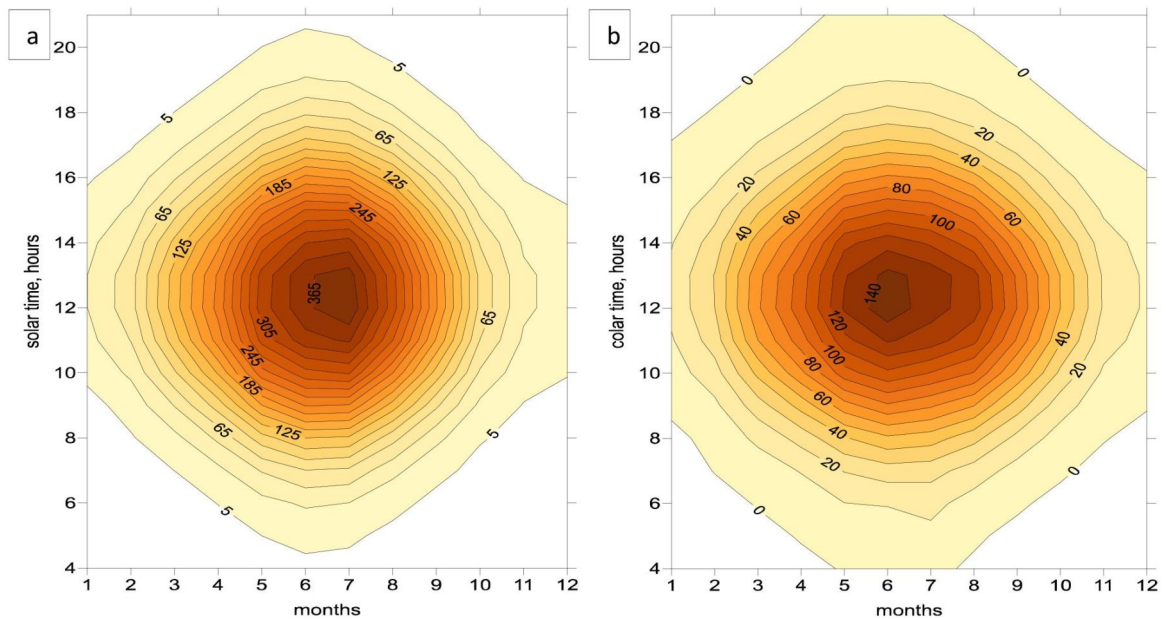


Рисунок 59 – а) средние часовые дозы Q_{ery} (Дж/м2), б) стандартное отклонение часовых доз Q_{ery} (Дж/м2)

В табл. 16 представлены абсолютные максимумы часовых доз Q_{ery} , выраженные в УФ-индексах (UVI). Абсолютный максимум UVI (7.7) был отмечен 27 июня 2004 года, который наблюдался вследствие наличия частичной облачности, которая не закрывала солнечный диск и увеличивала значительно многократное рассеяние УФ-радиации при общем содержании озона 303 ед.Добсона и относительно низкой АОТ340, равной 0.25.

Таблица 16 — Максимальные УФ-индексы (UVI) в Москве

| месяц | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| УФ-индекс | 0.8 | 2.0 | 3.8 | 4.9 | 6.4 | 7.7 | 7.2 | 6.2 | 4.3 | 2.5 | 1.2 | 0.5 |

На рисунке 55 показан сезонный ход основных геофизических параметров, определяющих поступление Q_{ery} к поверхности Земли, а на рисунке 60 потери Q_{ery} за счет этих параметров.

Средние за месяц потери Q_{ery} за счет АОТ380 были получены как относительные разницы между Q_{ery} , рассчитанными с учетом среднемесячных значений АОТ380 и Q_{ery} при АОТ380 = 0. Потери Q_{ery} за счет общего содержания озона (ОСО) рассчитывались как относительные разницы между модельными значениями Q_{ery} , полученными при среднемесячных значениях ОСО и минимальных за месяц ОСО за период 1979-2003 гг.

Основным фактором, определяющий сезонную изменчивость Q_{ery} , является высота Солнца. В то же время вариации других факторов важны при анализе сезонной изменчивости Q_{ery} . Среднее за год ослабление Q_{ery} за счет поглощения озоном составило 30%. Максимальное ослабление Q_{ery} за счет поглощения озоном отмечается в феврале и марте - 44%, что согласуется с сезонным ходом общего содержания озона (рисунок 55). Среднее за год ослабление Q_{ery} за счет ослабления облачностью составило 29%. Потери Q_{ery} за счет ослабления облачностью максимальны в ноябре - 48% в связи с усилением циклонической деятельности в осенний период. Потери Q_{ery} за счет аэрозольного ослабления по сравнению с безаэрозольной атмосферой составляет 7% в среднем за год, достигает наибольших значений в апреле и августе, порядка 10% (рисунок 60), что определяется годовым ходом АОТ380, который определяется весенним максимумом, связанным со сходом снежного покрова и увеличением запыленности воздуха, а также максимумом, приходящимся на вторую половину лета, связанным с накоплением и формированием вторичного аэрозоля, и ростом повторяемости дымового аэрозоля за счет лесных пожаров (рисунок 55). Альbedo поверхности может играть существенную роль в увеличении Q_{ery} при наличии снежного покрова. По оценкам [4] рост Q_{ery} в безоблачных условиях за счет переотражения от поверхности составляет 17% относительно альbedo, равного нулю.

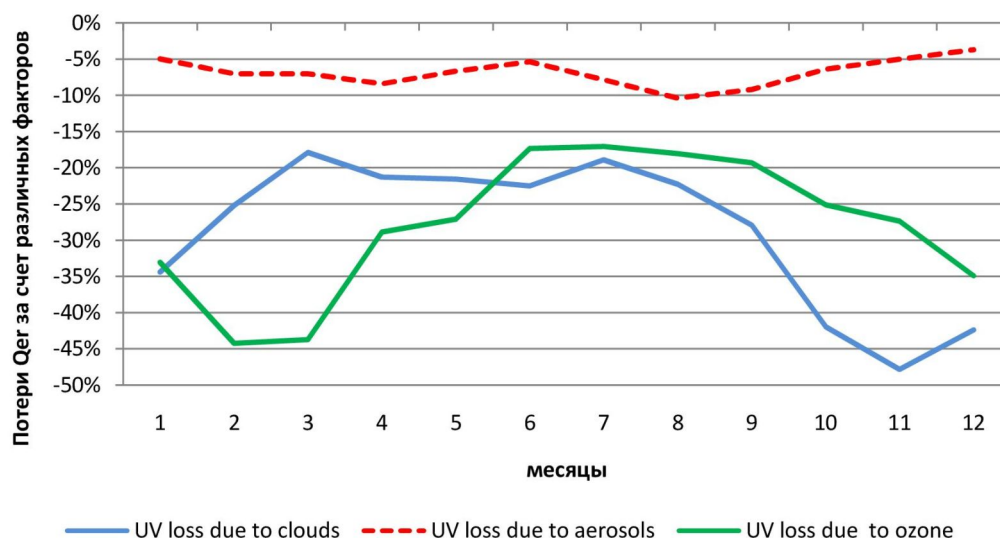


Рисунок 60 — Относительные потери Q_{ery} за счет общего содержания озона (total ozone content), облачности (cloud transmission) и аэрозолей (aerosols).

Сезонные потери Q_{ery} в Москве за счет основных факторов за рассмотренный период 1999-2013 гг. и за период 1999-2006 гг., исследованный в [57], качественно совпадают, однако, существуют небольшие количественные отличия. Например, потери Q_{ery} за счет ослабления аэрозолями за более короткий период измерений больше (максимум 12-15% в июле-сентябре) по сравнению с более длинным периодом наблюдений (максимум 8-10% в июле-сентябре). Это свидетельствует о тенденции очищения атмосферы и меньшего аэрозольного эффекта в последние годы. За счет облачности в последние годы увеличились потери радиации в марте, ноябре и декабре на 3-6% и несколько уменьшились - в июне (3%).

5.2.3 УФ-ресурсы в Москве

Для оценки УФ-ресурсов в московских условиях для каждого дня года за период 1999-2013 гг. были выбраны максимальные часовые дозы Q_{ery} , которые чаще всего соответствуют околополуденным часам, суточные дозы Q_{ery} и рассчитаны пороговые значения радиации, необходимые для образования витамина D и эритемы. Для расчета пороговых значений для образования витамина D использовались ежедневные данные измерений температуры воздуха на высоте 2 метра и скорости ветра на высоте 10 метров в срок 12 часов по зимнему московскому времени. Таким образом, были определены категории

УФ-ресурсов для каждого дня за период 1999-2013 гг.

Повторяемость различных категорий УФ-ресурсов для каждого месяца года для рассматриваемых типов кожи была рассчитана как:

$$V_k = N(k)/N, \quad (38)$$

где $N(k)$ - число дней, соответствующее определенной категории УФ-ресурсов, $N = 15 \cdot n$, n - число дней в месяце, 15 - число лет измерений.

На рисунке 61 представлена вероятность категорий УФ-ресурсов во все месяцы года. Поскольку каждому типу кожи соответствует определенная минимальная эритемная доза (MED), наблюдаемые вероятности категорий УФ-ресурсов для разных типов кожи будут отличаться.

Зимой для всех типов кожи характерна УФ-недостаточность, за исключением 1-ого типа кожи, для которого в феврале есть небольшая вероятность УФ-оптимума. Отличительной особенностью декабря является практически абсолютная 100-% УФ-недостаточность для всех типов кожи.

Весной происходит переход от УФ-недостаточности к категориям УФ-оптимума и даже УФ-избыточности. Уже в марте могут наблюдаться условия УФ-оптимума для всех типов кожи, а для 1-ого и 2-ого типа кожи даже возможно проявление средней УФ-избыточности в последней декаде, когда высоты Солнца уже превышают 35 градусов. В апреле вероятность условий УФ-оптимума и избыточности для всех типов кожи возрастает. Для 1-ого типа кожи преобладает избыточность средней степени - 66%, для 2-ого типа кожи равновероятны условия УФ-оптимума и средней УФ-избыточности, для 3-его типа кожи УФ-оптимум - 63%, УФ- избыточность - 25%, для 4-ого типа кожи УФ-оптимум - 80%. В мае для 1-ого типа характерны условия УФ-оптимума и УФ-избыточности, возможно даже высокой степени, для 2-ого типа возможно существование условий высокой УФ-избыточности, но преобладает УФ-избыточность средней степени 75%, для 3-ого типа кожи также преобладают условия УФ-избыточности средней степени - 72%, для 4-ого типа кожи характерен УФ-оптимум - 76%.

Летом для всех типов кожи увеличивается вероятность УФ-избыточности и отсутствия условий УФ-недостаточности. В августе опасность УФ-излучения по сравнению с остальными летними месяцами снижается. УФ- оптимум для 4-ого типа кожи в августе достигает 84%.

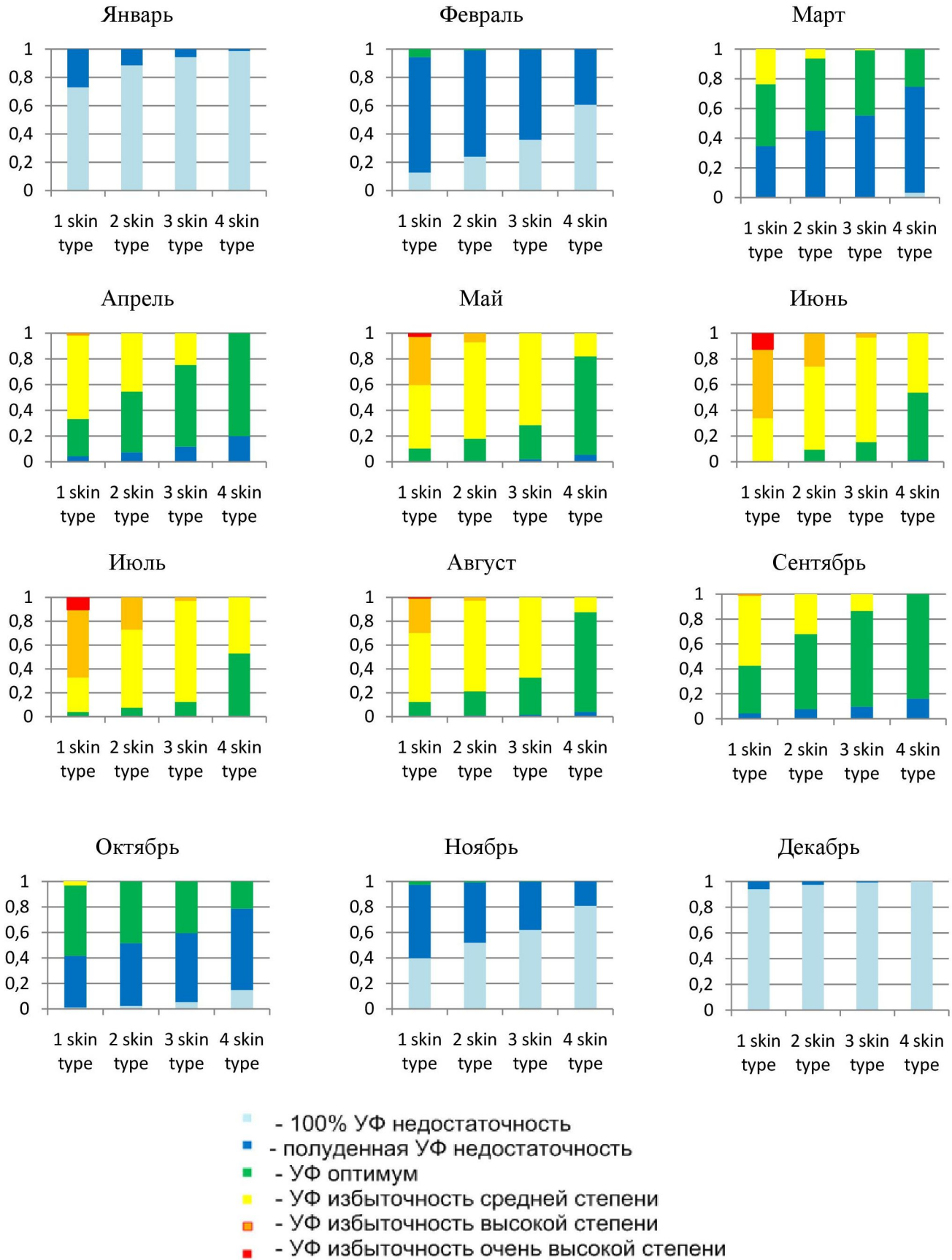


Рисунок 61 — Повторяемость УФ-ресурсов для различных типов кожи в Москве

Осенью вновь начинают проявляться условия УФ-недостаточности. В сентябре для 2-ого и 3-ого типов кожи могут наблюдаться условия полуденной УФ-недостаточности, УФ-оптимума и средней УФ-избыточности, причем условия УФ-оптимума преобладают для 2-4 типов кожи: 2-ой - 60%, 3-ий - 77%, 4-ый - 84%, а для 1-ого типа преобладают условия средней УФ-избыточности - 57%. В октябре опасность УФ-излучения не обнаружена для 2-4 типов кожи. В ноябре для всех типов кожи наблюдались условия УФ-недостаточности.

Отметим, что предложенная методика определения пороговых значений УФ-радиации, необходимых для образования витамина D, не является единственной, а существуют различные методики определения этих пороговых значений. В [150] выбран порог по величине радиации на 3-х длинах волн с учетом реальных медицинских экспериментов в Бостоне, США. В результате также было обнаружено, что витамин D не образуется зимой на широтах выше 50 градусов. В то же время тестирование предложенного метода показало, что его применение также не приводит к образованию витамина D в зимние месяцы в этих широтах [61]. Пороговое значение полученное по экспериментам в Бостоне [150], было использовано для исследования возможности образования витамина D в трех городах Thessaloniki, Greece (41°N), Bilthoven, The Netherlands (52°N), Jokioinen, Finland (61°N) [54]. Заметим, что здесь для определения эффективной дозы витамина D используется непосредственно кривая действия образования витамина D [43]. Было выявлено, что по пороговым значениям из [150] в Bilthoven (52°N), не образуется витамин D у людей с 1-3 типами кожи с середины ноября до середины февраля, что согласуется с нашими результатами для московских условий. В [100] с помощью математической модели изменчивости витамина D за счет УФ-радиации показано, что достаточные дозы витамина D могут не образовываться в организме человека даже летом в Бельске, Польша (52°N). По оценкам работы [86], где в качестве порогового значения для образования витамина D используется величина взвешенной УФ-радиации [43], равная 106 Дж/м² эфф, витамин D образуется у людей со вторым типом кожи на широте 54°N в Северной Америке в течение всего года. Следовательно, последние исследования противоречат друг другу.

Следует также добавить, что образование витамина D в коже конкретного человека, как и образование эритемы, определяется многими факторами, свя-

занными с особенностями человека. К ним относятся, в частности, возраст, продолжительность пребывания и характер поведения на улице. Учет этих факторов возможно будет осуществить в будущем.

Отметим также, что полученные среднемесячные значения УФ-ресурсов соответствуют оценкам УФ-ресурсов по модельным расчетам с привлечением спутниковых данных для ближайшей к Москве точки сетки в средних облачных условиях [61], что свидетельствует о возможности применения предлагаемого метода оценки УФ-ресурсов совместно с разработанными базами данных для территории Северной Евразии.

Поскольку Москва расположена в достаточно высоких широтах, важно выяснить когда в данном регионе создаются условия УФ-недостаточности, т.е. такие условия, когда поступающей УФР недостаточно для образования витамина D.

Рассмотрим условия, когда наблюдается УФ-недостаточность для человека со вторым типом кожи с учетом рекомендованной ежедневной дозы витамина D 1000 ME. В качестве доли открытости тела человека (S в долях единицы) выберем следующие значения: 0.09 (открыты лицо и шея), 0.25 (открыты руки и лицо) и 1 (открыто все тело). В соответствии с предлагаемым методом пороговые значения эритемной радиации для образования витамина D при таких степенях открытости кожи составят $M_{vitD1} = 278 \text{ Дж/м}^2$, $M_{vitD2} = 100 \text{ Дж/м}^2$ и $M_{vitD3} = 25 \text{ Дж/м}^2$, соответственно.

Дополнительно рассмотрим порог 25% MED на 25% тела. Для второго типа кожи при открытости 25% доза эритемной радиации для образования необходимого количества витамина D при этом составляет 62.5 Дж/м^2 (по рекомендациям [63]). А также рассмотрим пороговые значения эритемной УФР для образования витамина D, которые определяются степенью открытости тела, зависящей от эффективной температуры воздуха.

На рисунке 62 представлены часовые дозы эритемной УФР для каждого дня года, полученные по измерениям в МО МГУ в околорассветное время (11-12 часов солнечного времени) и усредненные за период 1999-2013 годы по данным радиационного архива версии 3. Серыми кривыми показано стандартное отклонение для доз эритемной УФР.

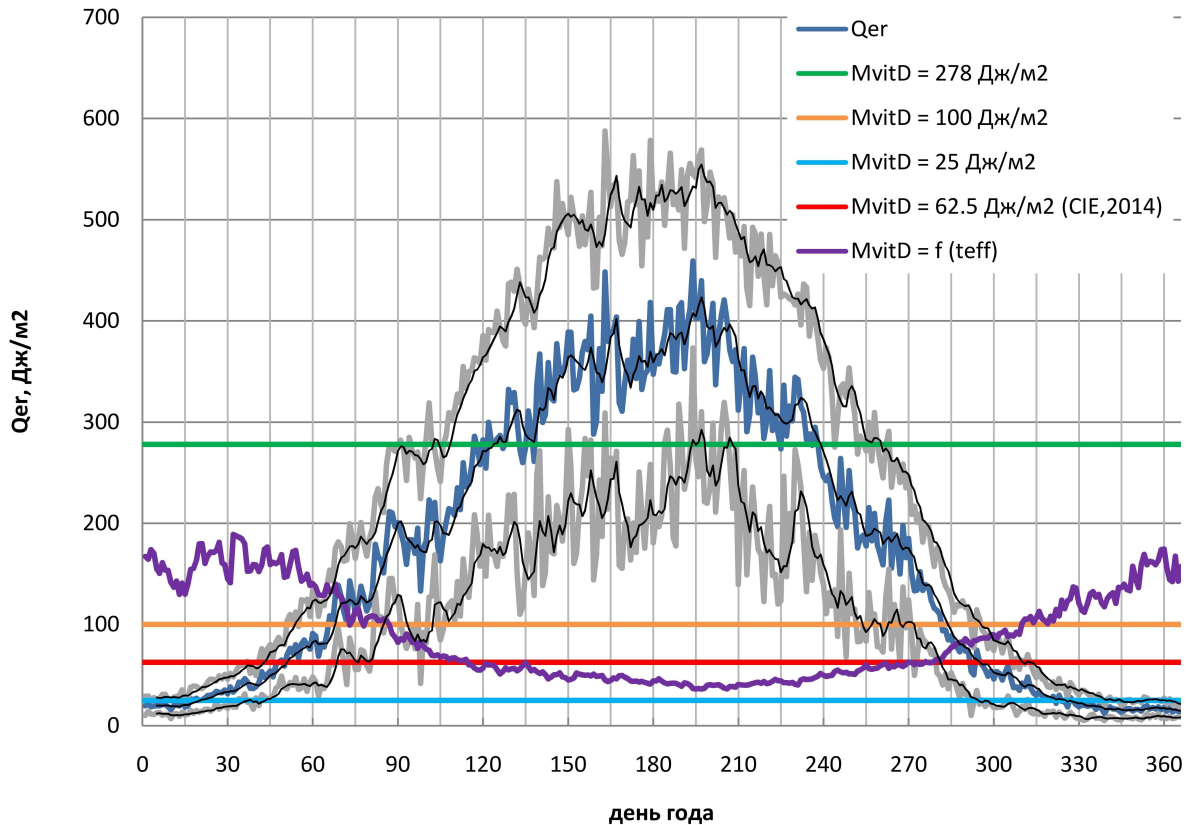


Рисунок 62 — Климатология околополуденных часовых (11-12 часов солнечного времени) доз эритемной УФР в Москве 1999-2013гг. Серыми кривыми показано стандартное отклонение для доз эритемной УФР. Зеленая, оранжевая, голубая, красная и фиолетовая кривые - пороговые дозы УФР для образования витамина D

Закономерно, что чем больше открытость тела человека, тем меньше пороговое значение радиации, необходимое для образования достаточного количества витамина D. При открытости тела человека $S = 1$ УФ-недостаточность в среднем наблюдается в январе-декабре; при $S = 0.25$ - с середины октября по начало марта, при $S = 0.09$ - с августа по конец апреля. При $M_{vitD} = 62.5$ Дж/м² период УФ-недостаточности - с конца октября по середину февраля. При $M_{vitD}(f(teff))$ период УФ-недостаточности - с середины октября по середину марта.

Отметим, что уменьшение открытости тела человека приводит к тому, что нельзя получить необходимую дозу радиации для образования витамина D (при $S=0.09$, $M_{vitD} = 278$ Дж/м²), не получив 1 MED (для второго типа кожи 1 MED составляет 250 Дж/м²).

На рисунке 63 показаны доли дней в процентах, в которые наблюдаемые часовые суммы были выше, чем пороговые значения радиации для образо-

вания витамина D, для каждого месяца, усредненные значения для периода 1999-2013гг. Доля дней, равная 65% указывает на то, что 20 дней в месяце благоприятны для образования витамина D. Для степени открытости $S=0.09$ возможность образования витамина D за счет поглощения УФР существует с апреля по сентябрь, а доля дней свыше 65% наблюдается с мая по август. Для степени открытости $S=0.25$ возможность образования витамина D за счет поглощения УФР существует с февраля по октябрь, а доля дней свыше 65% наблюдается с марта по сентябрь. Во все дни месяца благоприятные условия для образования витамина D при $S=0.09$ могут быть в июне и июле, а при $S=0.25$ - в мае-августе.

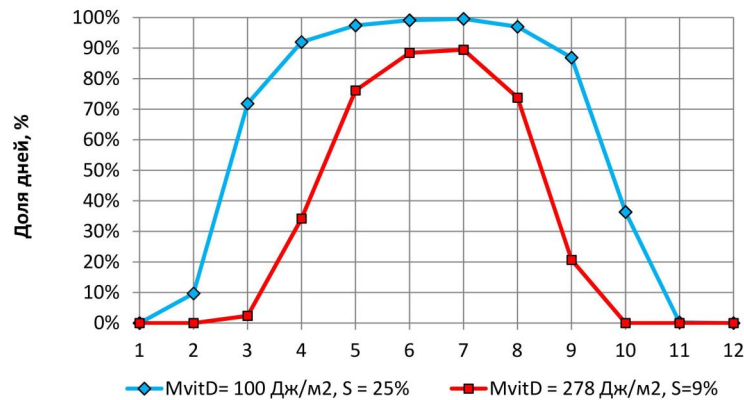


Рисунок 63 — Доля дней в процентах, в которые наблюдаемые часовые суммы были выше, чем пороговые значения эритемной радиации для образования витамина D, для каждого месяца, усредненные значения для периода 1999-2013гг.

5.3 УФ-ресурсы в безоблачных условиях на территории Северной Евразии

Оценим УФ-ресурсы на территории Северной Евразии. С этой целью для каждого месяца года было рассчитаны часовые и суточные дозы эритемной УФР (рисунок 64).

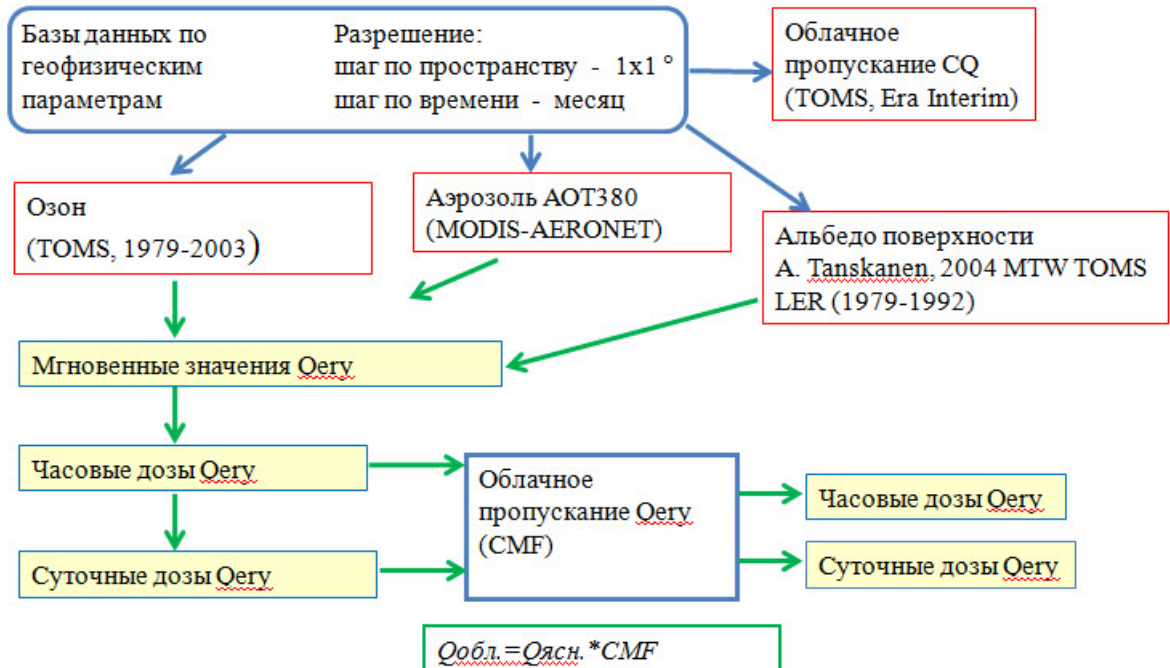


Рисунок 64 — Схема расчета эритемной УФР

Затем полученные дозы эритемной УФР для каждой точки сравнивались с пороговыми значениями радиации для образования эритемы и витамина D, которые зависят от типа кожи и степени ее открытости (рисунок 65).

На рисунке 66 и 67 показаны распределения УФ-ресурсов на территории Евразии для всех месяцев года для двух типов кожи: 2-ого, характерного для населения Европейской территории России, и 4-ого, более характерного для населения Азиатской территории.

Видно, что распределения УФ-ресурсов испытывают существенные сезонные изменения. Для 2-ого типа кожи, который более чувствителен к воздействию УФР, на территории Евразии наблюдаются в течение года категории от 100-% УФ-недостаточности до УФ-избыточности очень высокой степени. Для 4-ого типа кожи условия УФ-избыточности не наблюдаются.



Рисунок 65 — Схема расчета УФ-ресурсов

Распределения УФ-ресурсов в безоблачных условиях определяются изменениями высоты Солнца, географическим распределением ОСО, аэрозоля и альbedo поверхности, а также изменениями степени открытости тела человека. В безоблачных условиях основным геофизическим фактором, определяющим распределение УФ-ресурсов на территории Евразии, является поле общего содержания озона.

В зимние месяцы года границы областей УФ-недостаточности на территории Азии сдвинуты в южные широты по сравнению с территорией Европы, что связано с более низкими эффективными температурами и большим содержанием озона в Азии.

Рассмотрим распределение УФ-ресурсов для второго и четвертого типов кожи в течение всех месяцев года. В таблицах 17 и 18 приведено процентное распределение категорий УФ-ресурсов на рассматриваемой территории для каждого месяца. Проценты показывают, какое количество узлов на пространственной сетке 1 на 1 градус занято определенной категорией УФ-ресурсов.

В январе условия УФ-недостаточности преобладают на территории Евразии для обоих типов кожи. Условия 100-% УФ-недостаточности наблюдаются в 50% и 70% узлов сетки для второго и четвертого типов кожи, соответственно. Условия полуденной УФ-недостаточности наблюдаются в 44% и 30% узлов сетки для второго и четвертого типов кожи, соответственно.

Таблица 17 — Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, безоблачные условия 2 тип кожи.

| мес | 100% УФ-недо- статочность | Полуденная УФ-недоста- точность | УФ-оптимум | УФ-избы- точность средней степени | УФ-избы- точность высокой степени | УФ-избы- точность очень высокой степени |
|-----|---------------------------------|---------------------------------------|------------|--|--|---|
| 1 | 50 | 44 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 41 | 44 | 14 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 13 | 47 | 14 | 26 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 25 | 19 | 48 | 8 | 0 |
| 5 | 0 | 2 | 2 | 66 | 27 | 4 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 49 | 37 | 13 |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 48 | 32 | 18 |
| 8 | 0 | 0 | 16 | 50 | 26 | 8 |
| 9 | 0 | 10 | 42 | 40 | 8 | 0 |
| 10 | 12 | 38 | 33 | 17 | 0 | 0 |
| 11 | 34 | 44 | 23 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 48 | 44 | 2 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 18 — Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, безоблачные условия 4 тип кожи.

| мес | 100% УФ-недо- статочность | Полуденная УФ-недоста- точность | УФ-оптимум | УФ-избы- точность средней степени |
|-----|---------------------------------|---------------------------------------|------------|--|
| 1 | 70 | 30 | 0 | 0 |
| 2 | 57 | 39 | 5 | 0 |
| 3 | 25 | 53 | 22 | 0 |
| 4 | 0 | 45 | 40 | 15 |
| 5 | 0 | 12 | 48 | 39 |
| 6 | 0 | 1 | 39 | 60 |
| 7 | 0 | 3 | 56 | 42 |
| 8 | 0 | 28 | 58 | 14 |
| 9 | 0 | 28 | 58 | 14 |
| 10 | 27 | 39 | 34 | 0 |
| 11 | 50 | 42 | 8 | 0 |
| 12 | 69 | 31 | 0 | 0 |

Условия УФ-оптимума возможны лишь для второго типа кожи на территории Италии и Испании и занимают лишь 5% узлов сетки, что связано с

наблюдаемым в данном районе меньшим общим содержанием озона.

В феврале области УФ-оптимума расширяются. Для второго типа кожи области УФ-оптимума охватывает 14% узлов сетки, занимая территорию Западной Европы и широты южнее 45 градусов в Азии. Для четвертого типа кожи области УФ-оптимума занимают 5%, охватывая районы южнее 50 градусов на европейской территории.

В марте уже проявляются условия УФ-избыточности средней степени. Для второго типа кожи условия УФ-избыточности средней степени формируются южнее 50 градусов с.ш, занимая 26% узлов сетки. Ширина области УФ-оптимума уменьшается в направлении с запада на восток, что связано с увеличением общего содержания озона и альbedo поверхности в направлении к востоку. Расширение области УФ-избыточности в районе 60-70 градусов в.д. обусловлено понижением общего содержания озона. Для четвертого типа кожи область 100-% УФ-недостаточности занимает 25%, полуденной УФ-недостаточности - 53%, а УФ-оптимума - 22% узлов сетки.

В апреле условия полуденной УФ-недостаточности наблюдаются в 25% узлов сетки для второго типа кожи и 45% для четвертого типа кожи. Для второго типа кожи границы области полуденной УФ-недостаточности сдвинуты к 70 с.ш. на западе и 62 с.ш. на востоке. Наблюдаемый сдвиг объясняется большим ОСО на востоке и большей открытостью тела человека на западе рассматриваемой территории. Отметим, что в апреле уже нет территорий, где наблюдаются условия 100-% УФ-недостаточности. Для второго типа кожи условия УФ-оптимума на широтах существуют на широтах 58-70 градусов. Расширение области УФ-избыточности к северу обусловлено высокими значениями альbedo поверхности в районах с сохранившимся снежным покровом. Расширение области полуденной УФ-недостаточности на востоке связано с уменьшением степени открытости тела человека, что увеличивает пороговую дозу для образования витамина D. Кроме того на северо-востоке Евразии наблюдаются повышенные значения ОСО. УФ-избыточность наблюдается на 56% узлов сетки. Для четвертого типа кожи области УФ-оптимума занимает более обширную площадь от 42 до 65 градусов, границы которой определяются распределением общего содержания озона и степени открытости тела человека. УФ-избыточность средней степени наблюдается в 15% узлов сетки.

В мае для второго типа кожи практически на всей территории наблюда-

ются условия УФ-избыточности (УФ-избыточность средней степени - 66%, УФ-избыточность высокой степени - 27%, УФ-избыточности очень высокой степени - 4%). Условия УФ-недостаточности и УФ-оптимума наблюдаются лишь в 4% узлов сетки, севернее 70 градусов с.ш. Для четвертого типа кожи преобладают условия УФ-оптимума 48%, условия УФ-избыточности средней степени представлены в 39% узлов сетки. Полуденная УФ-недостаточность наблюдается в 12% узлов сетки.

В июне и июле условия УФ-недостаточности не существуют на территории Евразии. Для второго типа кожи преобладают условия УФ-избыточности, для четвертого типа кожи условия УФ-оптимума и УФ-избыточности средней степени. Вследствие субширотного распределения ОСО распределение УФ-ресурсов также имеет широтный характер. Форма границы между УФ-избыточностью высокой и очень высокой степени для второго типа кожи определяется распределением АОТ.

В августе для второго типа кожи расширяется область УФ-оптимума (16%), которая занимает широты 68-80 градусов. УФ-избыточность занимает 50% узлов сетки. Для четвертого типа кожи преобладают условия УФ-оптимума и УФ-избыточности. Граница между ними проходит по широте 55 градусов.

В сентябре для второго типа кожи УФ-ресурсы на территории Евразии изменяются от полуденной УФ-недостаточности до УФ-избыточности высокой степени. Преобладают условия УФ-оптимума (42%) и УФ-избыточности (40%). Характер границы между областью УФ-недостаточности и УФ-оптимума определяется изменениями альbedo поверхности, а между УФ-оптимумом и УФ-избыточностью в районах Каспийского и Аральского морей - изменениями АОТ. Для четвертого типа кожи доминирующими являются условия УФ-оптимума (58%), на втором месте расположены условия УФ-недостаточности 28%.

В октябре условия полуденной УФ-недостаточности являются преобладающими для обоих типов кожи (50% и 66%, соответственно). Для второго типа кожи условия 100-% УФ-недостаточности севернее 70 с.ш. в центральных частях континента и севернее 65 с.ш. на востоке, что связано с увеличением ОСО и уменьшением степени открытости тела человека к востоку. Условия УФ-оптимума занимают (33%) и расположены к югу от 60 с.ш. на западе и югу от 51 с.ш. на востоке. 17% территории характеризуются усло-

виями УФ-избыточности средней степени. Для четвертого типа кожи условия УФ-избыточности не наблюдаются и границы зон УФ-ресурсов сдвинуты на 5-10 градусов к югу по сравнению со вторым типом кожи.

В ноябре для второго типа кожа доминируют условия УФ-недостаточности 78%, условия УФ-оптимума занимают 33%. Для четвертого типа кожи 92% узлов сетки занимают условия УФ-недостаточности. Проявляется характерный наклон границ областей УФ-ресурсов с севера-запада на юго-восток, связанный с сезонной перестройкой поля общего содержания озона.

В декабре условия УФ-оптимума занимают лишь 2% узлов сетки только для второго типа кожи (территории европейской части южнее 45 с.ш.)

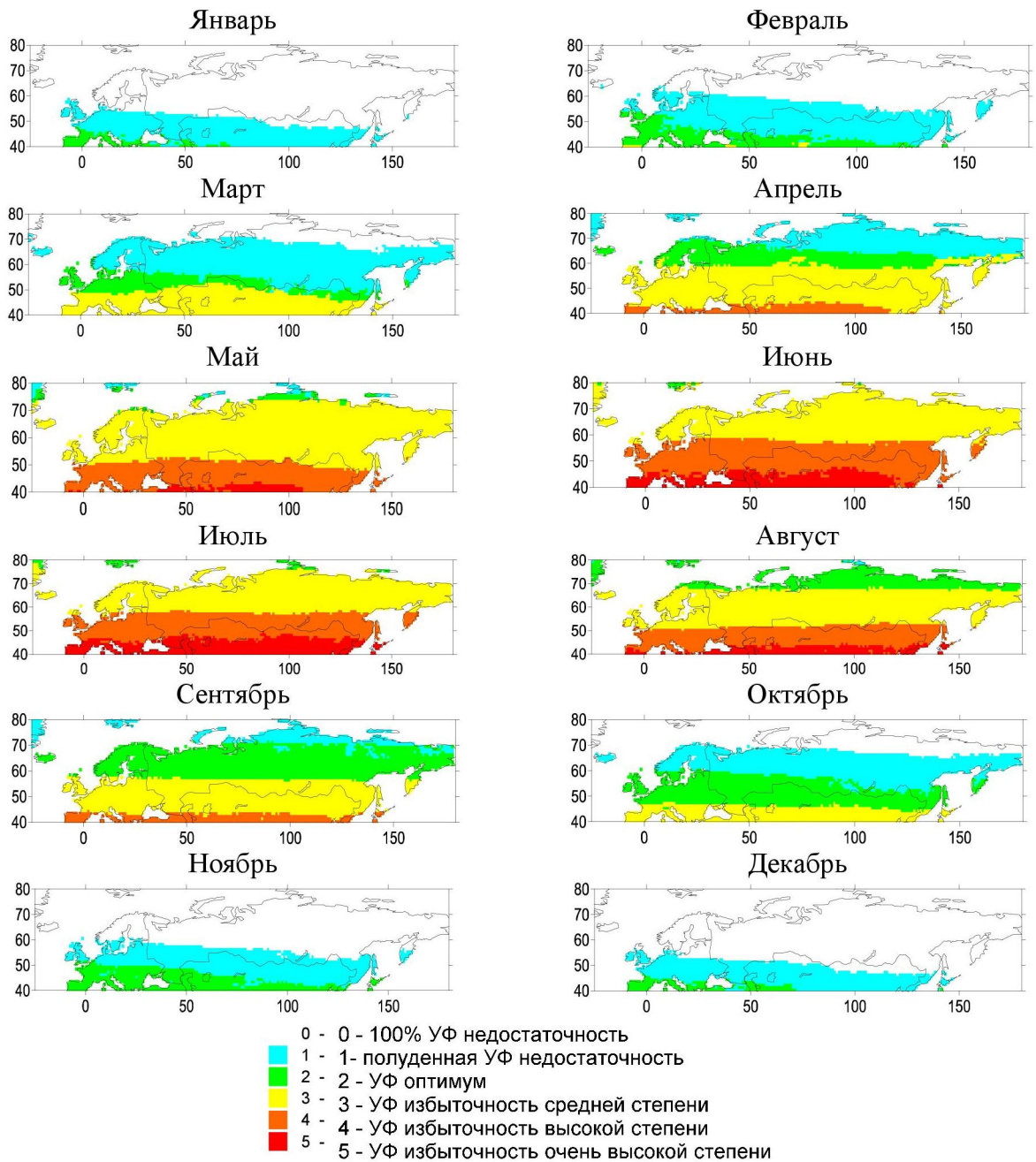


Рисунок 66 — УФ-ресурсы в безоблачных условиях для второго типа кожи

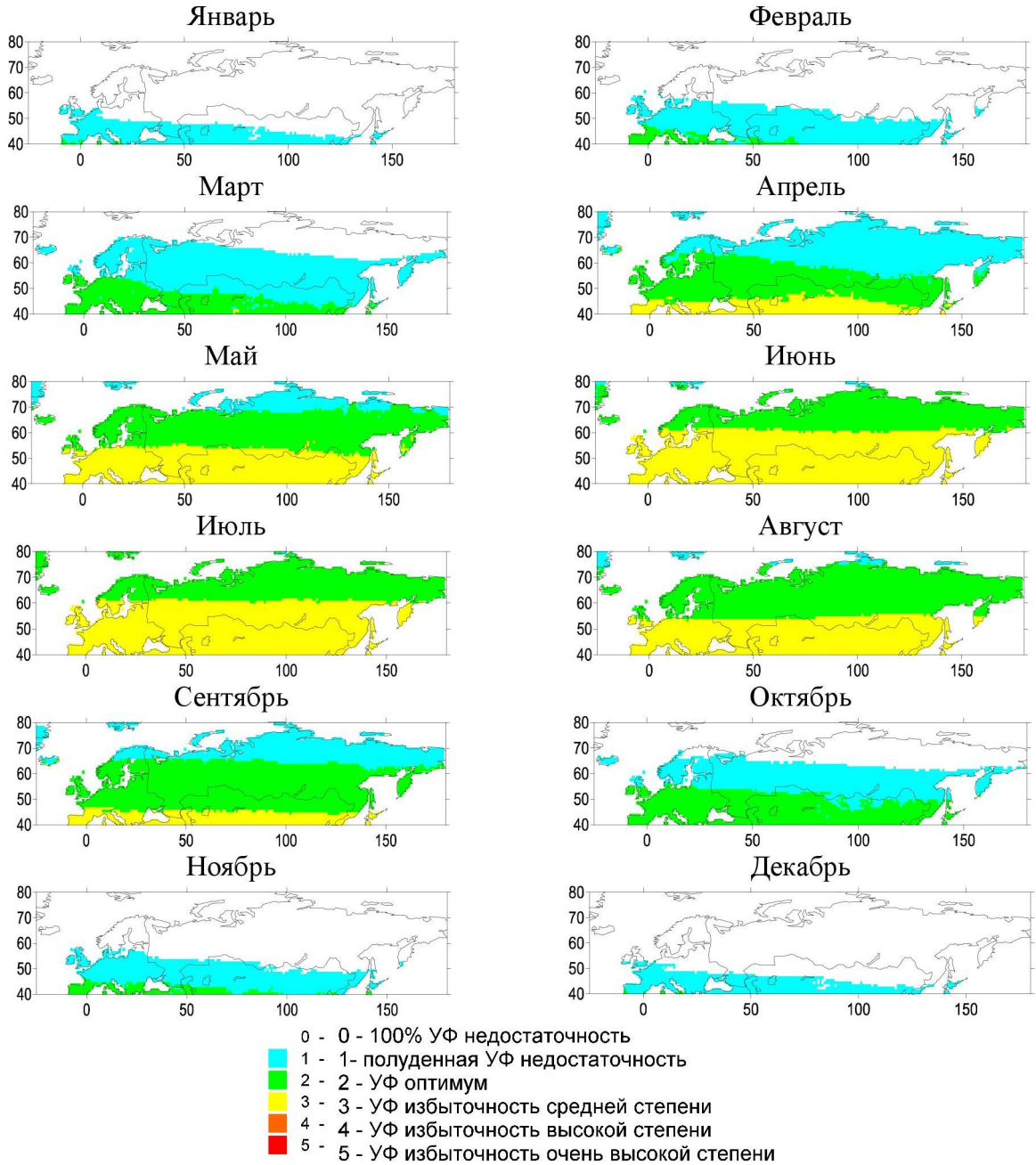


Рисунок 67 — УФ-ресурсы в безоблачных условиях для четвертого типа кожи

5.4 УФ-ресурсы в средних облачных условиях на территории Северной Евразии

На картах УФ-ресурсов влияние облачности приводит к сдвигу границ категорий УФ-ресурсов к югу по сравнению с ясными условиями, и форма границ между различными категориями УФ-ресурсов изменяется (рисунки 68 и 69).

В январе для второго типа кожи 66% узлов сетки занято областью 100-% УФ-недостаточности, а 32% полуденной УФ-недостаточности. Граница области полуденной УФ-недостаточности расположена южнее на территории Азии (около 45 с.ш.), чем на европейской территории (около 55с.ш. в районе Великобритании), что связано, во-первых, с более низкими температурами воздуха, а следовательно, с меньшей долей открытости тела человека, во-вторых, с большими значениями ОСО в азиатском регионе, связанными с развитием Алеутского минимума. Условия УФ-оптимума наблюдаются только на территории Испании и Италии, что объясняется большим приходом радиации в низких широтах, большими значениями облачного пропускания в этих районах. Для четвертого типа кожи господствуют условия УФ-недостаточности (100-% УФ-недостаточность 84% и полуденная УФ-недостаточность 16%) (табл. 19, 20).

В феврале зона 100-% УФ-недостаточности сокращается, занимая теперь 53% узлов сетки, полуденная УФ-недостаточность - 39%, расширяется зона УФ-оптимума - 8%.

В марте для второго типа кожи на широтах южнее 50 с.ш. уже возможны условия УФ-избыточности. Условия УФ-недостаточности по-прежнему доминируют, составляя для второго типа кожи 70%, для четвертого - 87%.

В апреле УФ-недостаточность занимает 37% узлов сетки для второго типа кожи и 56% для четвертого типа кожи. Условия УФ-оптимума занимают 27% и 43% для второго и четвертого типа кожи, соответственно. Для второго типа кожи характерна более обширная зона УФ-избыточности средней степени (34%) по сравнению с четвертым типом кожи (3%). Расширение области УФ-избыточности и сдвиг УФ-оптимума к северу в районе 50-70 в.д. связано как с меньшими значениями ОСО, так и с высоким облачным пропусканием в данном районе.

Таблица 19 — Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, средние облачные условия 2 тип кожи.

| мес | 100% УФ-недо- статочность | Полуденная УФ-недоста- точность | УФ-оптимум | УФ-избы- точность средней степени | УФ-избы- точность высокой степени | УФ-избы- точность очень высокой степени |
|-----|---------------------------------|---------------------------------------|------------|--|--|---|
| 1 | 66 | 32 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 53 | 39 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 25 | 45 | 21 | 9 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 35 | 27 | 34 | 1 | 0 |
| 5 | 0 | 10 | 23 | 56 | 10 | 0 |
| 6 | 0 | 1 | 8 | 71 | 18 | 3 |
| 7 | 0 | 0 | 17 | 60 | 18 | 4 |
| 8 | 0 | 2 | 41 | 42 | 15 | 1 |
| 9 | 0 | 23 | 46 | 29 | 2 | 0 |
| 10 | 25 | 36 | 32 | 7 | 0 | 0 |
| 11 | 46 | 40 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 64 | 34 | 2 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 20 — Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, средние облачные условия 4 тип кожи.

| мес | 100% УФ-недо- статочность | Полуденная УФ-недоста- точность | УФ-оптимум | УФ-избы- точность средней степени |
|-----|---------------------------------|---------------------------------------|------------|--|
| 1 | 84 | 16 | 0 | 0 |
| 2 | 69 | 30 | 1 | 1 |
| 3 | 38 | 49 | 14 | 0 |
| 4 | 8 | 47 | 43 | 3 |
| 5 | 0 | 23 | 60 | 17 |
| 6 | 0 | 3 | 70 | 28 |
| 7 | 0 | 2 | 69 | 29 |
| 8 | 0 | 8 | 70 | 22 |
| 9 | 3 | 43 | 50 | 5 |
| 10 | 39 | 36 | 24 | 0 |
| 11 | 61 | 36 | 2 | 0 |
| 12 | 82 | 18 | 7 | 0 |

В мае для второго типа кожи на юге создаются условия для существования УФ-избыточности высокой степени. Распределение условий УФ-оптимума

в Азии носит спорадический характер, что связано с изменениями облачного пропускания УФР, обусловленными распределением альбедо поверхности. Для второго типа кожи доминирует УФ-избыточность средней степени, занимающая 56% узлов сетки.

Для четвертого типа кожи в период май-август УФ-ресурсы на рассматриваемой территории представлены УФ-оптимумом и УФ-избыточностью средней степени, причем УФ-оптимум доминирует.

В июне и июле для второго типа кожи преобладает УФ-избыточность средней степени (71% и 60%). В августе для второго типа кожи УФ-оптимум занимает 41% и УФ-избыточность средней степени 42%. На Дальнем Востоке для второго типа кожи область УФ-избыточности сдвинута к северу вследствие увеличения облачного пропускания УФР.

В сентябре для второго типа кожи условия УФ-оптимума являются доминирующими (46%), области УФ-недостаточности и УФ-избыточности составляют 23% и 29%, соответственно. Для четвертого типа кожи существуют условия УФ-оптимума и полуденной УФ-недостаточности.

В октябре еще наблюдаются условия УФ-избыточности на юге для второго типа кожи. Условия УФ-недостаточности наблюдаются на большей части территории для обоих типов кожи. Для четвертого типа кожи 100-% УФ-недостаточность наблюдается на 39% узлов сетки.

В ноябре условия УФ-оптимума для второго типа существуют на 13%, и 2% узлов сетки для четвертого типа кожи.

В декабре для обоих типов кожи господствуют условия УФ-недостаточности, лишь 2% узлов сетки для второго типа кожи заняты условиями УФ-оптимума.

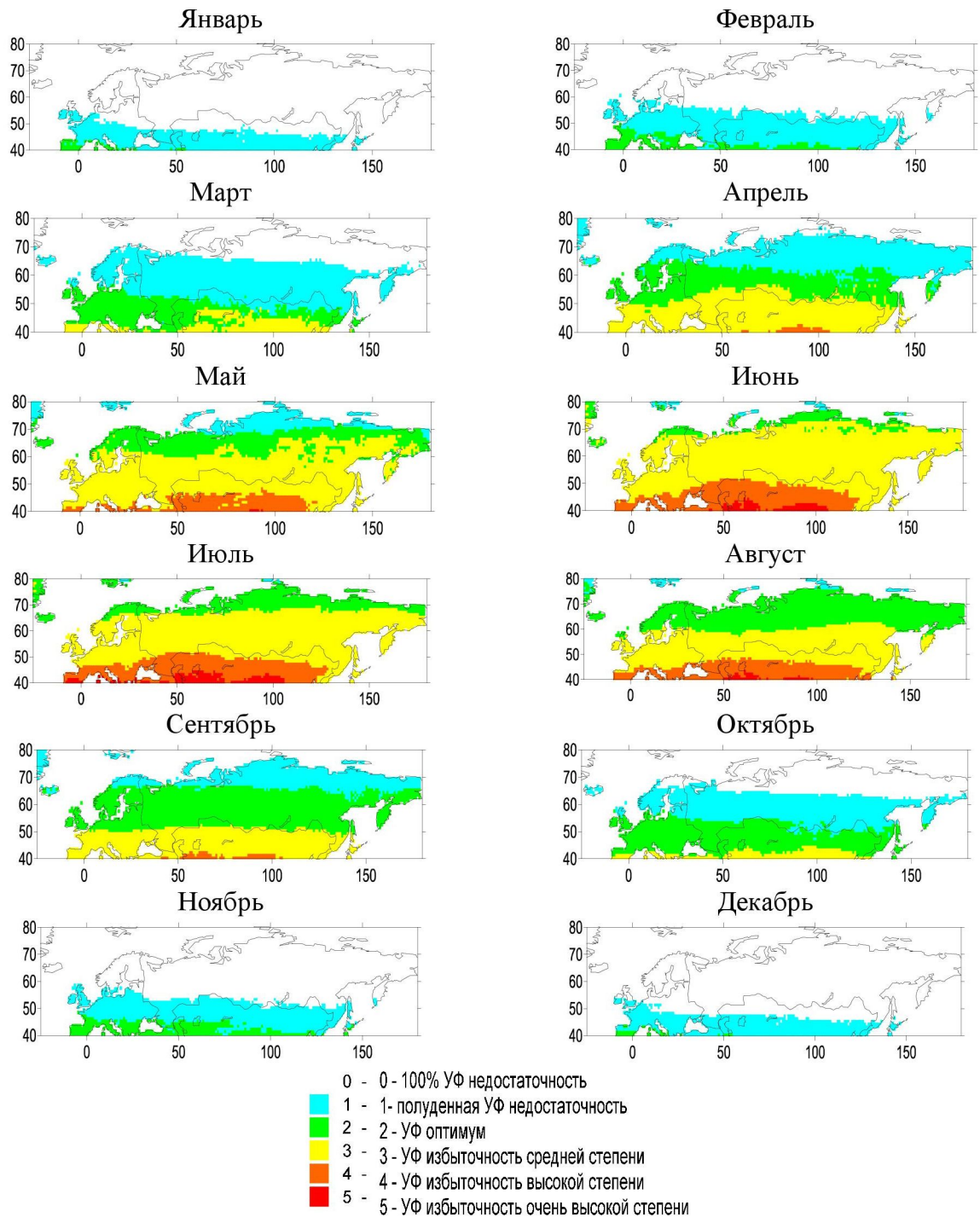


Рисунок 68 — УФ-ресурсы в средних облачных условиях для второго типа кожи

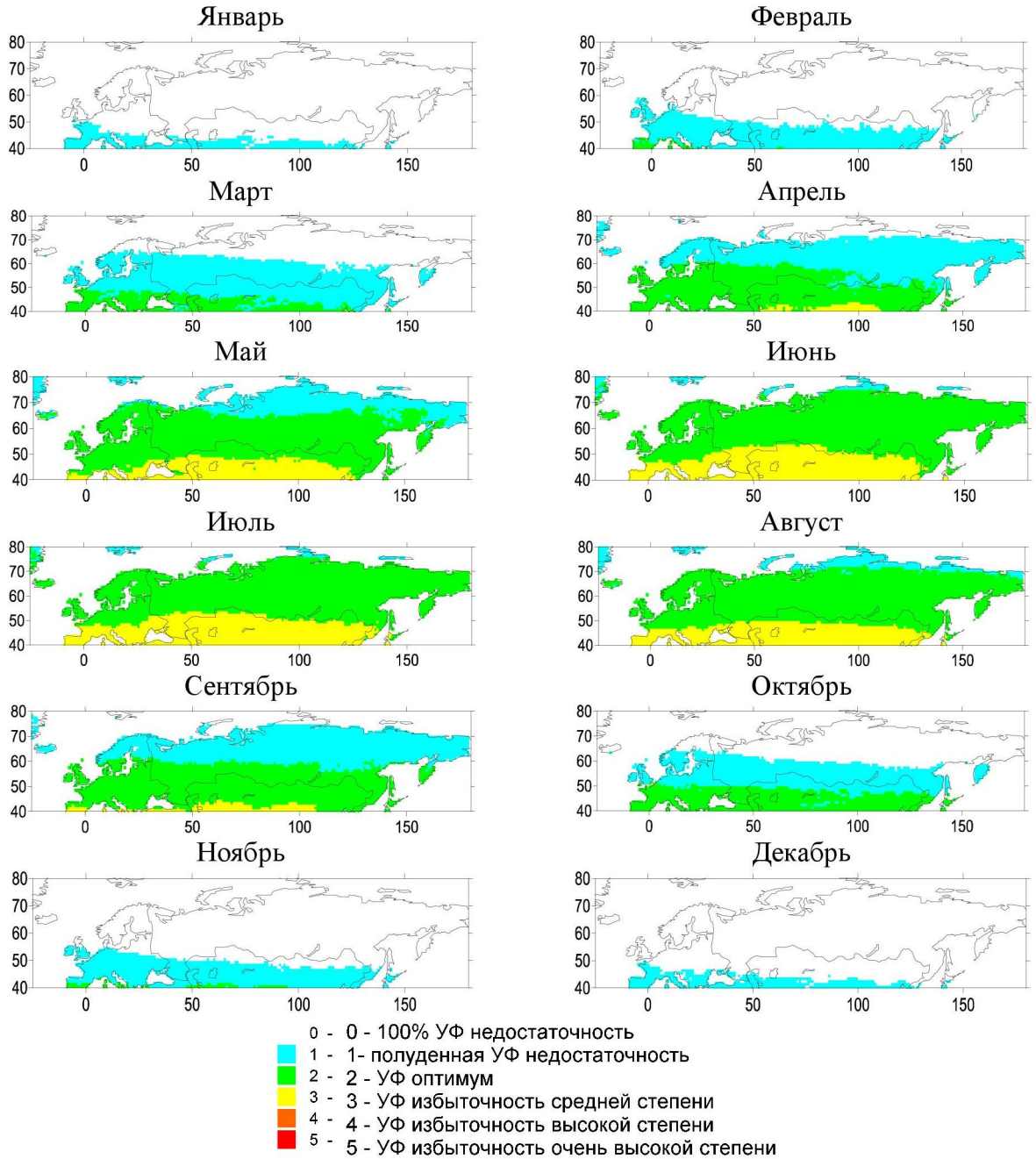


Рисунок 69 — УФ-ресурсы в средних облачных условиях для четвертого типа кожи

Для определения вклада облачности в изменение категорий УФ-ресурсов приведем разности категорий УФ-ресурсов в ясных и средних облачных условиях. Ослабление УФР за счет облачности приводит к снижению опасности УФР для здоровья человека. Для второго типа кожи средние облачные условия могут привести к изменению УФ-ресурсов на 1-2 категории. Для рассматриваемой территории изменение УФ-ресурсов на 2 категории наблюдается с февраля по август, в остальные месяцы УФ-ресурсы изменялись на 1 категорию для второго типа кожи и на 1 категорию во все месяцы года для четвертого типа кожи.

На рисунке 70 и 71 показано, как изменяется распределение УФ-ресурсов в средних облачных условиях по сравнению с ясными условиями для второго и четвертого типов кожи. На картах цветом отмечены те точки, в которых изменение категорий УФ-ресурсов произошло, и отражены УФ-ресурсы в средних облачных условиях, а белый цвет свидетельствует о том, что изменение категории УФ-ресурсов за счет влияния облачности не произошло. Видно, что в холодное время года облачность приводит к увеличению площадей, занятых УФ-недостаточностью, а в теплое время года смягчает опасность УФ-радиации для здоровья человека.

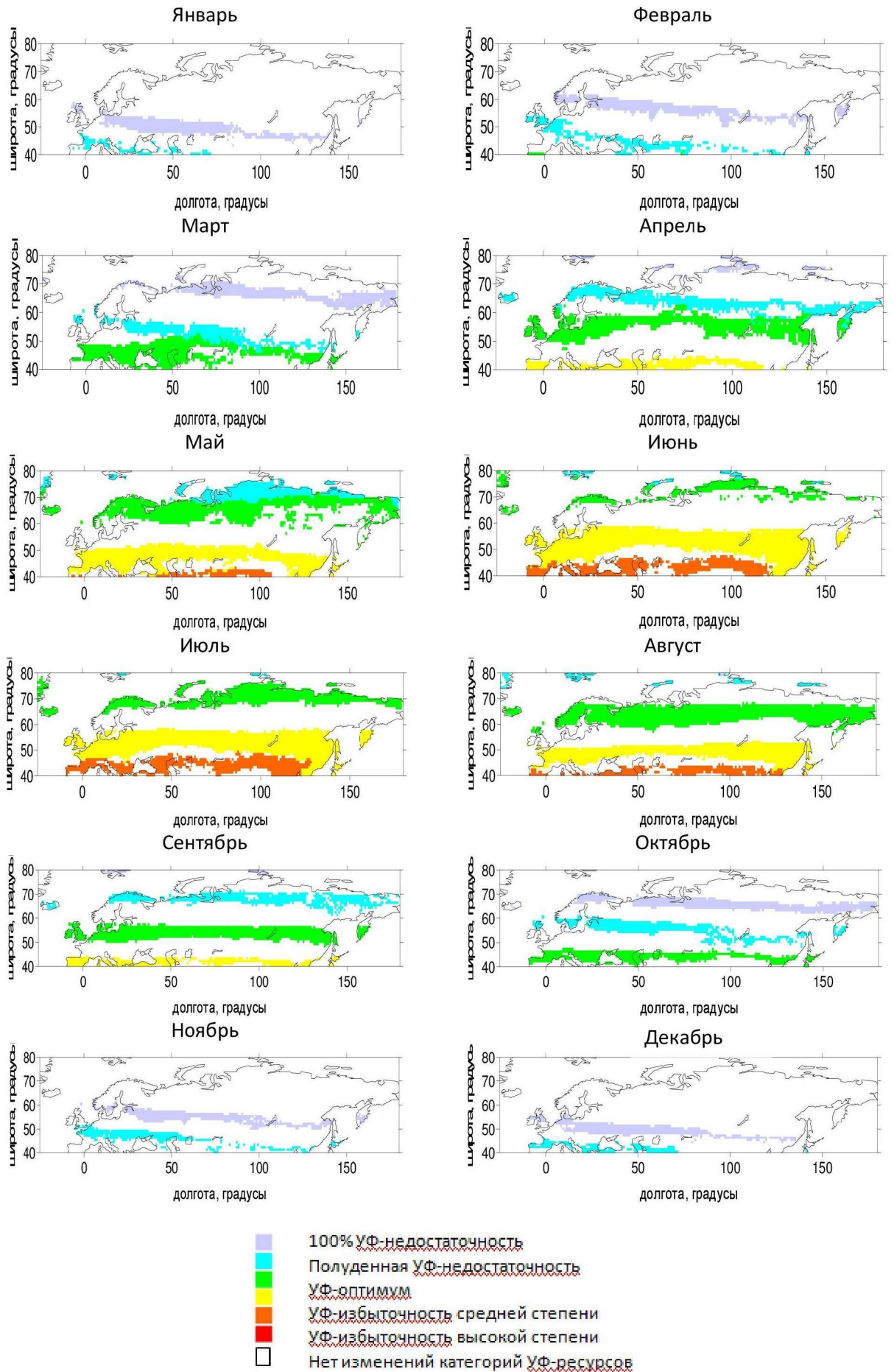


Рисунок 70 — Вклад облачности в изменение категорий УФ-ресурсов для второго типа кожи

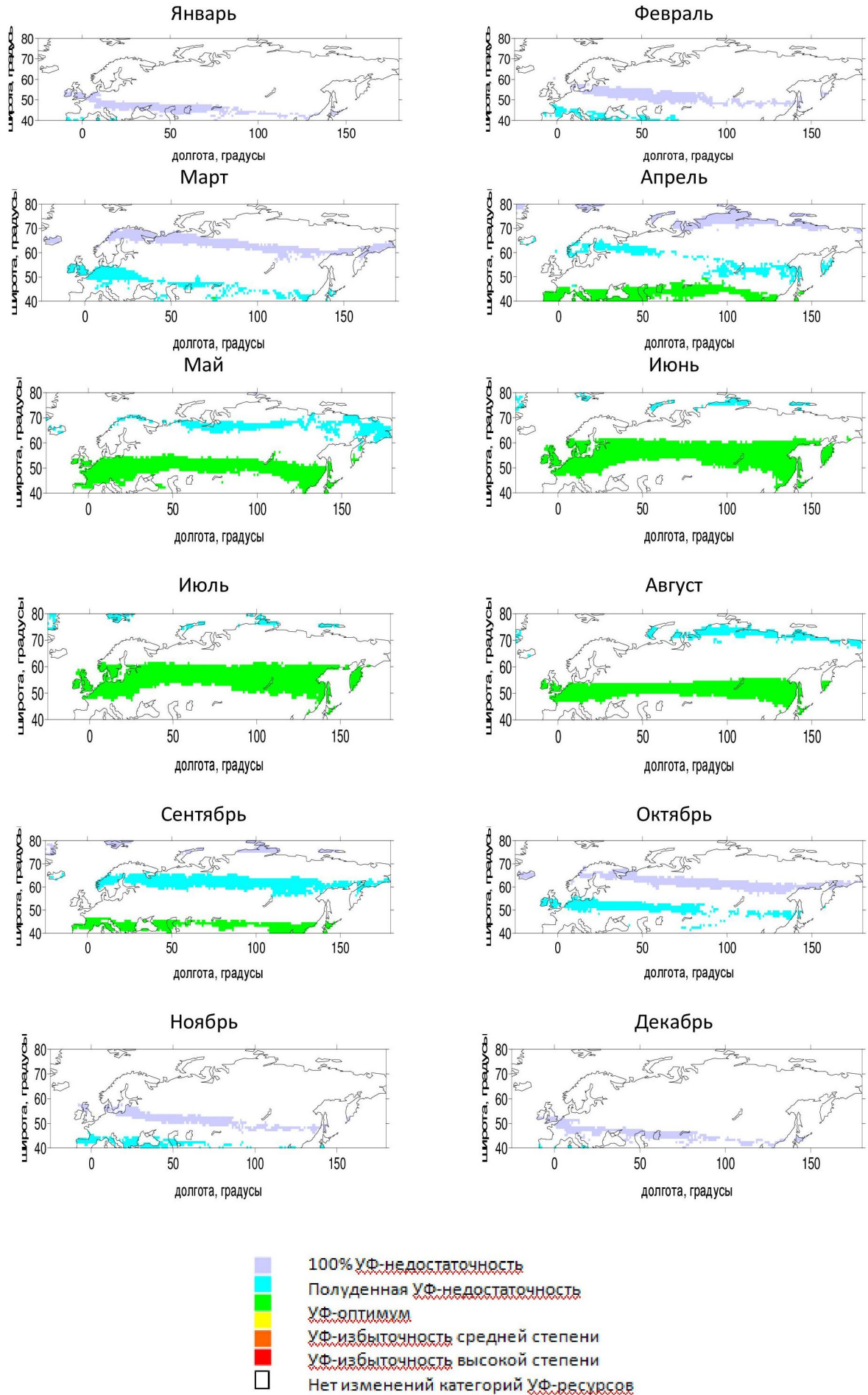


Рисунок 71 — Вклад облачности в изменение категорий УФ-ресурсов для четвертого типа кожи

5.5 Распределение УФ-оптимума для различных типов кожи человека на территории Северной Евразии

Рассмотрим отдельно как в центральные месяцы сезонов года в средних облачных условиях распределены условия УФ-оптимумов для различных типов кожи (рисунок 72). Будем считать, что наиболее благоприятные условия создаются того, когда в одной точке в одно время наблюдаются УФ-оптимумы для большего числа типов кожи. Из рисунка 72 видно, что условия УФ-оптимума могут существовать для пяти типов кожи одновременно. Однако такие условия существуют редко, только в октябре в 2% одноградусных ячеек для людей с типами кожи 1-5. Между тем ситуации, когда одновременно наблюдаются условия УФ-оптимума для трех или четырех типов кожи более часты. Например, в июле условия УФ-оптимума для типов кожи 2, 3, 4 и 5 наблюдаются одновременно в 12% одноградусных ячеек, а для типов кожи 4, 5, 6 - в 40% одноградусных ячеек.

В январе условия УФ-недостаточности преобладают почти всех типов кожи. Только на территории южной Европы наблюдаются условия УФ-оптимума для 1,2 и 3 типов кожи. Для этой области наблюдается сдвиг к югу в восточной части, что связано с увеличением ОСО и уменьшением открытости тела человека.

В апреле 70% одноградусных ячеек Северной Евразии характеризуется условиями УФ-оптимума, между тем наблюдается разница в распределении УФ-оптимума для различных типов кожи. УФ-оптимум для четырех типов кожи одновременно наблюдается в 9% одноградусных ячеек, в основном, в Европе. В тоже время, около 40% условия УФ-оптимума одновременно наблюдаются для трех или четырех типов кожи. Заметно, что условия УФ-оптимума занимают большую площадь на западе, чем на востоке Евразии. Пространственное распределение условий УФ-оптимума для различных типов кожи коррелируют с распределением самих типов кожи: светлый тип кожи на севере и темный тип кожи на юге. Также наблюдается сдвиг условий УФ-оптимума на юг Дальнего Востока в связи с повышенным ОСО.

В июле более 40% одноградусных ячеек характеризуются одновременно условиями УФ-оптимума для 4, 5 и 6 типов кожи, 20% одноградусных ячеек - условиями УФ-оптимума для 5 и 6 типов кожи. В целом, наблюдается широтное распределение условий УФ-оптимума для различных типов кожи.

В октябре условия УФ-оптимума наблюдаются на 45% одноградусных ячеек Северной Евразии с существенным сдвигом к югу на востоке континента вследствие уменьшения открытости тела человека и увеличения ОСО. Одновременно условия УФ-оптимума наблюдаются для 1-4 и 1-5 типов кожи (45-52 градусов с.ш.). Условия УФ-оптимума для 6 типа кожи наблюдаются только южнее 42 градусов с.ш.

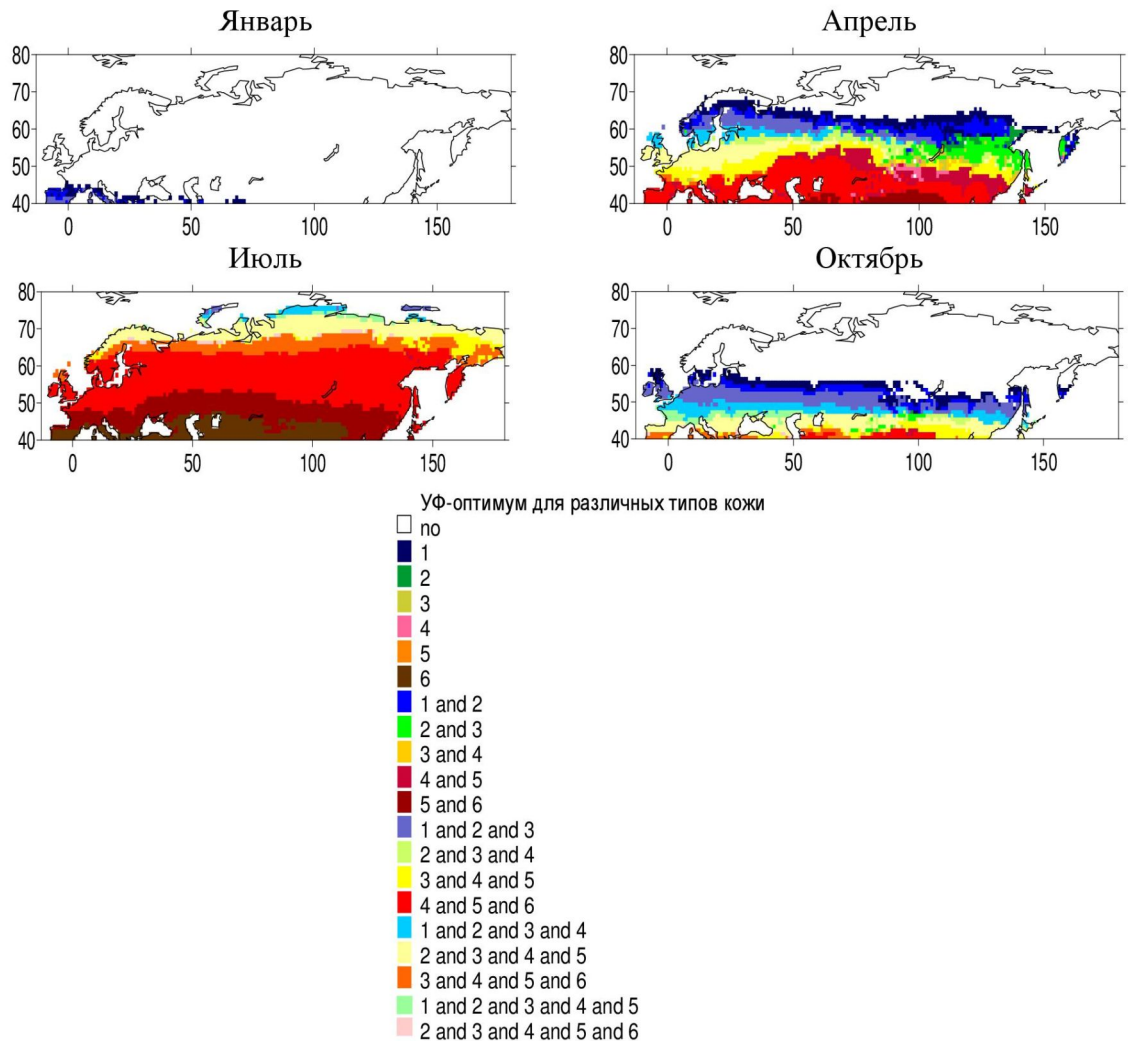


Рисунок 72 — УФ-оптимум для различных типов кожи человека.

5.6 Интерактивная программа для оценки УФ-ресурсов на территории Северной Евразии

Для того, чтобы оценить УФ-ресурсы на территории Северной Евразии в любой день года не только для климатических значений основных параметров, влияющих на УФР, и учесть влияние высоты места над уровнем моря, была создана интерактивная программа, доступная в сети интернет по адресу <http://momsu.ru/uv>.

Материалы главы опубликованы в работе Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е. Интерактивная интернет-программа для определения УФ-ресурсов и расчета доз эритемной УФР на территории Северной Евразии // Геофизические процессы и биосфера, 2015, Т. 14, №2, с. 81-94.

Разработанный инструмент состоит из двух программ: первая - расчет УФ-ресурсов и вторая - расчет часовых доз УФР.

Каждая из программ состоит из двух частей: клиентской и серверной. Клиентская часть представляет собой HTML-страницу с формой ввода исходных параметров, необходимых для расчета дозы УФР. Серверная часть включает веб-сервер и CGI-скрипт на языке Python, принимающий исходные параметры, введенные на HTML-странице, выполняющий вычисления и возвращающий результат работы программы. Схема взаимодействия клиентской и серверной частей представлена на рисунке 73.

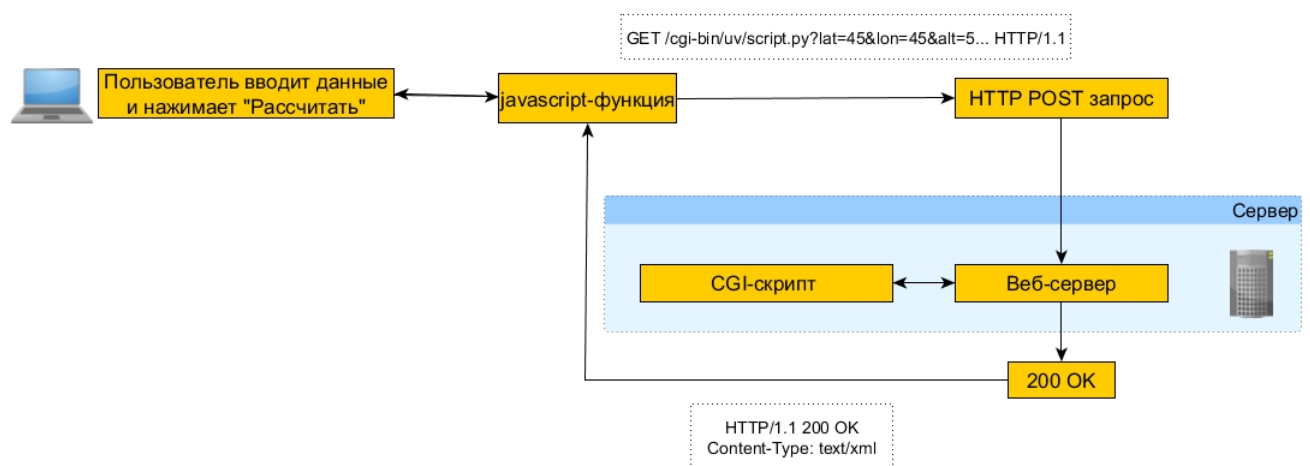


Рисунок 73 — Схема взаимодействия клиентской и серверной частей программы.

Рассмотрим схему взаимодействия клиентской и серверной частей программы подробнее:

1. Пользователь вводит значения в соответствующие поля HTML-формы и нажимает кнопку "Рассчитать"
2. После нажатия вызывается Javascript-функция, формирующая URL для запроса к серверу (например, <http://momsu.ru/cgi-bin/uv/script.py?lat=45&lon=45&alt=5...>);
3. Далее вызывается Javascript-функция, выполняющая HTTP GET запрос к серверу по сформированному URL. Запрос является асинхронным для вывода ответа с сервера без обновления страницы (AJAX-подход).
4. CGI-скрипт на сервере принимает запрос и разбирает строку запроса на параметры для передачи их непосредственно в функции расчета доз УФР и УФ-ресурсов.
5. После расчета формируется XML-документ с результатами.
В случае, если исходные параметры введены неверно, то формируется XML-документ с описанием ошибки
6. Сформированный XML-документ отправляется как ответ (Response) на HTTP GET запрос с кодом 200.
7. Функция Javascript в веб-браузере принимает XML-документ от сервера и представляет его в удобном виде пользователю.

В интерактивной программе реализован метод расчета эритемной УФР и УФ-ресурсов, который подробно описан в разделах "Метод расчета доз БАУФР" и "Методика определения влияния БАУФР на здоровье человека". Отметим, что использованные электронные таблицы БАУФР были созданы для условий нулевого альбедо поверхности и нулевой высоты над уровнем моря.

Схема расчета представлена на рисунке 74. Для того, чтобы определить дозу эритемной УФР в конкретной географической точке необходимо задать пространственные координаты места - широту, долготу и высоту над уровнем моря, а также временные параметры - месяц, день, час начала облучения (для расчета часовых доз радиации). Географические координаты могут быть выбраны для Северной Евразии из диапазона широты - 40.5с.ш.-79.5с.ш. и долготы - 25.5з.д.-179.5в.д., 170.5з.д.-179.5з.д). Эти параметры используются для расчета высоты Солнца.

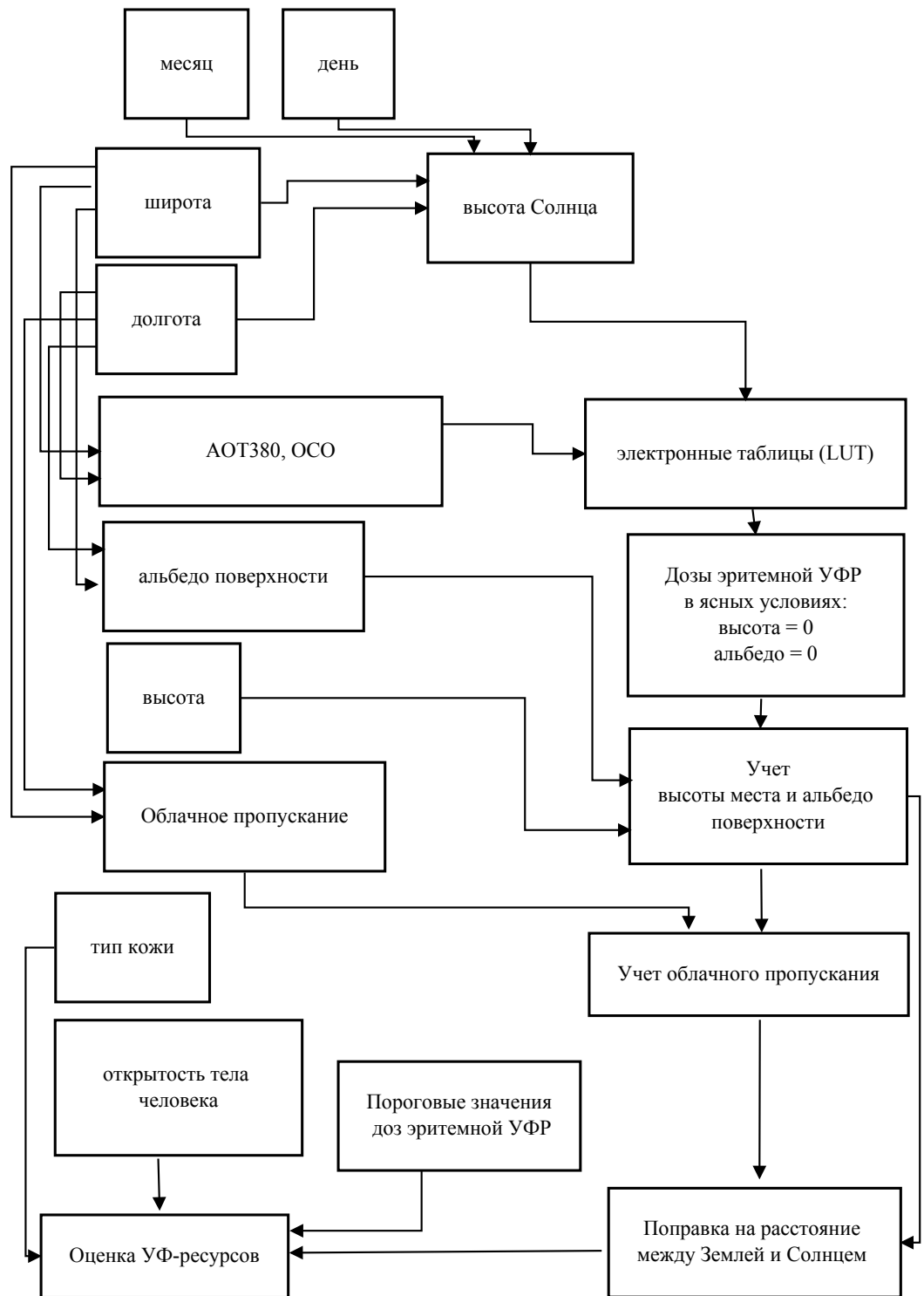


Рисунок 74 — Схема расчета доз эритемной УФР и УФ-ресурсов

Выбор параметров (аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм, общее содержание озона, альbedo поверхности), влияющих на дозы эритемной УФР в ясных условиях, в выбранной точке может производиться двумя способами: использование их климатических среднемесячных значений согласно разработанным базам данных [30, 61] или использование значений, заданных пользователем. В табл. 6 приведены использованные данные, которые позволили получить климатологические значения входных параметров с разрешением по пространству на рассматриваемой территории $1^\circ \times 1^\circ$ и с временным разрешением 1 месяц [61].

Дозы эритемной УФР могут с помощью программы быть рассчитаны для безоблачных и облачных условий. В случае задания средних облачных условий используются значения облачного пропускания УФР, полученные в разделе "Облачное пропускание на территории Северной Евразии".

Для расчета доз радиации в облачных условиях также, как и для других параметров, существует два варианта выбора - климатическое значение и значение выбираемое пользователем.

Для учета влияния альbedo поверхности использовалась геометрическая прогрессия [25]:

$$Q_{er} = \frac{Q_{er,A=0}}{1 - A \times r} \quad (39)$$

где A - альbedo поверхности, r - доля переотраженной радиации,

Доля переотраженной радиации рассчитывается с помощью выражения:

$$r = -0.024 * altitude + 0.394 \quad (40)$$

где $altitude$ - высота места в км

С высотой дозы эритемной УФР увеличиваются за счет уменьшения аэрозольной и молекулярной оптической толщины, а также за счет уменьшения общего содержания озона (около 3.5 ед.Добсона/км [120]). В связи с этим, если в качестве входных данных используются климатологические значения параметров, то в программе реализована специальная схема коррекции доз эритемной УФР на высоту места над уровнем моря (Chubarova et al.,2016, в печати). Согласно этой схеме значения входных параметров сначала приводятся к тем значениям, которые наблюдались бы на нулевой высоте над уровнем

моря, затем осуществляется расчет доз эритемной УФР по заранее подготовленным электронным таблицам на нулевой высоте над уровнем моря. Окончательные дозы эритемной УФР на необходимой высоте над уровнем моря рассчитываются, применяя параметризации, представленные в (Chubarova et al., 2016, в печати). Дозы Q_{ery} скорректированы на действительное расстояние между Землей и Солнцем.

Результаты и их валидация

Результаты

Рассмотрим в качестве примера, если пользователь задает следующие параметры расчета:

Широта = 55.5 с.ш.

Долгота = 37.5 в.д.

Высота места = 0.2 км

Климатологические значения АОТ380, альbedo поверхности и общего содержания озона

ясное небо,

Июль, 15

Тип кожи = 2

Открытость тела человека 0.25

Результат программы будет следующим: УФ-избыточность высокой степени, полуденная доза эритемной УФР 530.57 Дж/м², суточная доза эритемной УФР 3721.13 Дж/м².

Сравнение получаемых результатов с данными наблюдений

Сравнение расчетов часовых доз эритемной УФР в ясных условиях для бесснежного периода года показали хорошее согласие с данными наблюдений эритемной УФР в Метеорологической Обсерватории МГУ в Москве (рисунок 75), средняя квадратическая ошибка составила 8%. Расчеты были проведены для часовых доз эритемной УФР в безоблачные часы по данным визуальных наблюдений за облачностью, при средних значениях АОТ380, усредненных за час, полученных по данным солнечного фотометра CIMEL [56] и при альbedo поверхности 3 %.

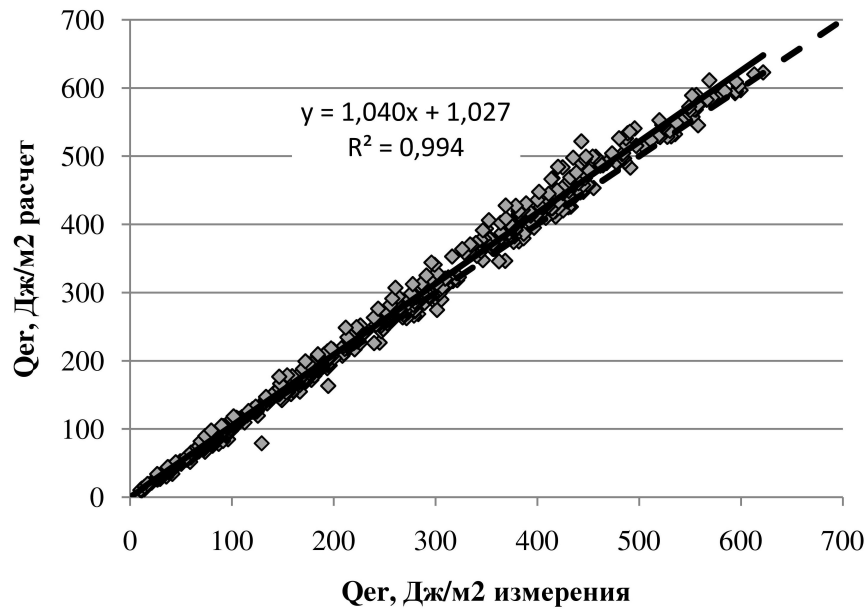


Рисунок 75 — Сравнение расчетов часовых доз эритемной УФР с измерениями в Москве

Результаты расчетов доз эритемной УФР с применением высотной коррекции для климатологических значений параметров в средних облачных условиях были сопоставлены с данными, приведенными в работе [154]. Для этого для приведенных в табл.1 [154] 25 пунктов, где проводились измерения эритемной УФР, были рассчитаны с помощью разработанной программы суточные дозы эритемной радиации для пятнадцатого числа каждого месяца с мая по август. Среднее значение для четырех месяцев были сопоставлены с данными наблюдений, приведенными в табл.1 работы [154], результаты сравнения представлены на рисунке 76. Из рисунка 76 видно, что максимальные различия между рассчитанными и измеренными дозами Q_{ery} составляют 23 % для станции, расположенной на высоте 3 км, для большинства станций различия не превышают 10 %, отсутствует систематическая ошибка.

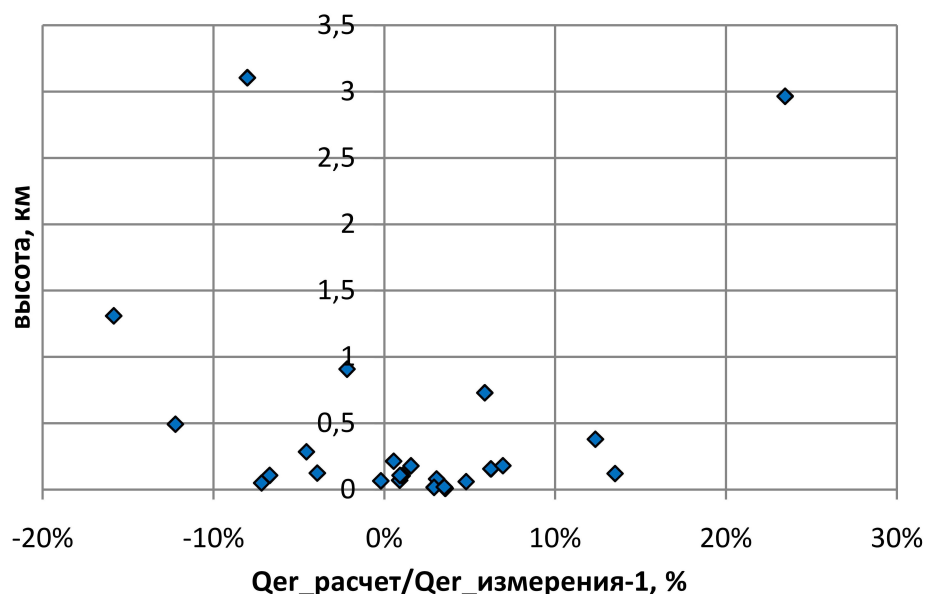


Рисунок 76 — Относительная разница между рассчитанными и измеренными значениями Q_{ery} [154]

С помощью разработанной программы можно эффективно рассчитывать часовые, суточные дозы эритемной УФР и определять УФ-ресурсы, т.е. проводить комплексную оценку влияния УФР на здоровье человека на территории Северной Евразии. При оценке влияния УФР на здоровье человека можно варьировать степень открытости тела и учитывать различную пигментацию кожи. Оценки суточных доз эритемной УФР также могут быть полезны, поскольку с накопленными дозами УФР связана вероятность развития рака кожи [65].

Согласно предлагаемому методу оценки влияния УФР период УФ-недостаточности в облачных условиях в Москве в среднем для человека со вторым типом кожи и открытостью тела 0.25 длится с 5 октября по 9 марта. По данным наблюдений в Метеорологической Обсерватории МГУ этот период длится с 16 октября по 9 марта.

Были проведены сравнения результатов, получаемых с помощью интерактивной программы с данными клинических исследований [69], согласно которым самая ранняя дата начала формирования витамин D в Копенгагене (54N) приходится на 8 апреля, а у группы наблюдаемых с подробными дневниками об режиме солнечного облучения - 9 мая. Наши оценки времени начала образования витамина D для людей со вторым типом кожи на широте Копенгагена при открытости тела 9% согласуются с экспериментально полученными: в

ясных условиях витамин D начинает формироваться 8 апреля, а в средних облачных условиях - 1 мая.

Таким образом, разработана интерактивная программа, которая позволяет рассчитывать дозы эритемной УФР на территории Северной Евразии и характеризовать степень влияния УФР на здоровье человека, используя понятие УФ-ресурсы. Имеется возможность рассчитать часовые и суточные дозы эритемной УФР в условиях, заданных пользователем или в средних климатических условиях.

5.7 Выводы к главе 5

Предложен метод оценки УФ-ресурсов, который основан на сравнении доз эритемной УФР с пороговыми значениями радиации для образования эритемы и витамина D. Для определения пороговых доз эритемной УФР использовались медицинские рекомендации. Метод определения УФ-ресурсов учитывает, что разные типы кожи имеют разную чувствительность к УФР, а также, в случае оценки пороговых значений УФР для образования витамина D, степень открытости человеческого тела. Разработана классификация УФ-ресурсов, которая состоит из трех основных классов: УФ-недостаточность, УФ-оптимум, УФ-избыточность.

Используя экспериментальные данные Метеорологической Обсерватории МГУ, были получены оценки статистических характеристик эритемной УФР (1999-2013гг). Оценены УФ-ресурсы для людей с различным типом кожи в московских условиях. Отметим, что в холодный период года (ноябрь-февраль) в Москве наблюдаются лишь категории полуденной и 100% - УФ - недостаточности для I-IV типов кожи (можно заметить лишь небольшую повторяемость категории УФ-оптимума для первого типа кожи).

Используя разработанные базы данных, оценены среднемесячные распределения УФ-ресурсов на территории Северной Евразии в ясных и средних облачных условиях. Облачность может привести к смене категории УФ-ресурсов на 1-2 градации, что в холодный период года приводит к увеличению УФ-недостаточности, а летом облачность, напротив, способствует уменьшению опасности УФР для здоровья человека.

Разработана удобная интерактивная программа, которая позволяет производить оценки УФР и УФ-ресурсов в заданной точке на территории Северной

Евразии в различных условиях. Одной из отличительных особенностей программы является интерактивный учет высоты места над уровнем моря, что дает возможность получить более точные оценки в интересующей пользователя точке.

Заключение

В заключении сформулированы основные выводы:

1. Разработан метод комплексной оценки влияния УФР на здоровье человека, введено понятие УФ-ресурсы. Метод оценки УФ-ресурсов основан на сравнении доз эритемной радиации с пороговыми значениями радиации, необходимыми для образования эритемы и витамина D с учетом медицинских рекомендаций. Создана классификация УФ-ресурсов, которая состоит из трех основных классов (УФ-недостаточность, УФ-оптимум, УФ-избыточность) и нескольких подклассов. Разработанный метод учитывает, что разные типы кожи человека имеют разную чувствительность к УФР. Оценки пороговых доз УФР для образования витамина D учитывают степень открытости тела человека.

2. Выявлены особенности чувствительности эритемной УФР и УФР, способствующей образованию витамина D, (Q_{ery} и Q_{vitD}), к вариациям основных геофизических факторов: высоте Солнца, общему содержанию озона, аэрозольной и облачной оптической толщине и альбедо поверхности с использованием радиационного фактора усиления. Показано, что Q_{ery} имеет меньшую чувствительность к вариациям высоты Солнца и общего содержания озона по сравнению с Q_{vitD} , что объясняется, главным образом, увеличением эффективной длины волны излучения для Q_{ery} . Показано, что Q_{vitD} и Q_{ery} имеют разный характер чувствительности к общему содержанию озона в зависимости от высоты Солнца. Оценки радиационного фактора усиления за счет аэрозольной оптической толщины для Q_{ery} и Q_{vitD} различаются незначительно.

3. По данным уточненного автором архива измерений эритемной УФР в Метеорологической обсерватории МГУ за период 1999-2013 гг показано, что среднее за год ослабление Q_{ery} за счет облачности и озона приблизительно одинаковое и составляет около 30%, в то время как ослабление Q_{ery} за счет аэрозоля равно 7%. Использование нового метода оценки УФ-ресурсов выявило, что условия УФ-недостаточности создаются для всех типов кожи человека в течение всех дней с ноября по февраль. Оценки повторяемости УФ-ресурсов показали, в частности, что условия УФ-оптимума для 2-ого типа кожи наиболее часто наблюдаются в марте и апреле (49% и 47%), и сентябре и октябре (60% и 49%). В то же время для более смуглого четвертого типа кожи повто-

ряемость УФ-оптимума наиболее высока в апреле-мае и августе-сентябре.

4. Разработан метод оценки облачного пропускания УФР на основе спутниковых данных по отражательной способности на длине волны 380 нм, данных о балле нижней облачности реанализа ECMWF ERA-Interim и альбедо поверхности, который позволил существенно уточнить определение облачного пропускания УФР в условиях снежного покрова.

5. На основании анализа существующих спутниковых и наземных данных геофизических параметров были созданы базы данных по общему содержанию озона, аэрозольной оптической толщине на длине волны 380 нм, альбедо поверхности и уточненному автором облачному пропусканию УФР с разрешением по пространству $1 \times 1^\circ$ и 1 месяц по времени для территории Северной Евразии.

6. Определены УФ-ресурсы на территории Евразии в ясных и облачных условиях для людей с разными типами кожи для всех месяцев года на основе разработанных баз геофизических данных и модельных расчетов. Показано, что для людей с различными типами кожи возникает существенно разная обеспеченность УФ-ресурсами за счет изменения высоты Солнца и основных геофизических параметров, влияющих на приход УФР к поверхности Земли, и степени открытости тела человека. Показано, что условия УФ-оптимума для людей с разными типами кожи наблюдаются в большей степени в Европе, чем в Азии, в холодный период года, что связано особенностями распределения общего содержания озона и эффективной температурой воздуха. В средних облачных условиях наблюдается сдвиг категорий УФ-ресурсов на 5-10 градусов южнее по сравнению с их положением в условиях ясного неба. Также средние облачные условия в рассматриваемом пункте могут привести к изменению категории УФ-ресурсов, в частности, для 2-ого типа кожи - на 1-2 категории.

7. Метод определения УФ-ресурсов реализован в интерактивной программе, доступной по адресу <http://momsu.ru/uv/>. Оценки эритемной УФР и УФ-ресурсов могут быть получены в любой точке на территории Северной Евразии с учетом высоты места над уровнем моря для климатических условий в соответствии с разработанными базами данных геофизических параметров или в соответствии с параметрами, заданными непосредственно пользователем.

Список литературы

- [1] Белан Б. Д., Ивлев Г. А., Складнева Т. К. Влияние города на приходящую ультрафиолетовую радиацию по результатам многолетнего мониторинга в районе Томска // *Оптика атмосферы и океана*. — 2011. — Т. 24, № 12. — С. 1113–1119.
- [2] Горбаренко Е. В., Ерохина А. Е., Лукин А. Б. Многолетние изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в России // *Метеорология и гидрология*. — 2006. — № 7. — С. 41–48.
- [3] Давыдов М. И., Аксель Е. М. Статистика злокачественных новообразований в России и странах СНГ в 2012 г. — Издательская группа РОНЦ, 2014. — С. 226.
- [4] Жданова Е. Ю., Чубарова Н. Е. Оценка воздействия различных атмосферных параметров на биологически активную УФ-радиацию по данным расчетов и измерений // *Оптика атмосферы и океана*. — 2011. — Т. 24, № 9. — С. 775–781.
- [5] Исаев А. А. Экологическая климатология. — Москва: Научный мир, 2001. — С. 458.
- [6] Климатические и экологические характеристики московского мегаполиса за 60 лет по данным Метеорологической Обсерватории МГУ / Н. Е. Чубарова, Е. И. Незваль, И. Б. Беликов и др. // *Метеорология и гидрология*. — 2014. — № 9. — С. 49–64.
- [7] Кобышева Н. В., Акентьева Е. М., Богданова Э. Г. и др. *Климат России* / Под ред. Н. В. Кобышевой. — СПб. : Гидрометеиздат, 2001. — С. 655.
- [8] Ларин И. К. *Химическая физика озонового слоя*. — Москва: Геос, 2013. — С. 159.
- [9] Луцько Л. В., Махоткина Е. Л. О модернизации актинометрической сети // *Труды Главной геофизической обсерватории*. — 2011. — № 564. — С. 51–65.

- [10] Мазин И. П., Хргиан А. Х. Облака и облачная атмосфера: Справочник. — Гидрометеоиздат, 1989. — С. 647.
- [11] Мониторинг радиационных потоков аппаратно-программным комплексом sun / В. Розенталь, Н. Чубарова, О. Изакова, Г. Шараев // Оптика атмосферы и океана. — 1999. — Т. 12, № 1. — С. 82–86.
- [12] Недостаточность витамина D у детей раннего возраста в России: результаты многоцентрового когортного исследования РОДНИЧОК (2013–2014 гг.) / И. Н. Захарова, С. В. Мальцев, Т. Э. Боровик и др. // Вопросы современной педиатрии. — 2014. — Т. 13, № 6. — С. 30–34.
- [13] Нерушев А. Ф., Тереб П. В. Сравнение наземных и спутниковых измерений экспозиций приземной ультрафиолетовой радиации для Центрально-Европейского региона России // Исследование Земли из космоса. — 2003. — № 5. — С. 35–43.
- [14] Роль витамина D в поддержании противотуберкулезного, антивирусного и общего противоинфекционного иммунитета. / О. А. Громова, И. Ю. Торшин, В. Ф. Учайкин, О. А. Лиманова // Инфекционные болезни. — 2014. — № 12. — С. 65–74.
- [15] Спиричев В. Б. О биологических эффектах витамина D // Педиатрия. — 2011. — Т. 90, № 6. — С. 113–119.
- [16] Тарасова Т. А., Ярхо Е. В. Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по наземным измерениям интегральной солнечной радиации // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 12. — С. 66–71.
- [17] Тимофеев Ю. М., Васильев А. В. Основы теоретической атмосферной оптики. — СПб, 2007. — С. 152.
- [18] Тимофеева Е. И., Федорович Г. В. Экологический мониторинг параметров микроклимата. — 2005.
- [19] Ультрафиолетовая облученность, УФ-индекс и их прогнозирование / М. И. Нахаев, Л. Б. Ананьев, Н. С. Иванова и др. // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. — 2014. — № 351. — С. 173–187.

- [20] Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба / В. А. Белинский, М. П. Гарраджа, Л. М. Меженная, Е. И. Незваль ; Под ред. В.А. Белинского. — Издательство Московского Университета, 1968.
- [21] Хвостиков И. А. Озон в стратосфере // Успехи физических наук. — 1956. — Т. 59, № 6. — С. 229–323.
- [22] Хргиан А. Х. Физика атмосферного озона. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. — С. 292.
- [23] Чандрасекар С. Перенос лучистой энергии. — Издательство Иностранной Литературы, 1953. — С. 423.
- [24] Чернокульский А. В., Мохов И. И. Сравнительный анализ характеристик глобальной и зональной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям // Исследование Земли из космоса. — 2010. — № 3. — С. 12–29.
- [25] Чубарова Н. Е. Пропускание суммарной УФ радиации облаками различных типов // Физика АН. Физика атмосферы и океана. — 1993. — Т. 29, № 5.
- [26] Чубарова Н. Е. Мониторинг биологически активной УФ радиации в Московском регионе // Известия АН. Физика атмосферы и океана. — 2002. — Т. 38, № 3. — С. 354–365.
- [27] Чубарова Н. Е. Влияние аэрозоля и атмосферных газов на ультрафиолетовую падающую радиацию в различных оптических условиях, включая условия дымной мглы 2002 г. // Доклады Академии наук. — 2004. — Т. 394, № 1. — С. 105–111.
- [28] Чубарова Н. Е. Глобальные изменения аэрозоля, облачности и ультрафиолетовой радиации // Современные глобальные изменения природной среды. — М.: Научный мир, 2006.
- [29] Чубарова Н. Е. О роли тропосферных газов в поглощении УФ радиации // Докл. РАН. — 2006. — № 2. — С. 294–297.

- [30] Чубарова Н. Е., Жданова Е. Ю. Ультрафиолетовые ресурсы при ясном небе на территории России // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. — 2012. — № 6. — С. 9–19.
- [31] Чубарова Н. Е., Жданова Е. Ю., Веричев К. С. Пространственно-временное распределение биологически активной уф-радиации у земной поверхности на территории России // 17 Рабочая группа Аэрозоли Сибири. — Издательство Института оптики атмосферы СО РАН Томск, 2010. — С. 54–55.
- [32] Шварц Г. Я. Витамин D и D-гормон. — Анахарсис, 2005. — С. 150.
- [33] A climatology of UV radiation, 1979-2000, 65S-65N / J. Lee-Taylor, S. Madronich, C. Fischer, B. Mayer // UV Radiation in Global Climate Change. — Springer, 2010. — P. 1–20.
- [34] A correction for total ozone mapping spectrometer profile shape errors at high latitude / C. G. Wellemeyer, S. L. Taylor, C. J. Seftor et al. // Journal of Geophysical Research. — 1997. — Vol. 102, no. D7. — P. 9029–9038.
- [35] A general model to predict individual exposure to solar UV by using ambient irradiance data / D. Vernez, A. Milon, L. Vuilleumier et al. // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. — 2015. — Vol. 25, no. 1. — P. 113–118.
- [36] A global climatology of tropospheric and stratospheric ozone derived from Aura OMI and MLS measurements / J. R. Ziemke, S. Chandra, G. J. Labow et al. // Atmospheric Chemistry and Physics. — 2011. — Vol. 11, no. 17. — P. 9237–9251.
- [37] A global representation of vitamin D status in healthy populations / D.A. Wahl, C. Cooper, M. Ebeling, P.R. Eggersdorfer et al. // Archives of osteoporosis. — 2012. — Vol. 7, no. 1-2. — P. 155–172.
- [38] A method to generate near real time UV-Index maps of Austria / B. Schallhart, M. Blumthaler, J. Schreder, J. Verdebout // Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. — 2008. — Vol. 8, no. 1. — P. 2143–2161.

- [39] A novel method to calculate solar UV exposure relevant to vitamin D production in humans / G. Seckmeyer, M. Schrempf, A. Wieczorek et al. // *Photochemistry and Photobiology*. — 2013. — Vol. 89. — P. 974–983.
- [40] A numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media / K. Stamnes, S. Tsay, W. J. Wiscombe, K. Jayaweera // *Appl. Opt.* — 1988. — Vol. 27. — P. 2502–2509.
- [41] A study of regional aerosol radiative properties and effects on ultraviolet-B radiation / B. N. Wenny, J. S. Schafer, J. J. DeLuisi et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 1998. — Vol. 103, no. D14. — P. 17083–17097.
- [42] Accuracy assessment of the modis 16-day albedo product for snow: comparisons with greenland in situ measurements / Julienne Stroeve, Jason E Box, Feng Gao et al. // *Remote Sensing of Environment*. — 2005. — Vol. 94, no. 1. — P. 46–60.
- [43] Action spectrum for the production of previtamin D3 in human skin : Rep. / CIE ; Executor: R. Bouillon, J. Eisman, M. Garabedian et al. : 2006.
- [44] Aerosol ultraviolet absorption experiment (2002 to 2004), part 2: Absorption optical thickness, refractive index, and single scattering albedo / N. Krotkov, P. K. Bhartia, J. Herman et al. // *Optical Engineering*. — 2005. — Vol. 44, no. 4. — P. 041005.
- [45] Aerosols and surface UV products from Ozone Monitoring Instrument observations: An overview / Omar Torres, Aapo Tanskanen, Ben Veihelmann et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2007. — Vol. 112. — P. D24S47.
- [46] Altitude effect in UV radiation during the Evaluation of the Effects of Elevation and Aerosols on the Ultraviolet Radiation 2002 (VELETA-2002) field campaign / Y. Sola, J. Lorente, E. Campmany et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2011. — Vol. 113 (D23). — P. D23202.
- [47] Assessment of TOMS UV bias due to absorbing aerosols / A. Arola, S. Kazadzis, N. Krotkov et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2005. — Vol. 110. — P. D23211.

- [48] Atmospheric measurement techniques discussions / S. Kazadzis, N. Kouremeti, V. Amiridis et al. // Aerosol absorption retrieval at ultraviolet wavelengths in a complex environment. — 2012. — Vol. 5, no. 5. — P. 6991–7023.
- [49] Blumthaler M., Ambach W. Solar uvb-albedo of various spaces // Photochemistry and Photobiology. — 1988. — Vol. 48, no. 1. — P. 85–88.
- [50] Bodeker G. E., McKenzie R. L. An algorithm for inferring surface UV irradiance including cloud effects // Journal of Applied Meteorology. — 1996. — Vol. 35, no. 10. — P. 1860–1877.
- [51] Booth C. R., Madronich S. Radiation amplification factors : improved formulation accounts for large increases in ultraviolet radiation associated with Antarctic ozone // Ultraviolet radiation in Antarctica: measurements and biological effects Antarctic research series. — 1994. — Vol. 62, no. 2. — P. 39–42.
- [52] Borkowski J. L. Modelling of UV radiation variations at different time scales // Annales Geophysicae. — 2008. — Vol. 29, no. 3. — P. 441–446.
- [53] Calbó J., Pagès D., González J.-A. Empirical studies of cloud effects on UV radiation: a review // Reviews of Geophysics. — 2005. — Vol. 43. — P. RG2002.
- [54] Calculations of the human vitamin D exposure from UV spectral measurements at three European stations. / A. Kazantzidis, A. F. Bais, M. M. Zempila et al. // Photochemical and Photobiological Sciences. — 2009. — Vol. 8(1). — P. 45–51.
- [55] Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface / S. Madronich, R. L. McKenzie, L. O. Björn, M. M. Caldwell // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. — 1998. — Vol. 46, no. 1. — P. 5–19.
- [56] Chubarova N. Smirnov A., Holben B. N. Aerosol properties in Moscow according to 10 years of AERONET measurements at the Meteorological

Observatory of Moscow State University // Geography, environment, sustainability. — 2011. — Vol. 4, no. 1. — P. 19–32.

- [57] Chubarova N.E. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atmos. Chem. Phys. — 2008. — no. 8. — P. 3025–3031.
- [58] Chubarova N.Y. Seasonal distribution of aerosol properties over Europe and their impact on UV irradiance // Atmos. Meas. Techniques. — 2009. — Vol. 2. — P. 593–608.
- [59] Chubarova N., Nezval Ye. Thirty year variability of UV irradiance in Moscow // J. Geophys. Res. — 2000. — Vol. 105. — P. 12529–12539.
- [60] Chubarova N., Poliukhov A., Gorlova I. Long-term variability of aerosol optical thickness in eastern europe over 2001–2014 according to the measurements at the Moscow MSU MO Aeronet site with additional cloud and NO₂ correction // Atmospheric Measurement Techniques. — 2016. — Vol. 9, no. 2. — P. 313–334.
- [61] Chubarova N., Zhdanova Ye. Ultraviolet resources over Northern Eurasia // Photochemistry and Photobiology. — 2013. — Vol. 127. — P. 38–51.
- [62] Chubarova N. Y., Nezval Y. I. Ozone, aerosol and cloudiness impacts on biologically effective radiation and uv radiation less 380 nm // IRS. — 1996. — Vol. 16. — P. 886–889.
- [63] Rationalizing nomenclature for UV doses and effects on humans : Rep. : 211 / WMO/GAW ; Executor: CIE : 2014. — P. 14.
- [64] Climatology and Trends of Surface UV Radiation survey article / D. W. Tarasick, V. E. Fioletov, D. I. Wardle et al. // Atmosphere-Ocean. — 2003. — Vol. 41. — P. 121–138.
- [65] Climatology of Ultraviolet Budgets using Earth Observation (CUBEO): mapping UV from the perspective of risk assessments : USP-2 report 00-17 USP-2 project 4.1/AP-03 ISBN 90 54 11 32 6 / National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) ; Executor: H. Slaper, J. Matthijsen, P.N. den Outer, G.J.M. Velder : 2001.

- [66] Comparison of models used for UV index calculations / K Peter, A. Bais, D. Balis et al. // *Photochemistry and Photobiology*. — 1998. — Vol. 67(6). — P. 657–662.
- [67] Comparison of models used for UV index calculations / P. Koepke, A. Bais, D. Balis et al. // *Photochemistry and Photobiology*. — 1998. — Vol. 67(6). — P. 657–662.
- [68] Comparisons between ground measurements of broadband ultraviolet irradiance (300 to 380 nm) and total ozone mapping spectrometer ultraviolet estimates at Moscow from 1979 to 2000 / N.Ye. Chubarova, A.Yu. Yurova, N. Krotkov et al. // *Optical Engineering*. — 2002. — Vol. 41, no. 12. — P. 3070–3081.
- [69] Datta P. Increase in serum 25-hydroxyvitamin-D3 in humans after solar exposure under natural conditions compared to artificial UVB exposure of hands and face // *Photochemical & Photobiological Sciences*. — 2012. — Vol. 11, no. 12. — P. 1817–1824.
- [70] DeLuisi J. Atmospheric ultraviolet radiation scattering and absorption // *Solar Ultraviolet Radiation*. — Springer, 1997. — P. 65–84.
- [71] Den Outer P. N., Slaper H., Tax R. B. UV radiation in the Netherlands: Assessing long-term variability and trends in relation to ozone and clouds // *J. Geophys. Res.* — 2005. — Vol. 110. — P. D02203.
- [72] Deriving an effective aerosol single scattering albedo from spectral surface UV irradiance measurements / A. F. Bais, A. Kazantzidis, S. Kazadzis et al. // *Atmospheric Environment*. — 2005. — Vol. 39, no. 6. — P. 1093–1102.
- [73] Determining Vitamin D Status: A Comparison between Commercially Available Assays / G. Snellman, H. Melhus, R. Gedeberg et al. // *PLoS ONE*. — 2010. — no. 5(7). — P. e11555.
- [74] DISORT, a general-purpose Fortran program for discrete-ordinate-method radiative transfer in scattering and emitting layered media: documentation of

methodology. / K. Stamnes, S. C. Tsay, W. Wiscombe, I Laszlo. — Goddard Space Flight Center, NASA., 2000.

- [75] Dobson G. M. B. A photoelectric spectrophotometer for measuring the amount of atmospheric ozone // *Proceedings of the Physical Society.* — 1931. — Vol. 43, no. 3. — P. 324–339.
- [76] Dynamics of sulfur dioxide surface concentration in Moscow / M. A. Lokoshchenko, N. F. Elansky, V. P. Malyashova, A. V. Trifanova // *Atmos. Oceanic Opt.* — 2008. — Vol. 21, no. 5. — P. 384–391.
- [77] Eck T.F., Bhartia P.K., Kerr J.B. Satellite estimation of spectral surface UVB irradiance using TOMS-derived total ozone and UV reflectivity // *J.Geophys.Res.Letters.* — 1995. — Vol. 22, no. 5. — P. 611–614.
- [78] Effect of inhomogeneous surface albedo on diffuse UV sky radiance at a high-altitude site / M. Huber, M. Blumthaler, J. Schreder et al. // *Journal of Geophysical Research.* — 2004. — Vol. 109. — P. D08107.
- [79] Efron B., Tibshirani R. J. An introduction to the bootstrap. — CRC press, 1994.
- [80] Eleven years of solar UV irradiance measurements from UARS / L. Floyd, G. Rottman, M. Deland, J. Pap // *Solar Variability as an Input to the Earth's Environment.* — 2003. — Vol. 535. — P. 195–203.
- [81] Engelsen O. The relationship between ultraviolet radiation exposure and vitamin D status // *Nutrients.* — 2010. — Vol. 2. — P. 482–495.
- [82] Erythematous UV observations at Belsk, Poland, in the period 1976–2008: Data homogenization, climatology, and trends / J. Krzyścin, P. Sobolewski, J. Jaroslowski et al. // *Acta Geophysica.* — 2010. — Vol. 59, no. 1. — P. 155–182.
- [83] Estimating UV index climatology over Canada / V. E. Fioletov, J. B. Kerr, L. J. B. McArthur et al. // *Journal of Applied Meteorology.* — 2003. — Vol. 42, no. 3. — P. 417–433.

- [84] Factors affecting UV irradiance at selected wavelengths at Hoher Sonnblick / S. Simic, M. Fitzka, A. Schmalwieser et al. // *Atmospheric Research*. — 2011. — Vol. 101, no. 4. — P. 869–878.
- [85] Feister U., Greve R. Spectral albedo measurements in the UV and visible region over different types of surfaces // *J. Photochemistry and Photobiology*. — 1995. — Vol. 62, no. 4. — P. 736–744.
- [86] Fioletov V.E., McArthur L. and Mathews T.W., Marrett L. Estimated ultraviolet exposure levels for a sufficient vitamin D status in North America // *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*. — 2010. — Vol. 100. — P. 57–66.
- [87] Fitzpatrick T.B. The validity and practicality of sun-reactive skin types i through vi // *Arch. Dermatol.* — 1988. — Vol. 124. — P. 869–871.
- [88] Foyo-Moreno I, Vida J, Alados-Arboledas L. Ground based ultraviolet (290–385 nm) and broadband solar radiation measurements in south-eastern Spain // *International journal of climatology*. — 1998. — Vol. 18, no. 12. — P. 1389–1400.
- [89] Gröbner J. Ultraviolet radiation ultraviolet radiation (UV) : Distribution ultraviolet radiation (UV) distribution and variability ultraviolet radiation (UV) variability // *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* / Ed. by Robert A. Meyers. — Springer New York, 2012. — P. 11149–11158.
- [90] Herman J. R., Celarier E.A. Earth surface reflectivity climatology at 340–380 nm from TOMS data // *Journal of Geophysical Research*. — 1997. — Vol. 102, no. D23. — P. 28003–28011.
- [91] Holick M.F. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease // *The American Journal of Clinical Nutrition*. — 2004. — Vol. 80. — P. 1678S– 1688S.
- [92] Holick M. F., Jenkin M. The UV advantage: new medical breakthroughs reveal powerful health benefits from sun exposure and tanning. — F publication of ibooks, inc., 2003.

- [93] Hu Y. X., Stamnes K. An accurate parameterization of the radiative properties of water clouds suitable for use in climate models // *Journal of climate*. — 1993. — Vol. 6, no. 4. — P. 728–742.
- [94] Influence of snow and clouds on erythemal UV radiation - Analysis of Swiss measurements and comparison with models / A. Renaud, J. Staehelin, C. Frohlich et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2000. — Vol. 105. — P. 4961–4969.
- [95] Influence of volcanic sulfur dioxide on spectral UV irradiance as measured by Brewer spectrophotometers / V. E. Fioletov, E. Griffioen, J. B. Kerr et al. // *Geophysical research letters*. — 1998. — Vol. 25, no. 10. — P. 1665–1668.
- [96] Investigations on the effect of high surface albedo on erythemally effective UV irradiance: Results of a campaign at the Salar de Uyuni, Bolivia / J. Reuder, F. Ghezzi, E. Palenque et al. // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. — 2007. — Vol. 87, no. 7. — P. 1–8.
- [97] Kimlin M. G., Olds W. J., Moore M. R. Location and vitamin D synthesis: is the hypothesis validated by geophysical data? // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. — 2007. — Vol. 86(3). — P. 234–239.
- [98] Know your standard: Clarifying the CIE erythema action spectrum / Ann R. Webb, Harry Slaper, Peter Koepke, Alois W. Schmalwieser // *Photochemistry and Photobiology*. — 2011. — Vol. 87, no. 2. — P. 483–486.
- [99] Krivova N. A., Solanki S. K., Unruh Y. C. Towards a long-term record of solar total and spectral irradiance // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. — 2011. — Vol. 73, no. 2. — P. 223–234.
- [100] Krzyścin J.W., Jaroslowski J., Sobolewski P.S. A mathematical model for seasonal variability of vitamin D due to solar radiation // *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*. — 2011. — Vol. 105, no. 1. — P. 106–112.

- [101] Lindfors A., Arola A. On the wavelength dependent attenuation of UV radiation by clouds // *Geophysical research letters*. — 2008. — Vol. 35, no. 5. — P. L05806.
- [102] Long term changes and climatology of UV radiation over Europe : Rep. / Final scientific report COST Action 726 ; Executor: Z. Litynska, P. Koepke, H. De Backer et al. : 2012.
- [103] Long-term erythemal UV doses at Sodankyla estimated using total ozone, sunshine duration, and snow depth / A. V. Lindfors, A. Arola, J. Kaurola et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2003. — Vol. 108, no. D16. — P. 4518.
- [104] Long-term UV irradiance changes over Moscow and comparisons with UV estimates from TOMS and METEOSAT / N. Chubarova, Y.I. Nezval, J. Verdebout et al. // *Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects* edited by G. Bernhard, J.R. Slusser, J.R. Herman, and W. Gao, SPIE. — 2005. — P. 63–73.
- [105] MacLaughlin J. A., Anderson R. R., Holick M. F. Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin // *Science*. — 1982. — Vol. 216, no. 4549. — P. 1001–1003.
- [106] Madronich S., Flocke S. The role of solar radiation in atmospheric chemistry // *Environmental photochemistry*. — Springer, 1999. — P. 1–26.
- [107] Madronich S., Wagner M., Groth P. Influence of tropospheric ozone control on exposure to ultraviolet radiation at the surface // *Environmental science & technology*. — 2011. — Vol. 45, no. 16. — P. 6919–6923.
- [108] Mayer B. Radiative transfer in the cloudy atmosphere // *EPJ Web of Conferences*. — EDP Sciences. — 2009. — Vol. 1. — P. 75–99.
- [109] McKenzie R. L., Liley J. B., Björn L.O. UV radiation: Balancing risks and benefit // *Photochemistry and Photobiology*. — 2009. — no. 85. — P. 88–98.
- [110] McKinlay A. F., Diffey B. L. Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations / Ed. by W.F. Passchier, B.F.M. Bosnjakovich. — Elsevier, 1987. — P. 83–87.

- [111] Meerkoetter R, Wissinger B, Seckmeyer G. Surface UV from ERS-2/GOME and NOAA/AVHRR data: A case study // *Geophysical Research Letters*. — 1997. — Vol. 24, no. 15. — P. 1939–1942.
- [112] Nack M. L., Green A. E. S. Influence of clouds, haze, and smog on the middle ultraviolet reaching the ground // *Applied Optics*. — 1974. — Vol. 13, no. 10. — P. 2405–2415.
- [113] New maximum UV irradiance levels observed in Central Europe / G Seckmeyer, B Mayer, G Bernhard et al. // *Atmospheric Environment*. — 1997. — Vol. 31, no. 18. — P. 2971–2976.
- [114] Norval M., Björn L. O., de Gruijl F. R. Is the action spectrum for the UV-induced production of previtamin D3 in human skin correct? // *Photochemical and Photobiological Sciences*. — 2010. — Vol. 9, no. 1. — P. 11–17.
- [115] Olds William J, Lucas Robyn M, Kimlin Michael G. Action spectrum for vitamin d synthesis // *UV Radiation and its effects—2010, NIWA UV workshop*. — 2010. — P. 7–9.
- [116] On the relationship between erythemal and vitamin D action spectrum weighted ultraviolet radiation / V.E. Fioletov, L.J.B. McArthur, T.W. Mathews, L. Marrett // *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*. — 2009. — Vol. 95. — P. 9–16.
- [117] Ozone monitoring instrument spectral uv irradiance products: comparison with ground based measurements at an urban environment / S. Kazadzis, A. Bais, A. Arola et al. // *Atmos. Chem. Phys.* — 2009. — Vol. 9. — P. 585–594.
- [118] Palacios C., Gonzalez L. Is vitamin D deficiency a major global public health problem? // *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*. — 2014. — Vol. 144. — P. 138–145.
- [119] Pan-Eurasian Experiment (PEEX) - a research initiative meeting the grand challenges of the changing environment of the northern Pan-Eurasian arctic-boreal areas / H. K. Lappalainen, T. Petäjä, J. Kujansuu et al. // *Geography Environment Sustainability*. — 2014. — no. 2. — P. 13–48.

- [120] Pfeifer M., Köepke T. P., Reuder J. Effects of altitude and aerosol on UV radiation // *J. Geophys. Res.* — 2006. — Vol. 111. — P. D01203.
- [121] Practical guidelines for the supplementation of vitamin D and the treatment of deficits in Central Europe—recommended vitamin D intakes in the general population and groups at risk of vitamin D deficiency / Pawel Pludowski, Elżbieta Karczmarewicz, Milan Bayer et al. // *Endokrynologia Polska.* — 2013. — Vol. 64, no. 4. — P. 319–327.
- [122] Pribullová A., Chmelík M. Typical distribution of the solar erythemal UV radiation over Slovakia // *Atmos. Chem. Phys.* — 2008. — Vol. 8. — P. 5393–5401.
- [123] Quasi-biennial and longer-term changes in clear sky UV-B solar / C. Zerefos, C. Meleti, D. Balis et al. // *Geophysical research letters.* — 1998. — Vol. 25, no. 23. — P. 4345–4348.
- [124] Recent variability of the solar spectral irradiance and its impact on climate modelling / I. Ermolli, K. Matthes, T. Dudok de Wit et al. // *Atmospheric Chemistry and Physics.* — 2013. — Vol. 13, no. 8. — P. 3945–3977.
- [125] Reference action spectra for ultraviolet induced erythema and pigmentation of different human skin types : Rep. / CIE Technical Collection, 15-22 ; Executor: M. F. Mutzhas, J. U. Amlong, J. P. Cesarini et al. : 1993.
- [126] Retrieval of the ultraviolet effective snow albedo during 1998 winter campaign in the French Alps / I. Smolskaia, D. Masserot, J. Lenoble et al. // *Applied optics.* — 2003. — Vol. 42, no. 9. — P. 1583–1587.
- [127] Reuder J, Schwander H. Aerosol effects on UV radiation in nonurban regions // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012).* — 1999. — Vol. 104, no. D4. — P. 4065–4077.
- [128] Rossow W.B., Schiffer R.A. Isccp cloud data products. // *Bull. Amer.Met.Soc.* — 1991. — Vol. 72. — P. 2–20.
- [129] Satellite estimation of spectral surface UV irradiance. 2. Effects of homogeneous clouds and snow / N. A. Krotkov, J. R. Herman, P. K. Bhartia et al. //

- Journal of geophysical research. — 2001. — June 16. — Vol. 106, no. D11. — P. 11743–11759.
- [130] Satellite estimation of spectral surface UV irradiance in the presence of tropospheric aerosols 1. cloud-free case / N. A. Krotkov, P. K. Bhartia, J. R. Herman et al. // Journal of geophysical research. — 1998. — April 27. — Vol. 103, no. D8. — P. 8779–8793.
- [131] Scharla S. H. Epidemiology of vitamin-D-deficiency/insufficiency in different European countries // J Menopause. — 2000. — Vol. 7, no. Suppl 2. — P. 29–33.
- [132] Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. — John Wiley & Sons, 2006. — P. 1225.
- [133] Sensitivity of solar UV radiation to ozone and temperature profiles at Thessaloniki (40.5 N, 23 E), Greece / A. Kazantzidis, A. F. Bais, D. S. Balis et al. // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2005. — Vol. 67, no. 14. — P. 1321–1330.
- [134] Serum 25-hydroxyvitamin-D responses to multiple UV exposures from solarium: inferences for exposure to sunlight / R. McKenzie, R. Scragg, B. Liley et al. // Photochemical & photobiological sciences. — 2012. — Vol. 11(7). — P. 1174–1185.
- [135] Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 / N. Chubarova, Ye. Nezval', I. Sviridenkov et al. // Atmospheric Measurement Techniques. — 2012. — Vol. 5(3). — P. 557–568.
- [136] Spectral absorption properties of atmospheric aerosols / R. W. Bergstrom, P. Pilewskie, P. B. Russell et al. // Atmospheric Chemistry and Physics. — 2007. — Vol. 7, no. 23. — P. 5937–5943.
- [137] Spectral irradiance: the effects of ozone, cloudiness and surface albedo / N. Ye. Chubarova, N. A. Krotkov, I. V. Geogdzhayev et al. // IRS. — 1996. — P. 881–885.

- [138] Standard CIE. Erythema reference action spectrum and standard erythema dose // CIE Technical Collection. — 1998. — Vol. 7.
- [139] Tanskanen A. Lambertian Surface Albedo Climatology at 360 nm from TOMS Data Using Moving Time-Window Technique // Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium. — 2004.
- [140] Tanskanen A., Manninen T. Effective UV surface albedo of seasonally snow-covered lands // Atmospheric Chemistry and Physics. — 2007. — Vol. 7, no. 10. — P. 2759–2764.
- [141] Terenetskaya I., Orlova T. Variability of solar uv-b irradiance: in situ monitoring and model calculation of the vitamin d synthetic capacity of sunlight // International journal of remote sensing. — 2011. — Vol. 32, no. 21. — P. 6205–6218.
- [142] The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system / DP Dee, SM Uppala, AJ Simmons et al. // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. — 2011. — Vol. 137, no. 656. — P. 553–656.
- [143] The role of sunlight exposure in determining the vitamin D status of the UK white adult population / A. R. Webb, R. Kift, M. T. Durkin et al. // Br. J. Dermatol. — 2010. — Vol. 163. — P. 1050–1055.
- [144] The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) / J. Lean, G. Rottman, J. Harder, G. Kopp / Ed. by G. R. Rottman, T. N. Woods, V. L. George. — Springer, 2005. — P. 27–53.
- [145] UNEP. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change, Assessment, 2010 // Journal of Photochemistry and Photobiology Sciences. — 2011. — P. 165–320.
- [146] UNEP. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: Assessment, 2014 // Journal of Photochemistry and Photobiology Sciences. — 2015. — P. 7–184.

- [147] UV index climatology over the United States and Canada from ground-based and satellite estimates / Vitali E Fioletov, Michael G Kimlin, Nickolay Krotkov et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2004. — Vol. 109. — P. D22308.
- [148] UV-Index for the Public / K. Vanicek, T. Frei, Z. Litynska, A. Schmalwieser. — Publication of the European Communities, Brussels, Belgium., 2000.
- [149] UV measurements in the 3000–5000 m altitude region in Tibet / A. Dahlback, N. Gelsor, J. J. Stamnes, Y. and Gjessing // *Journal of Geophysical Research*. — 2007. — Vol. 112 (D9). — P. D09308.
- [150] UV Radiation, Vitamin D and Human Health: An Unfolding Controversy Daily Duration of Vitamin D Synthesis in Human Skin with Relation to Latitude, Total Ozone, Altitude, Ground Cover, Aerosols and Cloud Thickness / O. Engelsen, M. Brustad, L. Aksnes, E. U. Lund // *Photochemistry and Photobiology*. — 2005. — Vol. 81. — P. 1287–1290.
- [151] Validation of daily erythemal doses from Ozone Monitoring instrument with ground-based UV measurement data / A. Tanskanen, A. Lindfors, A. Ma et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2007. — Vol. 112. — P. D24S44.
- [152] Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations / O. Dubovik, B. Holben, T. F. Eck et al. // *Journal of the atmospheric sciences*. — 2002. — Vol. 59, no. 3. — P. 590–608.
- [153] Variability of spectral solar ultraviolet irradiance in an alpine environment / J Gröbner, A Albold, M Blumthaler et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2000. — Vol. 105, no. D22. — P. 26991–27003.
- [154] Variability of UV irradiance in Europe / G. Seckmeyer, D. Pissulla, M. Glanndorf et al. // *Photochemistry and Photobiology*. — 2008. — Vol. 84. — P. 172–179.
- [155] Verdebout J. A method to generate surface UV radiation maps over Europe using GOME, Meteosat, and ancillary geophysical data // *Journal of Geophysical Research*. — 2000. — Vol. 105, no. D4. — P. 5049–5058.

- [156] Vitamin D status in Central Europe / P. Pludowski, W.B. Grant, H.P. Bhattoa et al. // *International Journal of Endocrinology*. — 2014. — Vol. 2014. — P. 1–12.
- [157] Webb A.R., Engelsen O. Calculated ultraviolet exposure levels for a healthy vitamin D status // *Photochemistry and Photobiology*. — 2006. — Vol. 82. — P. 1697–1703.
- [158] Wenny B. N., Saxena V. K., Frederick J. E. Aerosol optical depth measurements and their impact on surface levels of ultraviolet-B radiation // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012). — 2001. — Vol. 106, no. D15. — P. 17311–17319.
- [159] A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computation, wcp – 112, wmo/td-24 : Rep. ; Executor: International Association For Meteorology World Climate Research Programme, Radiation Commission Atmospheric Physics : 1986. — P. 60.
- [160] Zhdanova Ye., Chubarova N., Nezval Ye. A method of estimating cloud transmission in the UV spectral range using data from different satellite measurements and reanalysis // *AIP Conf. Proc.* — Vol. 1531. — American Institute of Physics, 2013.
- [161] Zhou S., Zhang R. Decadal variations of temperature and geopotential height over the tibetan plateau and their relations with tibet ozone depletion // *Geophysical research letters*. — 2005. — Vol. 32. — P. L18705.

Список иллюстраций

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Биологические спектры действия УФР, связанные с влиянием УФР на здоровье человека | 11 |
| 2 | Спектральное распределение плотности потока излучения УФР вне атмосферы (Atlas-1993) (Q_{TOA}), плотности потока излучения УФР у поверхности Земли (Q), плотности потока эритемной УФР у поверхности Земли (Q_{ery}) | 12 |
| 3 | Схема однократного (синяя кривая) и многократного (красная кривая) рассеяния (μ - косинус зенитного угла φ - азимут) . . . | 13 |
| 4 | Спектральные измерения солнечной радиации по данным измерений SORCE, TIMED с 22 апреля 2004 года по 23 июля 2010 года. (А) спектральное распределения радиации для рассматриваемого периода, (В) Высоты поглощения в атмосфере, определенные как высоты, на которых оптическая толщина равна единице, (С) относительная изменчивость (амплитуда/среднее) в течение периода 2004-2010 гг., (D) абсолютная изменчивость в течение периода 2004-2010 гг. [124] | 16 |
| 5 | Спектральное распределение функций поглощения в безоблачной атмосфере б)всей толщии атмосферы, в)толщии атмосферы от ее верхней границы до высоты 11 км, высота Солнца 40 градусов [17] | 17 |
| 6 | Зонально усредненное общее содержание стратосферного озона для четырех центральных месяцев года [36] | 19 |
| 7 | Относительные изменения эритемной УФР (relative changes) в зависимости от аэрозольной оптической толщины (aerosol optical depth) при различных значениях альбедо однократного рассеяния (ω_0) для различно ориентированных поверхностей (горизонтальной, сферической и вертикальный цилиндр) [146] . . . | 22 |
| 8 | Зависимость облачного пропускания эритемной УФР от оптической толщины облачности. Модельный расчет: высота Солнца 30 градусов, общее содержание озона 300 ед.Добсона | 24 |
| 9 | Спектральная зависимость облачного пропускания УФР по модельным данным. | 27 |

| | | |
|----|---|----|
| 10 | Облачное пропускание УФР 300-380 нм при сплошном покрове облаков по экспериментальным данным в теплый и холодный периоды года по данным [25] | 27 |
| 11 | Рост эритемной УФР (A_s) за счет альbedo поверхности по данным различных авторов. | 28 |
| 12 | Типы кожи человека 1-6 (слева направо) согласно классификации [87]. | 30 |
| 13 | Географическое распределение цветов кожи для коренного населения до 1940 года согласно классификации Феликса фон Лущана. | 31 |
| 14 | Синтез и метаболизм витамина D по [81] | 33 |
| 15 | Эритемный спектр действия (сплошная кривая), спектр действия образования витамина D ₃ (пунктир) | 36 |
| 16 | Концентрации 25(OH)D в Центральной Европе по данным [156] зеленые столбцы - весна; синие столбцы - зима; желтые столбцы - осень; красные столбцы - лето; сиреневые столбцы - год; | 41 |
| 17 | Эритемная кривая действия (McKinlay) и кривые чувствительностей приборов | 56 |
| 18 | Спектральные поправки для приборов №060904 и №920602 в зависимости от высоты Солнца | 56 |
| 19 | Соотношения минутных измерений приборов №920602 и №060904 в сентябре, ноябре 2012 года. | 57 |
| 20 | Относительные спектральные чувствительности при трех температурах Стрелками показаны максимумы в спектральной чувствительности | 58 |
| 21 | Зависимость температуры прибора (Т №920602) от температуры воздуха (Т air) в 2012 г. | 58 |
| 22 | Отношение минутных одновременных измерений приборов в мае, сентябре и ноябре в зависимости от температуры прибора №920602 в 2012 г. | 59 |
| 23 | Зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха. | 60 |

| | | |
|----|---|----|
| 24 | Отношение между измерениями контрольного и регистрирующего прибора и отношение регистрирующего прибора к модельным расчетам при ясном небе в зависимости от температуры регистрирующего прибора. | 60 |
| 25 | Отношение измерений регистрирующего прибора к модельным расчетам с учетом и без учета температурной коррекции в ясных условиях. | 61 |
| 26 | Среднемесячные суммы эритемной УФР в соответствии с архивом версии 2 и версии 3 с 95% доверительными интервалами (левая ось). Delta – относительная разница между данными архива версии 3 и версии 2 (правая ось) 1999-2012 гг. | 62 |
| 27 | Спектральное распределение Q_{ery} и Q_{vitD} при ясном небе. Общее содержание озона 350 ед. Добсона, АОТ380=0,1, высота Солнца (hsun) 20° и 50° | 64 |
| 28 | Сечение поглощения озона ($см^2$) по оси ординат, волновое число по оси абсцисс (1/см) при температуре 260К. Источник http://hitran.org/ | 66 |
| 29 | RAF за счет общего содержания озона для Q_{ery} и Q_{vitD} в зависимости от высоты Солнца | 68 |
| 30 | Относительные изменения БАУФР за счет общего содержания озона | 70 |
| 31 | Относительное ослабление БАУФР как функция АОТ на 340нм для SSA=0.94 и 0.86 по модельным и экспериментальным данным, полученным в МО МГУ. Высота Солнца 60 и ОСО 350 ед.Добсона. | 71 |
| 32 | Среднемесячные распределения общего содержания озона по данным TOMS (1979-2003гг.) | 76 |
| 33 | Среднемесячные распределения аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм | 79 |
| 34 | Среднемесячные распределения скорости ветра, январь-апрель | 80 |
| 35 | Среднемесячные распределения скорости ветра, май-август . . | 81 |
| 36 | Среднемесячные распределения скорости ветра, сентябрь-декабрь | 82 |
| 37 | Среднемесячные распределения количества осадков, январь-апрель | 83 |
| 38 | Среднемесячные распределения количества осадков, май-август | 84 |

| | | |
|----|---|-----|
| 39 | Среднемесячные распределения количества осадков, сентябрь-декабрь | 85 |
| 40 | Среднемесячные распределения альbedo поверхности в УФ-диапазоне спектра | 87 |
| 41 | (а) Связь между альbedo системы облачность-земная поверхность (A_{system}) и облачной оптической толщиной (τ) при различных значениях альbedo поверхности (A). (б) Связь между A_{system} и облачным пропусканием (CTO) при различных значениях альbedo поверхности (A). Использованы данные работы [129]. Высота Солнца 30 градусов. | 90 |
| 42 | Балл нижней облачности по различным базам данных для Москвы | 95 |
| 43 | Альbedo поверхности по различным базам данных для Москвы | 97 |
| 44 | CQ в зависимости от балла нижней облачности для января-марта | 97 |
| 45 | CQ в зависимости от балла нижней облачности для двух вариантов альbedo поверхности 5 и 40%. | 98 |
| 46 | Среднемесячные значения облачного пропускания (CQ) для московских условий, определенные различными методами: $CQ_{300-380}$ - по данным измерений УФР 300-380, $CQ_{er_{meas}}$ - по данным измерений эритемной УФР, $CQ_{er_{model}}$ - с привлечением модельных расчетов при безоблачном небе. Для оценок CQ , полученным по экспериментальным данным, приведены 95% доверительные интервалы. | 99 |
| 47 | Среднемесячные распределения облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра и давление на уровне моря NOAA NCER-NCAR CDAS-1 MONTHLY Intrinsic dataset (1949-2014) | 104 |
| 48 | Относительные изменения эритемной УФР за счет различных факторов. а – за счет поглощения озоном (нормирование на величину Q_{ery} при OSO , равном 273 ед.Добсона) б – за счет ослабления аэрозолями (нормирование на величину Q_{ery} при $AOT_{380}=0$) в – за счет отражения поверхностью (нормирование на величину Q_{ery} при альbedo = 0) | 108 |
| 49 | Распределение УФ-индексов в ясных условиях | 109 |

| | | |
|----|--|-----|
| 50 | Разность между УФ-индексами в ясных и средних облачных условиях | 110 |
| 51 | Распределение УФ-индексов в средних облачных условиях . . . | 111 |
| 52 | Зависимость открытости тела человека от эффективной температуры воздуха | 117 |
| 53 | Открытость тела человека и эффективная температура воздуха в центральные месяцы года | 119 |
| 54 | Пороговые значения радиации для образования витамина D в центральные месяцы года | 120 |
| 55 | Среднемесячные значения общего содержания озона (X), аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм (АОТ380), эффективного облачного пропускания с учетом влияния альбедо поверхности (CQ_A), синуса высоты Солнца (1999-2013гг.) . | 123 |
| 56 | Сезонный ход средних и экстремальных (минимальных и максимальных) и коэффициента вариации месячных доз Q_{ery} . . . | 124 |
| 57 | Сезонный ход первых четырех моментов распределения для суточных доз Q_{ery} с 95% доверительными интервалами. | 126 |
| 58 | Относительные частоты для суточных доз Q_{ery} , в январе (а) и июле (b), 1999-2013. | 127 |
| 59 | а) средние часовые дозы Q_{ery} (Дж/м ²), б) стандартное отклонение часовых доз Q_{ery} (Дж/м ²) | 127 |
| 60 | Относительные потери Q_{ery} за счет общего содержания озона (total ozone content), облачности (cloud transmission) и аэрозолей (aerosols). | 129 |
| 61 | Повторяемость УФ-ресурсов для различных типов кожи в Москве | 131 |
| 62 | Климатология околополуденных часовых (11-12 часов солнечного времени) доз эритемной УФР в Москве 1999-2013гг. Серыми кривыми показано стандартное отклонение для доз эритемной УФР. Зеленая, оранжевая, голубая, красная и фиолетовая кривые - пороговые дозы УФР для образования витамина D . . | 134 |
| 63 | Доля дней в процентах, в которые наблюдаемые часовые суммы были выше, чем пороговые значения эритемной радиации для образования витамина D, для каждого месяца, усредненные значения для периода 1999-2013гг. | 135 |

| | | |
|----|---|-----|
| 64 | Схема расчета эритемной УФР | 136 |
| 65 | Схема расчета УФ-ресурсов | 137 |
| 66 | УФ-ресурсы в безоблачных условиях для второго типа кожи . . | 142 |
| 67 | УФ-ресурсы в безоблачных условиях для четвертого типа кожи | 143 |
| 68 | УФ-ресурсы в средних облачных условиях для второго типа кожи | 147 |
| 69 | УФ-ресурсы в средних облачных условиях для четвертого типа кожи | 148 |
| 70 | Вклад облачности в изменение категорий УФ-ресурсов для вто- рого типа кожи | 150 |
| 71 | Вклад облачности в изменение категорий УФ-ресурсов для чет- вертого типа кожи | 151 |
| 72 | УФ-оптимум для различных типов кожи человека. | 153 |
| 73 | Схема взаимодействия клиентской и серверной частей програм- мы. | 154 |
| 74 | Схема расчета доз эритемной УФР и УФ-ресурсов | 156 |
| 75 | Сравнение расчетов часовых доз эритемной УФР с измерения- ми в Москве | 159 |
| 76 | Относительная разница между рассчитанными и измеренными значениями Q_{ery} [154] | 160 |
| 77 | Свидетельство о регистрации программы | 208 |

Список таблиц

| | | |
|----|--|-----|
| 1 | Основные полосы поглощения земной атмосферы в УФ-области спектра [17] | 17 |
| 2 | Характеристики различных типов облаков [28] | 26 |
| 3 | Соотношение между классификациями типов кожи Фитцпатрика и фон Лушана | 31 |
| 4 | Номенклатура доз БАУФР по [63] | 38 |
| 5 | Основные спутники, снабженные инструментами для измерения общего содержания озона (ОСО) и УФР (по данным http://www.wmo-sat.info/oscar/instruments) | 45 |
| 6 | Первичные наземные и спутниковые данные об основных параметрах, влияющих на УФР | 55 |
| 7 | Значения радиационных факторов усиления RAF_p эритемной радиации и радиации, способствующей образованию витамина D3, для наиболее значимых параметров: высоты Солнца (RAF_h), общего содержания озона (RAF_X), аэрозольной оптической толщины (RAF_{AOT}), оптической толщины облаков (RAF_τ), альбедо поверхности (RAF_A). | 65 |
| 8 | Относительные изменения БАУФР за счет облачности при различных значениях альбедо поверхности и вклад переотраженной радиации при различных условиях облачности. Высота Солнца 40° и ОСО 350 ед.Добсона, $AOT_{380}=0.15$ | 72 |
| 9 | Использованные базы данных по баллу нижней облачности. | 94 |
| 10 | Облачное пропускание (CQ) в Москве по различным данным | 101 |
| 11 | Атмосферные параметры, использованные при расчете электронных таблиц для расчетов УФР | 106 |
| 12 | Атмосферные профили, используемые при создании электронных таблиц | 106 |
| 13 | Типы кожи, соответствующие им минимальные эритемные дозы (MED) по [87] | 114 |
| 14 | Верхние границы категорий УФ-ресурсов в значениях УФ-индексов | 122 |
| 15 | Статистические характеристики суточных доз эритемной УФР, кДж/м ² (среднее, максимум, минимум, стандартное отклонение (SD), коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса) | 125 |

| | | |
|----|--|-----|
| 16 | Максимальные УФ-индексы (UVI) в Москве | 128 |
| 17 | Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, безоблачные условия 2 тип кожи. | 138 |
| 18 | Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, безоблачные условия 4 тип кожи. | 138 |
| 19 | Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, средние облачные условия 2 тип кожи. | 145 |
| 20 | Количество узлов одноградусной сетки в % на территории Северной Евразии, занятых определенной категорией УФ-ресурсов, средние облачные условия 4 тип кожи. | 145 |

Приложение

ИНТЕРАКТИВНАЯ ИНТЕРНЕТ-ПРОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УФ-РЕСУРСОВ И РАСЧЕТА ДОЗ ЭРИТЕМНОЙ УФ-РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Аннотация: Интерактивная программа предназначена для определения УФ-ресурсов и расчета доз эритемной ультрафиолетовой радиации на территории Северной Евразии. Программа позволяет рассчитать часовые дозы эритемной ультрафиолетовой радиации для ясной и облачной погоды с учетом альбедо поверхности и высоты места над уровнем моря, а также средние климатические значения доз эритемной ультрафиолетовой радиации и значения доз эритемной ультрафиолетовой радиации для условий, задаваемых пользователем.

Язык: python 2.7, javascript

Объем программы (исходного текста): 29,8 Кб

```

1 #!/usr/bin/python
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3
4 import sys
5 import cgi, cgitb
6 from math import asin, sin, cos, exp, pi
7
8 def error_response(err_str):
9     ''' function to return XML with error string '''
10    xml_error_template = ("\n"
11                          "\t<error>%s</error>\n"
12                          "</root>")
13
14    print "Content-type: text/xml"
15    print
16    print "<?xml version='1.0'?>"
17    print xml_error_template % (err_str)
18    sys.exit(0)
19
20 def parse_request(form):
21     ''' function to parse input request parameters '''
22     try:
23         # latitude value check
24         if (form.has_key("lat")):
25             lat = float(form.getvalue('lat').replace(',','.'))
26         else:
27             raise Exception("Enter latitude")
28

```

```
29 # longitude value check
30 if (form.has_key("lon")):
31     lon = float(form.getvalue('lon').replace(',','.'))
32 else:
33     raise Exception("Enter longitude")
34
35 # altitude value check
36 if (form.has_key("altitude")):
37     alt = float(form.getvalue('altitude').replace(',','.'))
38     if (alt < 0) or (alt > 9):
39         raise Exception("Incorrect altitude input. Range: 0 - 9 km")
40 else:
41     raise Exception("Enter altitude")
42
43 # month value check
44 if (form.has_key("mon")):
45     mon = float(form.getvalue('mon').replace(',','.'))
46 else:
47     raise Exception("Enter month")
48
49 # day value check
50 if (form.has_key("day")):
51     day = float(form.getvalue('day').replace(',','.'))
52     if ((mon == 2) and (day > 29)) or ((mon == 4) and (day > 30)) \
53     or ((mon == 6) and (day > 30)) or ((mon == 9) and (day > 30)) \
54     or ((mon == 11) and (day > 30)):
55         raise Exception("Incorrect day input")
56 else:
57     raise Exception("Enter day")
58
59 # fraction value check
60 if (form.has_key("fraction")):
61     body_fraction = float(form.getvalue('fraction').replace(',','.'))
62     if (body_fraction < 0) or (body_fraction > 1):
63         raise Exception("Incorrect open body fraction input. Range [0,1]
64         ")
65 else:
66     raise Exception("Enter open body fraction")
67
68 # skin type check
69 if (form.has_key("skin_type")):
70     skin_type = float(form.getvalue('skin_type').replace(',','.'))
71     if (skin_type < 1) or (skin_type > 6):
72         raise Exception("Incorrect skin type")
73 else:
74     raise Exception("Enter skin type")
75
```

```
76 # albedo check
77 alb = 0
78 if (form.has_key("albedo_mode")):
79     albedo_mode = int(form.getvalue('albedo_mode'))
80     if (albedo_mode == 1):
81         if (form.getvalue('albedo') is None):
82             raise Exception("Enter albedo")
83         else:
84             alb = float(form.getvalue('albedo').replace(',','.'))
85             if ((alb < 0.0) or (alb > 90.0)):
86                 raise Exception("Albedo must be in range 0...90%")
87     else:
88         raise Exception("Select albedo mode")
89
90 ozone = 0
91 # ozone check
92 if (form.has_key("ozone_mode")):
93     ozone_mode = int(form.getvalue('ozone_mode'))
94     if (ozone_mode == 1):
95         if (form.getvalue('ozone') is None):
96             raise Exception("Enter ozone")
97         else:
98             ozone = float(form.getvalue('ozone').replace(',','.'))
99             if ((ozone < 150.0) or (ozone > 490.0)):
100                 raise Exception("Total ozone content must be in range
101                                 150...490 DU")
102     else:
103         raise Exception("Select ozone mode")
104
105 AOT380 = 0
106 # aot check
107 if (form.has_key("aot_mode")):
108     aot_mode = int(form.getvalue('aot_mode'))
109     if (aot_mode == 1):
110         if (form.getvalue('aot') is None):
111             raise Exception("Enter aot")
112         else:
113             AOT380 = float(form.getvalue('aot').replace(',','.'))
114             if ((AOT380 < 0.0) or (AOT380 > 0.99)):
115                 raise Exception("Aerosol optical thikness at 380 nm must
116                                 be in range 0...0.99")
117     else:
118         raise Exception("Select aot mode")
119
120 if (form.has_key("cloud_mode")):
121     cloud_mode = int(form.getvalue('cloud_mode'))
122 else:
123     raise Exception("Select conditions of cloudiness")
```

```

122
123     if (cloud_mode == 1):
124         cloud = 1;
125     elif (cloud_mode == 2):
126         cloud = 2;
127     elif (cloud_mode == 3):
128         cloud = 3;
129
130     cq = 0
131     if (cloud_mode == 3):
132         if (form.getvalue('cq') is None):
133             raise Exception("Enter cloud modification factor")
134         else:
135             cq = float(form.getvalue('cq').replace(',','.'))
136             if ((cq < 0.0) or (cq > 1)):
137                 raise Exception("Cloud modification factor must be in
138                                 range 0...1")
139
140     if (mon == 1 and (((lat < 40.5 or lat > 61.5) or (lon < -25.5 or lon >
141                    179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 61.5) or (lon > -170.5 or lon <
142                    -179.5)))) ):
143         raise Exception("No data.\nFor january data is available for 40.5N
144                        -61.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W), forward to North - UV
145                        deficiency")
146     elif (mon == 2 and (((lat < 40.5 or lat > 68.5) or (lon < -25.5 or lon >
147                    179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 68.5) or (lon > -170.5 or lon <
148                    -179.5)))) ):
149         raise Exception("No data.\nFor february data is available for 40.5N
150                        -68.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W), forward to North - UV
151                        deficiency")
152     elif (mon == 3 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
153                    179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
154                    -179.5)))) ):
155         raise Exception("No data.\nFor march data is available for 40.5N
156                        -68.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
157     elif (mon == 4 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
158                    179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
159                    -179.5)))) ):
160         raise Exception("No data.\nFor april data is available for 40.5N
161                        -79.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
162     elif (mon == 5 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
163                    179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
164                    -179.5)))) ):
165         raise Exception("No data.\nFor may data is available for 40.5N-79.5N
166                        and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
167     elif (mon == 6 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
168                    179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
169                    -179.5)))) ):

```

```

150         raise Exception("No data.\nFor june data is available for 40.5N-79.5
           N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
151     elif (mon == 7 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
           179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
           -179.5)))) ):
152         raise Exception("No data.\nFor july data is available for 40.5N-79.5
           N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
153     elif (mon == 8 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
           179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
           -179.5)))) ):
154         raise Exception("No data.\nFor august data is available for 40.5N
           -79.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
155     elif (mon == 9 and (((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon < -25.5 or lon >
           179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 79.5) or (lon > -170.5 or lon <
           -179.5)))) ):
156         raise Exception("No data.\nFor september data is available for 40.5N
           -79.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
157     elif (mon == 10 and (((lat < 40.5 or lat > 72.5) or (lon < -25.5 or lon >
           179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 72.5) or (lon > -170.5 or lon <
           -179.5)))) ):
158         raise Exception("No data.\nFor october data is available for 40.5N
           -72.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W)")
159     elif (mon == 11 and (((lat < 40.5 or lat > 62.5) or (lon < -25.5 or lon >
           179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 62.5) or (lon > -170.5 or lon <
           -179.5)))) ):
160         raise Exception("No data.\nFor november data is available for 40.5N
           -62.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W), forward to North - UV
           deficiency")
161     elif (mon == 12 and (((lat < 40.5 or lat > 59.5) or (lon < -25.5 or lon >
           179.5)) and ((lat < 40.5 or lat > 59.5) or (lon > -170.5 or lon <
           -179.5)))) ):
162         raise Exception("No data.\nFor december data is available for 40.5N
           -59.5N and (25.5W-179.5E, 170.5W-179.5W), forward to North - UV
           deficiency")
163
164     except Exception, e:
165         error_response(e.message)
166
167     params = {'lat': lat, 'lon': lon, 'alt': alt, 'mon': mon, 'day': day,
168             'body_fraction': body_fraction, 'skin_type': skin_type,
169             'albedo_mode': albedo_mode, 'alb': alb,
170             'ozone_mode': ozone_mode, 'ozone': ozone,
171             'aot_mode': aot_mode, 'AOT380': AOT380,
172             'cloud': cloud, 'cloud_mode': cloud_mode, 'cq': cq }
173
174     return params
175
176 def extract_dec(mon, day):

```

```

177 data_dec = []
178 infile = open('declination.dat', 'r')
179 infile.readline() # skip first line
180 for line in infile:
181     words = line.split()
182     number = float(words[mon - 1])
183     data_dec.append(number)
184 infile.close()
185 declination = data_dec[day - 1]
186 #print 'declination:', declination
187 return declination
188
189 def extract_data(filename, column):
190     '''read data from file'''
191     data = []
192     infile = open(filename, 'r')
193     infile.readline() # skip first line
194     for line in infile:
195         words = line.split()
196         number = float(words[column])
197         data.append(number)
198     infile.close()
199     return data
200
201 def calculate_interpolation(z, sun_elevation, AOT380, ozone, x, y, w):
202     '''function to calculate instantaneous radiation'''
203     for i in range(0, 50219):
204         if (x[i] > sun_elevation) and (y[i] > AOT380) and (w[i] > ozone):
205             res1 = ((z[i]-z[i-1])/(y[i]-y[i-1]))*(AOT380-y[i-1])+z[i-1]
206             res2 = ((z[i-558]-z[i-559])/(y[i-558]-y[i-559]))*(AOT380-y[i-559]))
207                 +z[i-559]
208             res3 = (((res1-res2)/(x[i]-x[i-558]))*(sun_elevation-x[i-558]))+res2
209                 ;
210             res4 = (((z[i-31]-z[i-32])/(y[i-31]-y[i-32]))*(AOT380-y[i-32]))+z[i
211                 -32]
212             res5 = (((z[i-589]-z[i-590])/(y[i-589]-y[i-590]))*(AOT380-y[i-590]))
213                 +z[i-590];
214             res6 = (((res4-res5)/(x[i]-x[i-558]))*(sun_elevation-x[i-558]))+res5
215                 ;
216             result = (((res3-res6)/(w[i]-w[i-31]))*(ozone-w[i-31]))+res6
217             return result
218         elif (x[i] == sun_elevation) and (y[i] > AOT380) and (w[i] > ozone):
219             res1 = z[i-1]+(z[i]-z[i-1])/(y[i]-y[i-1))*(AOT380-y[i-1])
220             res2 = z[i-32]+(z[i-31]-z[i-32])/(y[i-31]-y[i-32))*(AOT380-y[i-32])
221             result = res2+(res1-res2)/(w[i]-w[i-31))*(ozone-w[i-31])
222             return result
223         elif (x[i] == sun_elevation) and (y[i] > AOT380) and (w[i] == ozone):
224             result = z[i-1]+(z[i]-z[i-1])/(y[i]-y[i-1))*(AOT380-y[i-1])

```



```

220         return result
221     elif (x[i] == sun_elevation) and (y[i] == AOT380) and (w[i] > ozone):
222         result = z[i-31]+(z[i]-z[i-31])/(w[i]-w[i-31])*(ozone-w[i-31])
223         return result
224     elif (x[i] > sun_elevation) and (y[i] == AOT380) and (w[i] == ozone):
225         result = z[i-558]+(z[i]-z[i-558])/(x[i]-x[i-558])*(sun_elevation-x[i
-558])
226         return result
227     elif (x[i] > sun_elevation) and (y[i] > AOT380) and (w[i] == ozone):
228         res1 = z[i-1]+(z[i]-z[i-1])/(y[i]-y[i-1])*(AOT380-y[i-1])
229         res2 = z[i-559]+(z[i-558]-z[i-559])/(y[i-558]-y[i-559])*(AOT380-y[i
-559])
230         result = res2+(res1-res2)/(x[i]-x[i-558])*(sun_elevation-x[i-558])
231         return result
232     elif (x[i] > sun_elevation) and (y[i] == AOT380) and (w[i] > ozone):
233         res1 = z[i-31]+(z[i]-z[i-31])/(w[i]-w[i-31])*(ozone-w[i-31])
234         res2 = z[i-589]+(z[i-558]-z[i-589])/(w[i-558]-w[i-589])*(ozone-w[i
-589])
235         result = res2+(res1-res2)/(x[i]-x[i-558])*(sun_elevation-x[i-558])
236         return result
237     elif (x[i] == sun_elevation) and (y[i] == AOT380) and (w[i] == ozone):
238         result = z[i]
239         return result
240
241 def calculate_interpolation_input(N, lat,lon,latitude, longitude, oz, AOT, alb1,
    cq):
242     for j in range(0, N):
243         if (lat[j] == latitude) and (lon[j] == longitude):
244             ozone = oz [j]
245             AOT380 = AOT[j]
246             alb = alb1 [j]
247             cq = cq [j]
248             return ozone, AOT380, alb, cq
249         if (lat[j] > latitude) and (lon[j] > longitude):
250             ozone_1 = oz[j-1]+(oz[j] - oz[j-1])*(longitude - lon[j-1])
251             AOT380_1 = AOT[j-1]+(AOT[j] - AOT[j-1])*(longitude - lon[j-1])
252             alb_1 = alb1[j-1]+(alb1[j] - alb1[j-1])*(longitude - lon[j-1])
253             cq_1 = cq[j-1]+(cq[j] - cq[j-1])*(longitude - lon[j-1])
254
255             ozone_2 = oz[j-217]+(oz[j-217] - oz[j-216])*(longitude - lon[j-216])
256             AOT380_2 = AOT[j-217]+(AOT[j-217] - AOT[j-216])*(longitude - lon[j
-216])
257             alb_2 = alb1[j-217]+(alb1[j-217] - alb1[j-216])*(longitude - lon[j
-216])
258             cq_2 = cq[j-217]+(cq[j-217] - cq[j-216])*(longitude - lon[j-216])
259
260             ozone = ozone_1 + (ozone_2-ozone_1)*(latitude - lat[j-217])
261             AOT380 = AOT380_1 + (AOT380_2-AOT380_1)*(latitude - lat[j-217])

```

```

262         alb = alb_1 + (alb_2-alb_1)*(latitude - lat[j-217])
263         cq = cq_1 + (cq_2-cq_1)*(latitude - lat[j-217])
264         return ozone, AOT380, alb, cq
265     if (lat[j] > latitude) and (lon[j] == longitude):
266         ozone = oz[j-216]+(oz[j] - oz[j-216])*(latitude - lat[j-216])
267         AOT380 = AOT[j-216]+(AOT[j] - AOT[j-216])*(latitude - lat[j-216])
268         alb = alb1[j-216]+(alb1[j] - alb1[j-216])*(latitude - lat[j-216])
269         cq = cq[j-216]+(cq[j] - cq[j-216])*(latitude - lat[j-216])
270         return ozone, AOT380, alb, cq
271     if (lat[j] == latitude) and (lon[j] > longitude):
272         ozone = oz[j-1]+(oz[j] - oz[j-1])*(longitude - lon[j-1])
273         AOT380 = AOT[j-1]+(AOT[j] - AOT[j-1])*(longitude - lon[j-1])
274         alb = alb1[j-1]+(alb1[j] - alb1[j-1])*(longitude - lon[j-1])
275         cq = cq[j-1]+(cq[j] - cq[j-1])*(longitude - lon[j-1])
276         return ozone, AOT380, alb, cq
277
278 def dose_calculation (latitude,longitude,declination,altitude,alb,aot_mode,
ozone_mode, AOT380, ozone, mon,day, cq, z, x, y, w):
279     hour = 12
280     s = []
281     L = 0
282     while (L <= 10):
283         TT = (hour - 12) + L * 0.05
284         d = pi*latitude/180
285         b = pi*declination/180
286         c = TT*15*pi/180
287         hsun = asin(sin(d)*sin(b)+cos(d)*cos(b)*cos(c))
288         sun_elevation = hsun*180/pi
289
290     if (sun_elevation >= 1):
291         G0 = -0.0000000229167*sun_elevation**4+0.00000410648*sun_elevation
                **3-0.000272014*sun_elevation**2+0.00761772*sun_elevation
                -0.00983333
292         A_m = (1 + G0 * altitude)
293         A_x = 1
294         if (ozone_mode == 2):
295             RAFx = -1.10E-04 * sun_elevation**2 + 1.57E-02 * sun_elevation +
                0.665
296             A_x = (ozone/(ozone - 3.5 * altitude))**RAFx
297
298         r = -0.024*altitude + 0.394
299         A_a = (1/(1-r*alb*0.01))
300
301         A_AOT = 1
302         if (altitude > 1) and (aot_mode == 2):
303             m = 1/(sin(hsun) + 0.50572 * (96.07995 - (90 - sun_elevation)
                **-1.6364))
304             B = 0.94 *(0.42 * m + 0.93) - (0.49 * m + 0.97)

```

```

305         if (longitude <= 60):
306             AOT_h = AOT380 * altitude**(-1.65)
307         else:
308             AOT_h = AOT380 * exp(-0.2*altitude)
309         A_AOT = (1 + AOT_h * B)/(1 + AOT380 * B)
310
311         if (sun_elevation >= 1):
312             result = calculate_interpolation(z, sun_elevation, AOT380, ozone, x,
313                 y, w)
314             A_UV = A_m * A_a * A_AOT * A_x
315             result = result * A_UV
316             s.append(result)
317         else:
318             s.append(0)
319         L = L + 1
320         sum1 = s[0] + s[-1]
321         sum2 = sum(s[1:-1])
322         total_dose = 2*(sum1*90 + 180*sum2)
323         del s, sum1, sum2
324         s = []
325         total_dose = total_dose * cq
326
327         if (mon == 1):
328             ul_day = day
329         if (mon == 2):
330             ul_day = 31 + day
331         if (mon == 3):
332             ul_day = 60 + day
333         if (mon == 4):
334             ul_day = 91 + day
335         if (mon == 5):
336             ul_day = 121 + day
337         if (mon == 6):
338             ul_day = 152 + day
339         if (mon == 7):
340             ul_day = 182 + day
341         if (mon == 8):
342             ul_day = 213 + day
343         if (mon == 9):
344             ul_day = 244 + day
345         if (mon == 10):
346             ul_day = 274 + day
347         if (mon == 11):
348             ul_day = 305 + day
349         if (mon == 12):
350             ul_day = 335 + day
351         Kmult = 1.00011-0.034221*cos(0.017214*ul_day)+0.00128*sin(0.017214*ul_day)
352             -0.000719*cos(2*0.017214*ul_day)+0.000077*sin(2*0.017214*ul_day)

```



```

394         A_AOT = (1 + AOT_h * B)/(1 + AOT380 * B)
395
396
397         if (sun_elevation >= 1):
398             result = calculate_interpolation(z, sun_elevation, AOT380, ozone
399                 , x, y, w)
400             A_UV = A_m * A_a * A_AOT * A_x
401             result = result * A_UV
402             s.append(result)
403         else:
404             s.append(0)
405             L = L + 1
406             sum1 = s[0] + s[-1]
407             sum2 = sum(s[1:-1])
408             total_sum.append (sum1*90 + 180*sum2)
409             del s, sum1, sum2
410             s = []
411             hour = hour + 1
412
413 total_daily_dose = 0.0
414
415 for ii in range(0,12):
416     total_daily_dose = total_daily_dose + total_sum[ii]
417
418 total_daily_dose = 2*total_daily_dose * cq
419
420 if (mon == 1):
421     ul_day = day
422 if (mon == 2):
423     ul_day = 31 + day
424 if (mon == 3):
425     ul_day = 60 + day
426 if (mon == 4):
427     ul_day = 91 + day
428 if (mon == 5):
429     ul_day = 121 + day
430 if (mon == 6):
431     ul_day = 152 + day
432 if (mon == 7):
433     ul_day = 182 + day
434 if (mon == 8):
435     ul_day = 213 + day
436 if (mon == 9):
437     ul_day = 244 + day
438 if (mon == 10):
439     ul_day = 274 + day
440 if (mon == 11):

```

```

441     ul_day = 305 + day
442 if (mon == 12):
443     ul_day = 335 + day
444
445
446     Kmult = 1.00011-0.034221*cos(0.017214*ul_day)+0.00128*sin(0.017214*ul_day)
         -0.000719*cos(2*0.017214*ul_day)+0.000077*sin(2*0.017214*ul_day)
447     total_daily_dose = total_daily_dose/Kmult
448     return total_daily_dose
449
450
451
452 def UVres_calculation (MED,body_fraction,skin_type,total_dose, total_daily_dose)
    :
453     thresholdvitD = MED * (1000.0/10000)/ body_fraction
454
455     if (skin_type == 1):
456         if (total_daily_dose < thresholdvitD):
457             consult_result = '100% UV deficiency'
458         elif (total_dose < thresholdvitD):
459             consult_result = 'Noon UV deficiency'
460         elif (total_dose >= thresholdvitD) and (total_dose < 216):
461             consult_result = 'UV optimum'
462         elif (total_dose >= 216) and (total_dose < 396):
463             consult_result = 'UV excess moderate'
464         elif (total_dose >= 396) and (total_dose < 540):
465             consult_result = 'UV excess high'
466         elif (total_dose >= 540):
467             consult_result = 'UV excess very high'
468     elif (skin_type == 2):
469         if (total_daily_dose < thresholdvitD):
470             consult_result = '100% UV deficiency'
471         elif (total_dose < thresholdvitD):
472             consult_result = 'Noon UV deficiency'
473         elif (total_dose >= thresholdvitD) and (total_dose < 270):
474             consult_result = 'UV optimum'
475         elif (total_dose >= 270) and (total_dose < 495):
476             consult_result = 'UV excess moderate'
477         elif (total_dose >= 495) and (total_dose < 675):
478             consult_result = 'UV excess high'
479         elif (total_dose >= 675):
480             consult_result = 'UV excess very high'
481     elif (skin_type == 3):
482         if (total_daily_dose < thresholdvitD):
483             consult_result = '100% UV deficiency'
484         elif (total_dose < thresholdvitD):
485             consult_result = 'Noon UV deficiency'
486         elif (total_dose >= thresholdvitD) and (total_dose < 324):

```

```
487         consult_result = 'UV optimum'
488     elif (total_dose >= 324) and (total_dose < 594):
489         consult_result = 'UV excess moderate'
490     elif (total_dose >= 594) and (total_dose < 810):
491         consult_result = 'UV excess high'
492     elif (total_dose >= 810):
493         consult_result = 'UV excess very high'
494 elif (skin_type == 4):
495     if (total_daily_dose < thresholdvitD):
496         consult_result = '100% UV deficiency'
497     elif (total_dose < thresholdvitD):
498         consult_result = 'Noon UV deficiency'
499     elif (total_dose >= thresholdvitD) and (total_dose < 486):
500         consult_result = 'UV optimum'
501     elif (total_dose >= 486) and (total_dose < 891):
502         consult_result = 'UV excess moderate'
503     elif (total_dose >= 891) and (total_dose < 1215):
504         consult_result = 'UV excess high'
505     elif (total_dose >= 1215):
506         consult_result = 'UV excess very high'
507 elif (skin_type == 5):
508     if (total_daily_dose < thresholdvitD):
509         consult_result = '100% UV deficiency'
510     elif (total_dose < thresholdvitD):
511         consult_result = 'Noon UV deficiency'
512     elif (total_dose >= thresholdvitD) and (total_dose < 648):
513         consult_result = 'UV optimum'
514     elif (total_dose >= 648) and (total_dose < 1188):
515         consult_result = 'UV excess moderate'
516     elif (total_dose >= 1188) and (total_dose < 1620):
517         consult_result = 'UV excess high'
518     elif (total_dose >= 1620):
519         consult_result = 'UV excess very high'
520 elif (skin_type == 6):
521     if (total_daily_dose < thresholdvitD):
522         consult_result = '100% UV deficiency'
523     elif (total_dose < thresholdvitD):
524         consult_result = 'Noon UV deficiency'
525     elif (total_dose >= thresholdvitD) and (total_dose < 1080):
526         consult_result = 'UV optimum'
527     elif (total_dose >= 1080) and (total_dose < 1980):
528         consult_result = 'UV excess moderate'
529     elif (total_dose >= 1980) and (total_dose < 2700):
530         consult_result = 'UV excess high'
531     elif (total_dose >= 2700):
532         consult_result = 'UV excess very high'
533 return (consult_result)
534
```

```
535 def main():
536     cgitb.enable()
537     form = cgi.FieldStorage()
538
539     params = parse_request(form)
540     skin_type = params['skin_type']
541
542     # [skin_type : MED]
543     MED_dict = {1: 200,
544                2: 250,
545                3: 300,
546                4: 450,
547                5: 600,
548                6: 1000 }
549
550     MED = MED_dict[skin_type]
551
552     filename_mon = []
553
554     filename_dict = {
555         1: ['INPUT_january.txt', 4751],
556         2: ['INPUT_february.txt', 6263],
557         3: ['INPUT_march.txt', 8639],
558         4: ['INPUT_april.txt', 8639],
559         5: ['INPUT_may.txt', 8639],
560         6: ['INPUT_june.txt', 8639],
561         7: ['INPUT_july.txt', 8639],
562         8: ['INPUT_august.txt', 8639],
563         9: ['INPUT_september.txt', 8639],
564         10: ['INPUT_october.txt', 7127],
565         11: ['INPUT_november.txt', 4967],
566         12: ['INPUT_december.txt', 4319] }
567
568     mon = int(params['mon'])
569     filename_mon = filename_dict[mon][0];
570     N = filename_dict[mon][1];
571
572     lat = extract_data(filename_mon, 0)
573     lon = extract_data(filename_mon, 1)
574     AOT = extract_data(filename_mon, 2)
575     oz = extract_data(filename_mon, 3)
576     alb1 = extract_data(filename_mon, 4)
577     cq1 = extract_data(filename_mon, 5)
578
579     latitude = params['lat']
580     longitude = params['lon']
581     altitude = params['alt']
582     day = int(params['day'])
```



```

583 ozone_mode = params['ozone_mode']
584 ozone = params['ozone']
585 aot_mode = params['aot_mode']
586 AOT380 = params['AOT380']
587 albedo_mode = params['albedo_mode']
588 alb = params['alb']
589 cloud = params['cloud']
590 cq = params['cq']
591 body_fraction = params['body_fraction']
592
593 oz_cl, AOT_cl, alb_cl, cq_cl = calculate_interpolation_input(N, lat,lon,
    latitude, longitude, oz, AOT, alb1, cq1)
594
595 if (ozone_mode == 2):
596     ozone = oz_cl
597 if (aot_mode == 2):
598     AOT380 = AOT_cl
599 if (albedo_mode == 2):
600     alb = alb_cl;
601 if (cloud == 1):
602     cq = 1
603 if (cloud == 2):
604     cq = cq_cl
605
606 if (ozone_mode == 2) or (aot_mode == 2):
607     filename_toms = 'alt_TOMS.txt'
608     alt_TOMS = extract_data(filename_toms, 2)
609     lat1 = extract_data(filename_toms, 0)
610     lon1 = extract_data(filename_toms, 1)
611
612 if (ozone_mode == 2) or (aot_mode == 2):
613     for j in range(0,11520):
614         if ((latitude <= lat1[j]+0.5) and (latitude > lat1[j]-0.5) and (
            longitude <= lon1[j] + 0.625) and (longitude > lon1[j] - 0.625))
            :
615             alt_TOMS1 = alt_TOMS [j]
616             if (alt_TOMS1 > 0):
617                 alt_TOMS1 = alt_TOMS1/1000
618                 if (ozone_mode == 2):
619                     delta_oz = alt_TOMS1*3.5
620                     ozone = ozone + delta_oz # on zero level
621
622
623 if (aot_mode == 2):
624     if (alt_TOMS1 > 1) and (altitude > 1) and (longitude <= 60):
625         AOT380 = AOT380/ alt_TOMS1**(-1.65) # on zero level
626     elif (alt_TOMS1 > 1) and (altitude > 1) and (longitude > 60):
627         AOT380 = AOT380/ exp(-0.2*alt_TOMS1) # on zero level

```

```

628
629 declination = extract_dec(mon, day)
630
631 filename = 'output0.txt'
632 x = extract_data(filename, 0)
633 y = extract_data(filename, 1)
634 w = extract_data(filename, 2)
635 z = extract_data(filename, 14)
636
637 if (altitude > 1) and (aot_mode == 2):
638     AOT_h, total_dose = dose_calculation (latitude, longitude, declination,
        altitude, alb, aot_mode, ozone_mode, AOT380, ozone, mon, day, cq, z,
        x, y, w)
639 else:
640     total_dose = dose_calculation (latitude, longitude, declination,
        altitude, alb, aot_mode, ozone_mode, AOT380, ozone, mon, day, cq, z,
        x, y, w)
641
642
643 total_daily_dose = daily_dose_calculation (latitude, longitude, declination,
        altitude, alb, aot_mode, ozone_mode, AOT380, ozone, mon, day, cq, z, x,
        y, w)
644
645 consult_result = UVres_calculation (MED, body_fraction, skin_type,
        total_dose, total_daily_dose)
646
647 xml_template = ("\n"
648 "\t<uv_resource>%(uv_resource_tmp)s</uv_resource>\n"
649 "\t<uv_dose>%(uv_dose_tmp).2f</uv_dose>\n"
650 "\t<uv_daily_dose>%(uv_daily_dose_tmp).2f</uv_daily_dose>\n"
651 "\t<aot380>%(aot380_tmp).2f</aot380>\n"
652 "\t<toc>%(toc_tmp).2f</toc>\n"
653 "\t<albedo>%(albedo_tmp).2f</albedo>\n"
654 "\t<cmf>%(cmf_tmp).2f</cmf>\n"
655 "</root>")
656
657 uv_resource_xml = consult_result
658 cmf_xml = cq
659 albedo_xml = alb
660 uv_dose_xml = total_dose
661 uv_daily_dose_xml = total_daily_dose
662
663 if (ozone_mode == 1) and (aot_mode == 1):
664     aot380_xml = AOT380
665     toc_xml = ozone
666 if (ozone_mode == 2) and (aot_mode == 2) and (altitude > 1):
667     aot380_xml = AOT_h
668     toc_xml = ozone-3.5*altitude

```

```
669     if (ozone_mode == 2) and (aot_mode == 2) and (altitude <= 1):
670         aot380_xml = AOT380
671         toc_xml = ozone-3.5*altitude
672     if (ozone_mode == 1) and (aot_mode == 2) and (altitude > 1):
673         aot380_xml = AOT_h
674         toc_xml = ozone
675     if (ozone_mode == 1) and (aot_mode == 2) and (altitude <= 1):
676         aot380_xml = AOT380
677         toc_xml = ozone
678     if (ozone_mode == 2) and (aot_mode == 1):
679         aot380_xml = AOT380
680         toc_xml = ozone-3.5*altitude
681
682     data = {
683         'uv_resource_tmp' : uv_resource_xml,
684         'uv_dose_tmp' : uv_dose_xml,
685         'uv_daily_dose_tmp' : uv_daily_dose_xml,
686         'aot380_tmp' : aot380_xml,
687         'toc_tmp' : toc_xml,
688         'albedo_tmp' : albedo_xml,
689         'cmf_tmp' : cmf_xml
690     }
691
692
693     print "Content-type: text/xml"
694     print
695     print "<?xml version='1.0'?>"
696     print xml_template%data
697
698 if __name__ == "__main__":
699     main()
```


РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015660523

**Интерактивная программа для определения УФ-ресурсов
и расчета доз эритемной УФ-радиации на территории
Северной Евразии**

Правообладатель: *Жданова Екатерина Юрьевна (RU)*

Автор: *Жданова Екатерина Юрьевна (RU)*

Заявка № **2015617503**

Дата поступления **14 августа 2015 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **01 октября 2015 г.**

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Л.Л. Кирий

Рисунок 77 — Свидетельство о регистрации программы