

УДК 551.586, 551.521.17

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

© 2015 г. Е.Ю. Жданова, Н.Е. Чубарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Разработана интерактивная программа 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 альbedo 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. Показано согласие рассчитываемых программой доз эритемной ультрафиолетовой радиации с экспериментальными данными для равнинных территорий в теплый период года. Программа доступна для свободного использования по адресу в Интернете <http://momsu.ru/uv/>.

Ключевые слова: интерактивная программа, эритемная ультрафиолетовая радиация, витамин D, УФ-ресурсы, Северная Евразия.

PACS 87.50.W-

Введение

Ультрафиолетовая радиация (УФР) оказывает существенное влияние на здоровье человека, в том числе на состояние его кожи, глаз, иммунной системы [Environmental..., 2011]. 90 % витамина D образуется в организме человека под воздействием УФР, однако избыточное УФ-облучение может привести к серьезным заболеваниям кожи (рак кожи) и глаз (фотокератит, катаракта, конъюнктивит, птеригиум и др.) [Holick, 2004]. Получаемые человеком через кожу дозы УФР могут быть недостаточными, оптимальными и избыточными. Категории «УФ-недостаточность», «УФ-оптимум» и «УФ-избыточность» объединяются в понятие «УФ-ресурсы» [Chubarova, Zhdanova, 2013].

Для оценок доз УФР используются данные наземных или спутниковых измерений, а также результаты радиационного моделирования. Наиболее точным способом оценки поступающих к поверхности Земли доз УФР являются наземные измерения. Погрешность измерений УФР широкополосными приборами, например, составляет всего 5 % [Чубарова, 2002]. Однако наземные измерения УФР не обеспечивают большого пространственного охвата. Наиболее густая сеть наземных высокоточных наблюдений УФР – в Европе, в частности в Германии и Австрии [Schallhart et al., 2008]. На территории Азии пункты измерений УФР расположены редко. Что касается спутниковых измерений, то сравнение спутниковых восстановлений доз эритемной УФР (эритема – первичное покраснение кожи человека под действием УФР) спутниковым радиометром OMI со спектральными наземными измерениями высокого качества показало, что в большинстве случаев для равнинных территорий без снежного покрова со средним содержанием в атмосфере поглощающих аэрозолей и газовых примесей спутниковые измерения в среднем переоценены на 0–10 %; 60–80 % данных спутниковых измерений находятся в диапазоне ± 20 % наземных измерений. Однако в местах, где влияние поглощающих аэрозолей и газовых примесей существенно, спутниковые данные переоценивают дозы эритемной УФР до 50 %. В высоких широтах спутниковые измерения, напротив, недооценивают, вплоть до 50 %, реальные дозы эритемной УФР из-за нереалистично низкого климатологического альбеда поверхности, применяемого в спутниковых алгоритмах [Kazantzidis et al., 2006; Tanskanen et al., 2007; Ialongo et al., 2008; Krzyścin et al., 2010]. Недооценка альбеда поверхности в переходные сезоны года по спутниковым данным связана с использованием в алгоритме TOMS/OMI минимальной ламбертовской отражательной способности (MLER), что приводит к недоучету влияния снежного покрова. Кроме того, в переходные сезоны высокая отражательная способность поверхности может также приниматься за облачные пиксели, что приводит к еще большему занижению восстановленных значений УФР [Chubarova et al., 2002, 2005].

На настоящее время имеются данные о пространственно-временном распределении эритемной УФР для различных территорий. Так, в работе [Schallhart et al., 2008] предложен метод построения карт УФР у поверхности Земли в реальном времени для территории Австрии с использованием данных наземных измерений и спутниковых снимков MSG (Meteosat Second Generation); этот же метод использован при построении карт распределения УФР на территории Греции. Карты эритемной УФР для каждого месяца составлены для территории Словакии [Pribulová, Chmelík, 2008]. Для территории Новой Зеландии был создан атлас различных видов биологически активной УФР (Режим доступа: <http://www.niwa.co.nz/>). Итогом работ по международному проекту COST726 (Режим доступа: <http://www.cost726.org>) стал электронный атлас суточных доз эритемной УФР для территории Европы (25° в.д. – 35° з.д.; 30° с.ш. – 80° с.ш.) с разрешением по пространству 1°×1° для периода 1958–2002 гг. [COST Action 726..., 2012]. Для территории Европы определена климатология годовых доз эритемной УФР [Climatology..., 2001] на основе данных радиационного моделирования с учетом изменений высоты Солнца и общего содержания озона по данным спутникового радиометра TOMS, но без учета вариаций аэрозольно-газового состава атмосфера в бесснежный период года.

Большое внимание уделяется изучению эритемной УФР, связанной с опасностью для здоровья человека. Однако после принятия Международной комиссией по освещению кривой действия образования витамина D под действием УФР [Action..., 2006] в литературе появились оценки влияния УФР на образование витамина D в различных регионах (см., например, [Fioletov et al., 2009, 2010; Kazantzidis et al., 2009]). Существуют работы (например, [Webb, Engelsens, 2006]), которые не только оценивают дозы УФР, необходимые для образования оптимального количества витамина D в организ-

мах людей с разным типом кожи и на разных широтах, но и время, за которое эта доза УФР может быть получена. Разработана интерактивная программа для расчета этого времени (Режим доступа: http://nadir.nilu.no/~olaeng/fastrt/VitD_quartMED.html).

К недостаткам существующих интерактивных программ определения доз эритемной УФР можно отнести отсутствие в них комплексной оценки влияния УФР на здоровье человека. Нами разработана удобная интернет-программа для расчета доз эритемной УФР, поступающей на территорию Северной Евразии (40.5° с.ш. – 80.5° с.ш.; 25.5° з.д. – 180° в.д.), и оценки с ее помощью влияния УФР на здоровье человека, используя понятие «УФ-ресурсы» [Chubarova, Zhdanova, 2013]. Результаты разработок изложены в настоящей статье.

Исходные данные и методы исследования

Структура программы

Разработанная нами программа состоит из двух подпрограмм: 1) расчета УФ-ресурсов; 2) расчета часовых доз УФР. Каждая из подпрограмм, в свою очередь, 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 программы представлена на рис. 1. Рассмотрим ее подробнее.

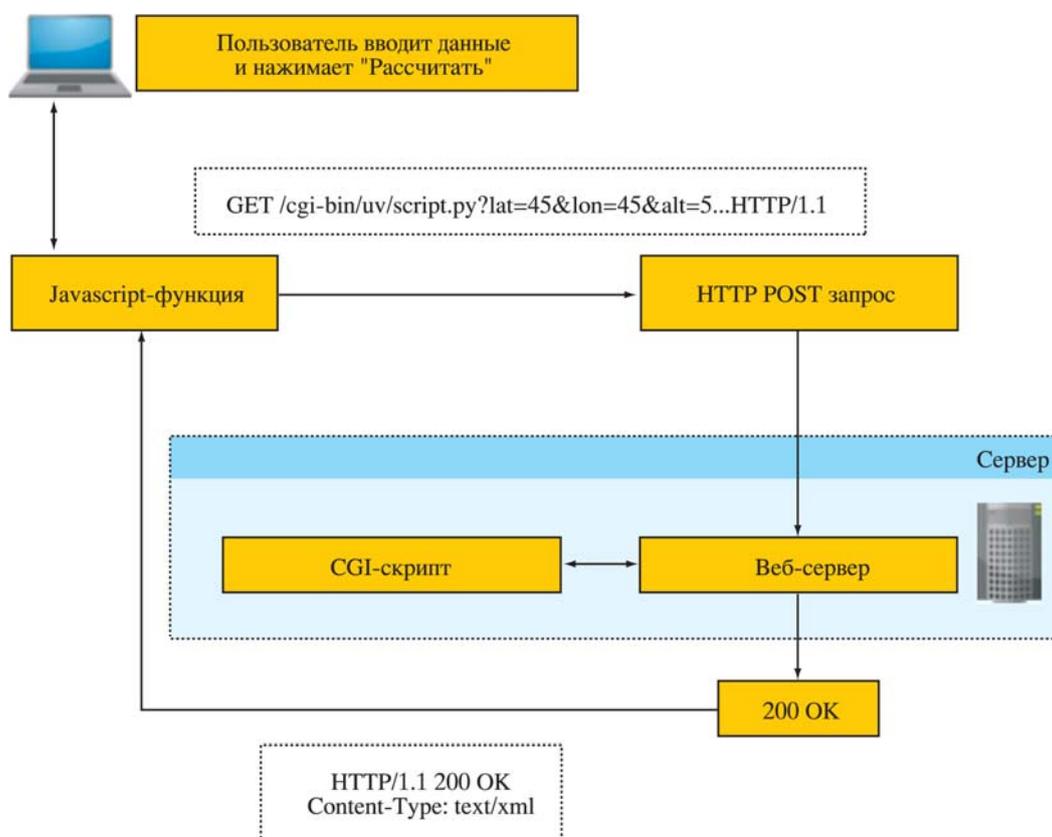


Рис. 1. Схема взаимодействия клиентской и серверной частей интернет-программы для расчета УФ-ресурсов и часовых доз УФР

1. Пользователь вводит исходные данные 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 POST 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. Затем формируется XML-документ с результатами расчетов. В случае, если исходные параметры введены неверно, формируется XML-документ с описанием ошибки.
6. Сформированный XML-документ отправляется как ответ на HTTP POST запрос с кодом 200.
7. Функция Javascript в веб-браузере принимает XML-документ от сервера и представляет его в удобном для пользователя виде.

Входные данные

Для расчета доз эритемной УФР были созданы электронные таблицы значений плотности потока эритемной УФР у поверхности Земли при отсутствии облачности (безоблачные условия) в зависимости от высоты Солнца, общего содержания озона, аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм. Значения остальных параметров, влияющих на УФР (альbedo однократного рассеяния и фактор асимметрии аэрозоля, концентрации оптически активных газов), задавались типичными постоянными [Chubarova, 2009]. Атмосферные параметры, использованные для составления таблиц, приведены в табл. 1. Высотный профиль аэрозоля задавался по континентальной модели II CONT-I [A preliminary..., 1986]. Вертикальное распределение озона задавалось по [WMO, 1986] с учетом особенностей его профиля в высоких, средних и низких широтах.

Таблица 1. Параметры, использованные при создании электронных таблиц для расчета доз эритемной УФР

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Высота Солнца	1–90° Шаг: 1°	АОТ 380 нм	0–0.99 Шаг: 0.02
ОСО	150–490 ед. Добсона Шаг: 20 ед. Добсона	Альbedo однократного рассеяния	0.94
Сечение поглощения озона	см. [Molina L.T., Molina M.J., 1986]	Фактор асимметрии индикатрисы рассеяния	0.7
Приземная концентрация озона	30 ppb	Приземное давление	1013 гПа
Внеатмосферная радиация	см. ATLAS3, SUSIM	Высота поверхности над уровнем моря	0 км
Концентрации SO ₂ (NO ₂) в атмосфере	0.1 ppb	Альbedo поверхности	0

Расчеты эритемной УФР были проведены с помощью одномерной радиационной модели TUV [Madronich, Flocke, 1998] с изменениями [Чубарова, 2006] методом дискретных ординат DISORT в восьмипотоковом приближении [Stamnes et al., 1988]. Вертикальное разрешение модели задавалось с шагом 1 км и включало 80 слоев, спектральное разрешение – 1 нм.

Плотность потока эритемной УФР рассчитывалась по выражению (1) с применением эритемного спектра действия [Erythema..., 1998]:

$$Q_{er} = \int_{280}^{400} E \cdot Q d\lambda, \quad (1)$$

где E – эритемный спектр действия; Q – плотность потока излучения в УФ-диапазоне спектра; λ – длина волны.

Электронные таблицы были созданы для условий нулевого альбедо поверхности и нулевой высоты над уровнем моря.

Метод расчета доз эритемной УФР

Разработанная нами программа позволяет рассчитать часовые и суточные дозы эритемной УФР. Для этого для выбранных атмосферных параметров с временной дискретностью 3 мин методом линейной интерполяции по заранее подготовленным электронным таблицам рассчитываются значения плотности потока эритемной УФР. Относительная разница между точными радиационными расчетами и значениями, полученными с использованием линейной интерполяции, не превышает 1 %. Далее полученные для необходимого временного промежутка значения плотности потока эритемной УФР интегрируются по времени методом трапеций.

Схема расчета доз эритемной УФР и УФ-ресурсов представлена на рис. 2. 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 УФР). Для Северной Евразии географические координаты могут быть выбраны из диапазона широт 40.5° с.ш. – 79.5° с.ш. и долгот 25.5° з.д. – 179.5° в.д., 170.5° з.д. – 179.5° з.д. Эти параметры используются для расчета высоты Солнца.

Выбор параметров (аэрозольная оптическая толщина на длине волны 380 нм, общее содержание озона, альбедо поверхности), влияющих на дозы эритемной УФР в безоблачных условиях в выбранной точке, может производиться двумя способами: 1) путем использования среднемесячных климатических значений согласно разработанным базам данных [Чубарова, Жданова, 2012; Chubarova, Zhdanova, 2013]; 2) использованием значений, заданных пользователем. В табл. 2 приведены данные, которые позволили получить климатологические значения входных параметров с разрешением по пространству на рассматриваемой территории $1^\circ \times 1^\circ$ с временным разрешением 1 мес. Подробное описание разработанных баз данных можно найти в работе [Chubarova, Zhdanova, 2013].

Для учета влияния облачности нами использована величина облачного пропускания в УФ-диапазоне спектра (CMF):

$$CMF = Q_{er} / Q_{er0}, \quad (2)$$

где Q_{er} – плотность потока эритемной УФР в безоблачных условиях; Q_{er0} – плотность потока эритемной УФР в облачных условиях.

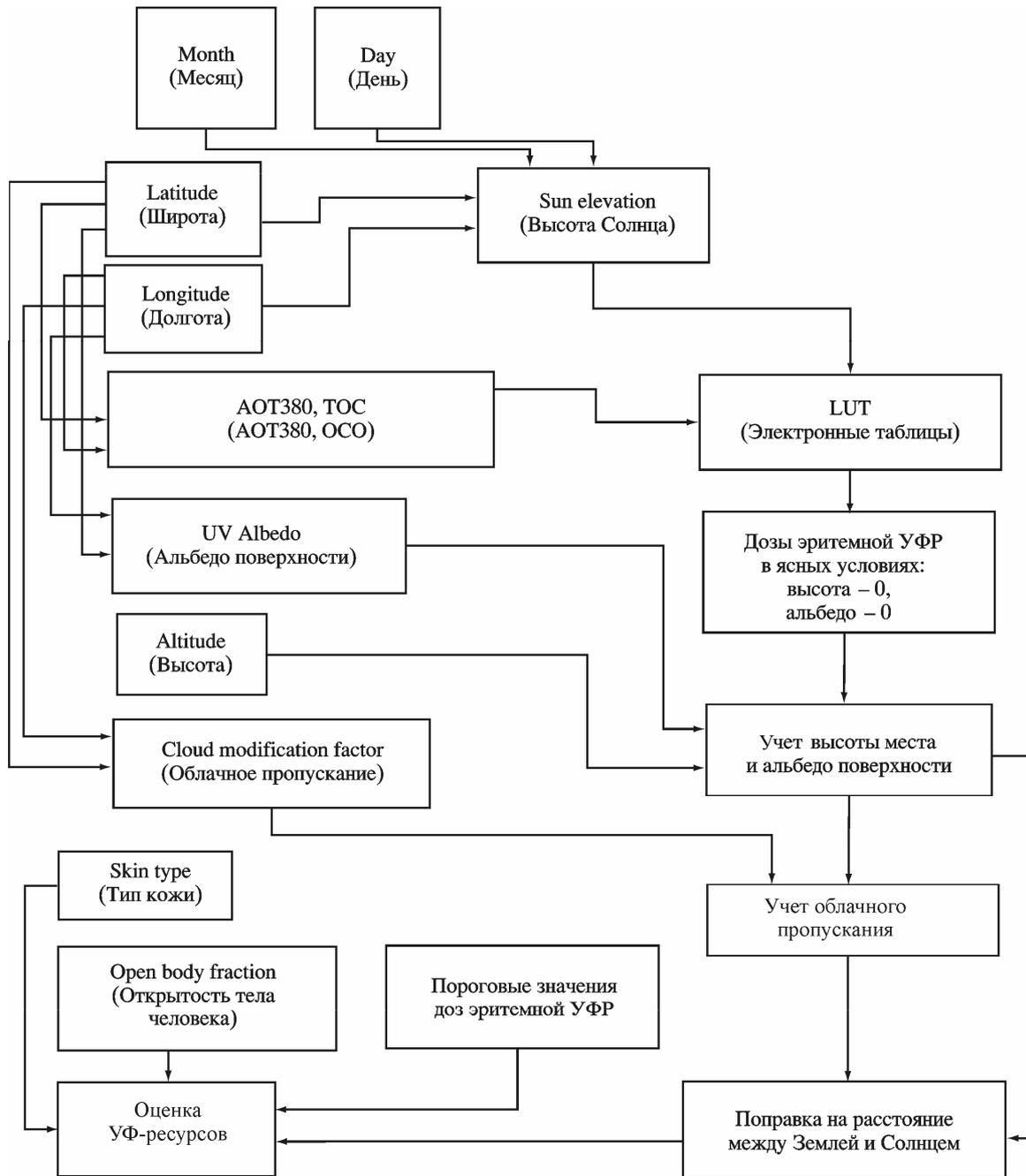


Рис. 2. Схема расчета доз эритемной УФР и УФ-ресурсов с помощью интерактивной интернет-программы

Климатическое значение облачного пропускания рассчитано по методике, детально описанной в [Chubarova, Zhdanova, 2013], с применением данных об альбеда поверхности, ламбертовской отражательной способности и балла нижней облачности (см. табл. 2).

Для учета влияния альбеда поверхности использовалась геометрическая прогрессия [Чубарова, 1993]

$$Q_{er} = \frac{Q_{er, A=0}}{1 - Ar}, \quad (3)$$

где A – альбеда поверхности; r – доля переотраженной радиации.

Таблица 2. Используемые при создании интерактивной интернет-программы базы данных

Параметр	Базы данных (временной период, годы)
Общее содержание озона в атмосфере	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, 2004]
Отражательная способность на длине волны 380 нм	TOMS (1979–2002)
Балл нижней облачности	Реанализ ERA-Interim (1979–2002)

С высотой доза эритемной УФР увеличивается за счет уменьшения аэрозольной и молекулярной оптической толщины атмосферы, а также за счет уменьшения в ней общего содержания озона. В связи с этим для случая, когда в качестве входных данных используются климатологические значения параметров, в разработанной нами программе реализована специальная схема коррекции доз эритемной УФР на высоту места над уровнем моря. Согласно этой схеме, климатологические значения входных параметров сначала приводятся к тем значениям, которые наблюдались бы на нулевой высоте над уровнем моря, затем осуществляется расчет доз эритемной УФР с использованием электронных таблиц со значениями плотности потока эритемной УФР на нулевой высоте над уровнем моря. Окончательные фазы эритемной УФР рассчитываются с учетом роста УФР с высотой в зависимости от изменения основных геофизических параметров. Кроме того, дозы эритемной УФР скорректированы на действительное расстояние между Землей и Солнцем.

Определение УФ-ресурсов

Для определения УФ-ресурсов, кроме доз УФР, необходимо знать параметры, связанные с человеком [Chubarova, Zhdanova, 2013]: тип кожи, степень открытости тела, пороговые значения радиации, необходимые для возникновения биологического эффекта (см. рис. 2). Тип кожи определяет, насколько человек чувствителен к УФ-облучению. Нами использована международная классификация типов кожи Т. Фитцпатрика [Fitzpatrick, 1988]. Людям с разным типом кожи присущи разные пороговые дозы радиации, которые приводят к возникновению биологического эффекта. Например, люди со светлой кожей быстрее могут получить опасную дозу радиации, чем темнокожие, но вместе с тем время получения ими определенного количества витамина D за счет УФР тоже сокращается. Для людей с первым типом кожи (I кавказский согласно классификации [Fitzpatrick, 1988]) минимальная эритемная доза (MED) составляет 200 Дж/м², со вторым (II кавказский) – 250 Дж/м², с третьим (темный кавказский) – 300 Дж/м², четвертым (средиземноморский, азиатский, испанский) – 450 Дж/м², пятым (ближневосточный, латиноамериканский, индийский) – 600 Дж/м², шестым (темнокожий) – 1000 Дж/м². Кроме типа кожи, в программе учитывается степень открытости тела человека, что особенно важно для образования витамина D [McKenzie et al., 2009]. Чувствительность к УФР различных участков тела человека принята одинаковой.

В качестве пороговых значений УФР для образования эритемы выбрана MED. Пороговое значения радиации, необходимое для образования витамина D (M_{VitD}), определяется по выражению

$$M_{\text{vitD}} = \text{MED} \frac{1000}{10000S}, \quad (4)$$

где S – площадь открытости тела человека; 1000 IU (IU, или ME, – международная единица) [Seckmeyer et al., 2013] – необходимое человеку количество витамина D в день; 10 000 IU – эквивалент производства витамина D за счет 1 MED [Action..., 2006].

Для характеристики влияния УФР на здоровье человека использована классификация УФ-ресурсов [Chubarova, Zhdanova, 2013]. УФ-ресурсы определяются для околополуденного времени (11:30–12:30 солнечного времени). В соответствии с классификацией 100%-ная УФ-недостаточность наблюдается, если в течение суток не происходит накопление дозы УФР, способствующей образованию необходимого количества витамина D, полуденная УФ-недостаточность наблюдается, когда витамин D не образуется в околополуденное время, но может образоваться за более длительный период облучения. УФ-оптимум характеризует условия, когда в околополуденное время образуется витамин D, но доза УФР не превосходит 1 MED, т.е. наблюдаются благоприятные условия с точки зрения здоровья человека. Также в классификации выделяются несколько уровней УФ-избыточности согласно международной классификации УФ-индексов.

Полученные результаты и их валидация

Приведем пример работы программы.

Предположим, что 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; безоблачное небо;

июль, 15;

тип кожи человека – 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 – 3746.96 Дж/м².

Соответствие рассчитанных с помощью предлагаемой программы значений данным наблюдений

Как уже говорилось, разработанная нами интерактивная программа позволяет, зная основные параметры, влияющие на УФР, рассчитывать дозы эритемной УФР и определять степень воздействия УФР на человека. Сравнение проведенных нами для территории Северной Евразии расчетов часовых доз эритемной УФР в ясных условиях для бесснежного периода года с данными наблюдений эритемной УФР Метеорологической обсерватории Московского государственного университета (МГУ) им. М.В. Ломоносова (рис. 3) показало их хорошее согласие; средняя квадратическая ошибка составила 8 %. Подробное описание измерений эритемной УФР Метеорологической обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова можно найти в [Чубарова, 2002; Zhdanova et al., 2014]. Расчеты были проведены для часовых доз эритемной УФР в безоблачные часы по данным визуальных наблюдений за облачностью и значениях АОТ380, усредненных за рассматриваемый час, полученных с помощью солнечного фотометра CIMEL [Chubarova et al., 2011]; альbedo поверхности принималось равным 3 %.

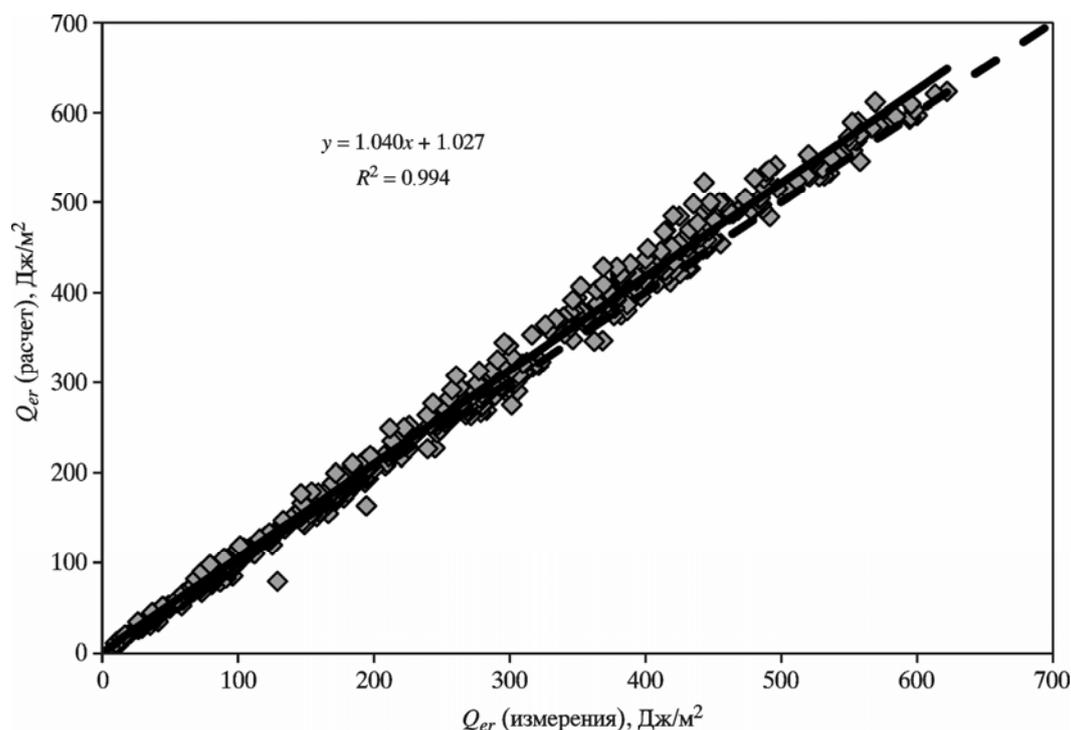


Рис. 3. Сравнение рассчитанных с помощью интернет-программы часовых доз эритемной УФР с измерениями в г. Москве

Результаты расчетов доз эритемной УФР с применением высотной коррекции для климатологических значений параметров в средних облачных условиях были сопоставлены с данными, приведенными в работе [Seckmeyer et al., 2008]. Для этого для приведенных в работе [Seckmeyer et al., 2008. Tabl. 1] 25 пунктов измерения эритемной УФР были рассчитаны с помощью разработанной нами программы суточные дозы эритемной УФР для пятнадцатого числа каждого месяца с мая по август. Полученные для четырех месяцев средние значения были сопоставлены с данными наблюдений, приведенными в работе [Seckmeyer et al., 2008]; результаты сравнения представлены на рис. 4. Из данных, приведенных на рис. 4, видно, что максимальное различие между рассчитанными и измеренными дозами эритемной УФР (23 %) наблюдается для станции, расположенной на высоте 3 км; для большинства станций различие не превышает 10 %, а систематическая ошибка отсутствует.

Валидация расчетов УФР для всех месяцев года была проведена путем сравнения с данными наблюдений на станциях «Москва» (Россия) и «Бельск» (Польша). Для точек с координатами станций для пятнадцатого числа каждого месяца года были рассчитаны суточные дозы эритемной УФР с заданными климатическими параметрами. Результаты сравнивались с наблюдениями в г. Москве, усредненными за период 1999–2013 гг. [Zhdanova et al., 2014], и в г. Бельске [Krzyścin et al., 2011], усредненными за период 1976–2008 гг. Результаты сравнения представлены на рис. 5. Оказалось, что разница между рассчитанными и измеренными величинами эритемной УФР для станций «Москва» и «Бельск» в бесснежный период не превышает 10 %, однако при наличии снежного покрова разница может увеличиваться до 33 %, что, вероятно, связано с погрешностями в определении облачного пропускания по спутниковым данным используемым методом [Chubarova, Zhdanova, 2013].

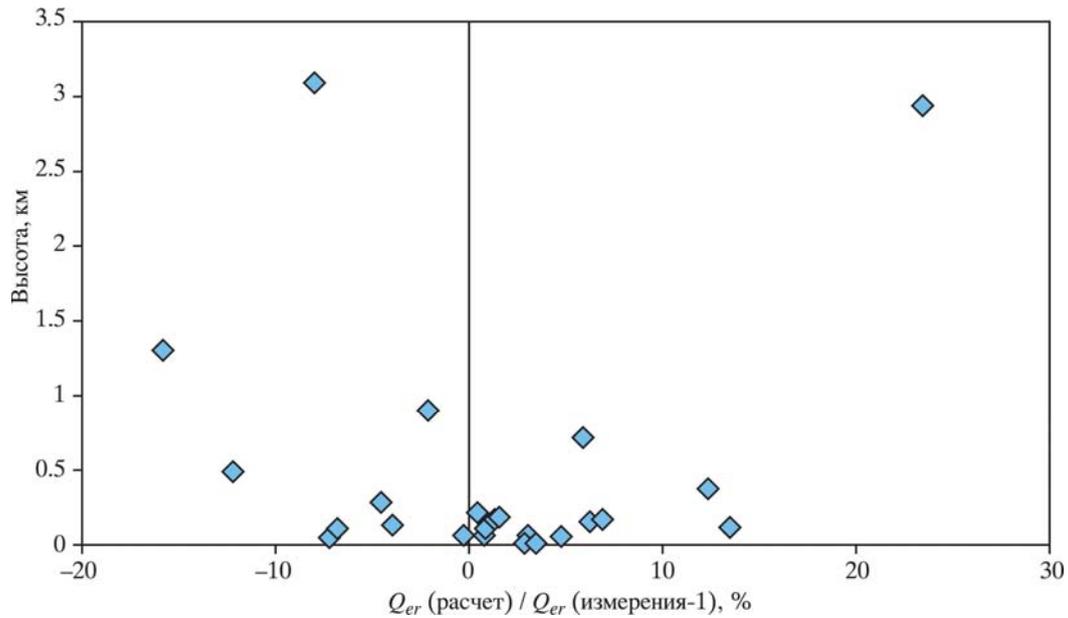


Рис. 4. Относительная разница между рассчитанными с помощью интернет-программы и измеренными (по [Seckmeyer et al., 2008]) значениями доз эритемной УФР

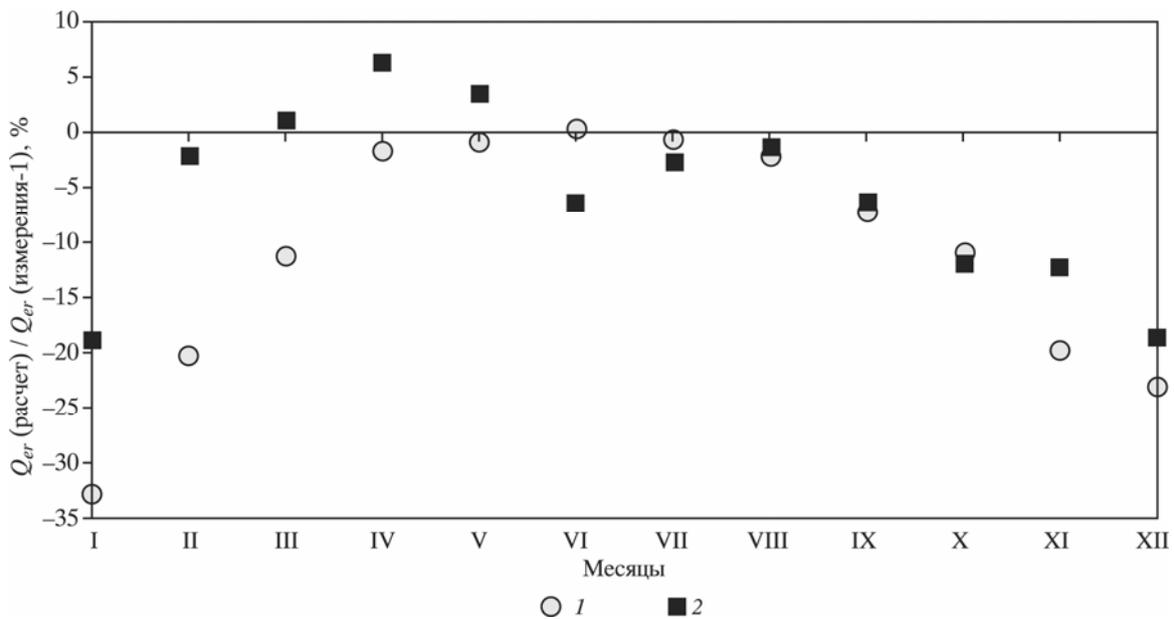


Рис. 5. Относительная разница между рассчитанными с помощью интернет-программы и измеренными значениями эритемной УФР в Москве и Бельске

1 – г. Москва (по данным [Zhdanova et al., 2014]); 2 – г. Бельск (по данным [Krzyścin et al., 2011]). Остальные пояснения см. в тексте

Обсуждение результатов

С помощью разработанной авторами настоящей статьи программы можно эффективно рассчитывать часовые дозы эритемной УФР и определять УФ-ресурсы, т.е. проводить комплексную оценку влияния УФР на здоровье человека на территории Северной Евразии, варьируя при этом степень открытости тела человека и учитывая различную пиг-

ментацию кожи. Заметим, однако, что дозы эритемной УФР рассчитаны для горизонтальной поверхности и, следовательно, УФ-ресурсы также получены для горизонтальной поверхности; не учитывалась в наших расчетах и сложная геометрия тела человека. Могут быть полезны и оценки суточных доз эритемной УФР, поскольку с накопленными дозами УФР связана вероятность развития рака кожи [Climatology..., 2001].

Согласно предлагаемой методике оценки влияния УФР на здоровье человека, период УФ-недостаточности в средних облачных условиях в г. Москве в среднем для человека со вторым типом кожи и открытостью тела 25 % длится с 5 октября по 9 марта (в безоблачных условиях – с 24 октября по 21 февраля). По данным наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова за 1999–2013 гг. этот период длится с 16 октября по 9 марта. Период УФ-избыточности по данным расчетов длится с 1 мая по 23 августа в средних облачных условиях (с 9 апреля по 16 сентября – в безоблачных условиях). По результатам измерений Метрологической обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова период УФ-избыточности приходится на период 22 апреля – 6 сентября. При определении категорий УФ-ресурсов по данным измерений Метрологической обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова были выбраны максимальные часовые дозы эритемной УФР за каждый день года, усредненные за период 1999–2013 гг., с учетом закрытости тела человека и в зависимости от наблюдаемой эффективной температуры воздуха [Zhdanova et al., 2014]. Возможно, использование максимальных измеренных часовых доз эритемной УФР для определения УФ-ресурсов привело к тому, что определяемый по этим данным период УФ-избыточности находится между расчетными периодами УФ-избыточности для безоблачных и для средних облачных условий.

Сравнение расчетов с данными наблюдений показало удовлетворительное согласие для теплого периода года. Для зимнего периода рассчитанные климатические дозы эритемной УФР оказались занижены до 33 % для условий г. Москвы за счет погрешностей в разделении облачности и снежного покрова по спутниковым данным. Однако в этот период, согласно классификации УФ-ресурсов, наблюдается УФ-недостаточность, в связи с чем заниженные данные расчета эритемной УФР лишь увеличивают степень определяемой УФ-недостаточности.

Резюме

Разработана интерактивная интернет-программа, которая позволяет рассчитывать дозы эритемной УФР на территории Северной Евразии и характеризовать степень влияния УФР на здоровье человека с использованием понятия «УФ-ресурсы». Программа позволяет рассчитать часовые и суточные дозы эритемной УФР для условий, заданных пользователем, или для средних климатических условий.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность А.Ю. Жданову за техническое обеспечение работ. Работа частично поддержана грантом РФФИ № 15-05-03612-а.

Литература

- Чубарова Н.Е. Пропускание суммарной УФ радиации облаками различных типов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1993. Т. 29, № 5.
- Чубарова Н.Е. Мониторинг биологически активной УФ радиации в Московском регионе // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38, № 3. С. 354–365.

- Чубарова Н.Е. О роли тропосферных газов в поглощении УФ радиации // Докл. РАН. 2006. № 2. С. 294–297.
- Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю. Ультрафиолетовые ресурсы при ясном небе на территории России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 6. С. 9–19.
- A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computations: WCP-112, WMO/TD-24. World Clim. Res. Progr. Geneva: Inter. Assoc. for Meteorol. and Atmos. Phys., 1986. 53 p.
- Action spectrum for the production of previtamin D₃ in human skin: Rep. / Ex. R. Bouillon, J. Eisman, M. Garabedian et al. CIE, 2006.
- Chubarova N. Seasonal distribution of aerosol properties over Europe and their impact on uv irradiance // Atmos. Meas. Techn. 2009. V. 2. P. 593–608.
- Chubarova N., Zhdanova E. Ultraviolet resources over Northern Eurasia // Photochem. and Photobiol. 2013. V. 127. P. 38–51.
- 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. V. 4, N 1. P. 19–32.
- Chubarova N.Ye., Yurova A.Yu., Krotkov N., Herman J., Bhartia P.K. 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 // Opt. Eng. 2002. V. 41, N 12. P. 3070–3081.
- Chubarova N., Nezval Y.I., Verdebout J., Krotkov N., Herman J. Long-term UV irradiance changes over Moscow and comparisons with UV estimates from TOMS and METEOSAT // Ultraviolet ground- and space-based measurements, models, and effects / Ed. by G. Bernhard, J.R. Slusser, J.R. Herman and W. Gao. SPIE, 2005. P. 63–73.
- 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 / Ex. H. Slaper, J. Matthijsen, P.N. den Outer, G.J.M. Velder. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), 2001.
- COST Action 726: UV climatology for Europe / Ed. by Z. Litynska, P. Koepke, H. de Backer et al. Luxembourg: Publ. Off. of the Europ. Union, 2012. 40 p.
- Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change, Assessment, 2010 // Photochem. and Photobiol. Sci. 2011. V. 10.
- Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. Vienna: CIE Central Bureau, 1998. (CIE S007E-1998).
- Fioletov V.E., McArthur L.J.B., Mathews T.W., Marrett L. On the relationship between erythemal and vitamin D action spectrum weighted ultraviolet radiation // Photochem. and Photobiol. B: Biology. 2009. V. 95. P. 9–16.
- Fioletov V., McArthur L., Mathews T., Marrett L. Estimated ultraviolet exposure levels for a sufficient vitamin D status in North America // Photochem. and Photobiol. B: Biology. 2010. V. 100. P. 57–66.
- Fitzpatrick T. The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI // Arch. Dermatol. 1988. V. 124. P. 869–871.
- Holick M. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease // The Amer. J. of Clin. Nutrit. 2004. V. 80. P. 1678S–1688S.
- Ialongo I., Casale G.R., Siani A.M. Comparison of total ozone and erythemal UV data from OMI with ground-based measurements at Rome station // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8. P. 3283–3289.

- Kazantzidis A., Bais A.F., Groebner J., Herman J.R., Kazadzis S., Krotkov N., Kyroe E., den Outer P.N., Garane K., Goerts P., Lakkala K., Meleti C., Slaper H., Tax R.B., Turunen T., Zerefos C.S.* Comparison of satellite-derived UV irradiances with ground-based measurements at four European stations // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. P. D13207.
- Kazantzidis A., Bais A.F., Zempila M.M., Kazadzis S. den Outer P.N., Koskela T., Slaper H.* Calculations of the human vitamin D exposure from UV spectral measurements at three European stations // *Photochem. and Photobiol. Sci.* 2009. V. 8(1). P. 45–51.
- Krzyścin J.W., Sobolewski P.S., Jarosławski J., Podgórski J., Rajewska-Więch B.* Erythral UV observations at Belsk, Poland, in the period 1976–2008: Data homogenization, climatology, and trends // *Acta Geoph.* 2010. V. 59, N 1. P. 155–182.
- Krzyścin K., Jaroslawski J., Sobolewski P.S.* A mathematical model for seasonal variability of vitamin D due to solar radiation // *Photochem. and Photobiol. B: Biology.* 2011. V. 105, N 1. P. 106–112.
- Madronich S., Flocke S.* The role of solar radiation in atmospheric chemistry // *Handbook of Environmental Chemistry* / Ed. by P. Boule. Heidelberg: Springer, 1998. P. 1–26.
- McKenzie R.L., Liley J.B., Bjoern L.* UV radiation: Balancing risks and benefit // *Photochem. and Photobiol.* 2009. N 85. P. 88–98.
- Molina L.T., Molina L.J.* Absolute absorption cross sections of ozone in the 185- to 350-nm wavelength range // *J. of Geoph. Res.: Atmospheres* (1984–2012). 1986. V. 91, N D13. P. 14501–14509.
- Pribullová A., Chmelík M.* Typical distribution of the solar erythral UV radiation over Slovakia // *Atmos. Chem. Phys.* 2008. V. 8. P. 5393–5401.
- Schallhart B., Blumthaler M., Schreder J., Verdebout J.* A method to generate near real time UV-Index maps of Austria .2008 // *Atmosph. Chem. and Phys. Dis.* 2008. V. 8, N 1. P. 2143–2161.
- Seckmeyer G., Pissulla D., Glandorf M., Henriques D., Johnsen B., Webb A., Siani A.-M., Bais A., Kjeldstad B., Brogniez C., Lenoble J., Gardiner B., Kirsch P., Koskela T., Kaurola J., Uhlmann B., Slaper H., den Outer P., Janouch M., Werle P., Groebner J., Mayer B., de la Casiniere A., Simic S., Carvalho F.* Variability of UV irradiance in Europe // *Photochem. and Photobiol.* 2008. V. 84. P. 172–179.
- Seckmeyer G., Schrempf M., Wieczorek A., Riechelmann S., Graw K., Seckmeyer S., Zankl M.* A novel method to calculate solar UV exposure relevant to vitamin D production in humans // *Photochem. and Photobiol.* 2013. V. 89. P. 974–983.
- Stamnes K., Tsay S.W., Wiscombe J., Jayaweera K.* A numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media // *Appl. Opt.* 1988. V. 27. P. 2502–2509.
- Tanskanen A.* Lambertian surface albedo climatology at 360 nm from TOMS data using moving time-window technique // *Proc. of the XX Qua drennial Ozone Symp.* 2004.
- Tanskanen A., Lindfors A., Ma A. et al.* Validation of daily erythral doses from Ozone Monitoring instrument with ground-based UV measurement data // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. P. D24S44.
- Webb A., Engelsen O.* Calculated ultraviolet exposure levels for a healthy vitamin D status // *Photochem. and Photobiol.* 2006. V. 82. P. 1697–1703.
- Zhdanova E., Chubarova N., Nezval Y.* A method of estimating cloud transmission in the UV spectral range using data from different satellite measurements and reanalysis // *AIP conf. proc.* 1531. 2013. P. 911–914.
- Zhdanova E.Y., Chubarova N.Ye., Blumthaler M.* Biologically active UV-radiation and UV-resources in Moscow (1999–2013) // *Geography, Environment, Sustainability.* 2014. V. 7, N 2. P. 71–85.

Сведения об авторах

ЖДАНОВА Екатерина Юрьевна – аспирантка, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет. 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. Тел.: + 7 (916) 059-96-05. E-mail: ekaterinazhdanova214@gmail.com

ЧУБАРОВА Наталья Евгеньевна – доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет. 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. Тел.: +7 (495) 939-23-37. E-mail: Natalia.chubarova@gmail.com

**AN INTERACTIVE TOOL
FOR UV-RESOURCES DETERMINATION
AND ERYTHEMAL UV-DOSES CALCULATIONS
OVER THE TERRITORY OF NORTHERN EURASIA**

E.Yu. Zhdanova, N.Ye. Chubarova

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. UV-radiation has a considerable impact on human health by means of erythema formation (the main negative effect) and vitamin D synthesis (the main positive effect) via skin. A special interactive tool has been developed for estimating UV-resources over the territory of Northern Eurasia. UV-resources are determined using the estimates of two kinds of biologically active irradiance. UV-resources were classified as 100% UV-deficiency, noon UV-deficiency, UV-optimum and several levels of UV-excess. The tool represents client-server application. The client part is the web-page with the form for input parameters required for erythemal UV-doses calculations. The server part includes the web-server and CGI-script, which receive input parameters, performs calculations and returns the results. To calculate erythemal UV-doses special tables (LUT) have been created. These LUT provide erythemal UV-irradiance at the Earth surface in cloudless conditions depending on solar zenith angle (SZA), total ozone content (TOC) and aerosol optical thickness at 380 nm wavelength (AOT380). The tables have been calculated using a one-dimensional radiation transfer model (TUV) by discrete ordinates method (DISORT) in 8-stream approximation. The developed tool allows a user to estimate erythemal UV-dose and its effects on people's health with different skin types in a given geographic location and specified time, based on information about intrinsic parameters influenced on UV-radiation (total ozone content, cloud transmittance, surface albedo, aerosol optical thickness). Also altitude dependence of TOC, AOT380 and albedo effect were included in the calculation scheme. The tool considers open human body fraction, which is important for assessing efficiency of UV-radiation for vitamin D synthesis. Erythemal UV-doses in average climatic conditions or in conditions specified by the user can be obtained. Interactive-tool is freely available at <http://momsu.ru/uv/>.

Keywords: interactive tool, erythemal-weighted radiation, vitamin D, UV-resources, Northern Eurasia.