
ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.521.31(292.471)

**ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ЭРИТЕМНОЙ УФ-РАДИАЦИИ
И УФ-РЕСУРСОВ В КРЫМУ***

Чубарова Н. Е.¹, Жданова Е. Ю.¹, Лапченко В. А.², Знаменская Л. В.²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация,

²Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал ФГБУН
ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», пгт Курортное, г. Феодосия,
Российская Федерация,

e-mail: ozon.karadag@gmail.com, znamenskayalv@mail.ru

Изучена временная динамика биологически активной эритемной УФ-радиации (Q_{ery}) и факторов, её определяющих, в 2018–2019 гг. на территории Государственного природного заповедника «Карадагский» (КНС — ПЗ РАН — филиал ФИЦ ИнБЮМ) в Крыму. Суточные суммы Q_{ery} изменялись более чем в 10 раз, от 67,6 Джм⁻² до 5856 Джм⁻², и в целом соответствовали сезонному ходу высоты Солнца, однако за счёт плотной облачности поступление УФ-радиации могло ослабляться более чем в 5 раз, влияя на её биологическое воздействие. На основании данных измерений Q_{ery} оценены УФ-ресурсы в разные месяцы года. В холодный период (ноябрь — январь), когда степень открытости кожи человека (S) составляет 0,1 и высота Солнца низкая, наблюдаются условия УФ-недостаточности, когда невозможно формирование витамина D уже для второго типа кожи. Наиболее благоприятные условия для проведения гелиотерапии при таких величинах S наблюдаются в марте и октябре для второго типа кожи, а для четвёртого типа — в апреле и сентябре. При увеличении доли открытости тела за счёт рук, лица и шеи ($S = 0,3$) формирование витамина D возможно в течение всего года для второго типа кожи. В декабре и январе повторяемость таких условий составляет 10–30 %. В тёплый период года в Крыму, в утренние или вечерние часы, практически всегда есть условия для формирования дозы Q_{ery} , необходимой для синтеза витамина D. Летом для четвёртого типа кожи наблюдаются условия УФ-оптимума или УФ-избыточности первой степени.

Ключевые слова: эритемная УФ-радиация, УФ-ресурсы, Крым, Карадаг.

Введение

Ультрафиолетовая радиация (УФР) оказывает значительное воздействие на здоровье человека. Большие дозы УФР вызывают ожоги кожи, приводят к её преждевременному старению, развитию онкологических заболеваний. В то же время небольшие дозы УФР очень полезны и способствуют образованию витамина D, который препятствует развитию многих болезней: остеопороза, рахита, рассеянного склероза, а также некоторых форм онкологических болезней [Environmental effects..., 2015].

Для оценки уровня УФР в Крыму в течение 2018–2019 гг. проводились регулярные измерения биологически активной эритемной УФ-радиации на станции фоновой экологической мониторинга (СФЭМ) Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природного заповедника РАН — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения

*Научный сотрудник Лапченко В. А. выполнил работу в рамках государственного задания, тема «Изучение особенностей структуры и динамики сухопутных экосистем в различных климатических зонах», №АААА-А19-119012490044-3. Работа была частично поддержана грантом Русского географического общества «Крымская комплексная экспедиция» (договор № 20/2018-И).

науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (КНС — ПЗ РАН — филиал ФИЦ ИнБЮМ). Чтобы оценить комплексное воздействие УФР на здоровье человека, использована методика, позволяющая оценивать УФ-ресурсы [Chubarova, Zhdanova, 2013; Чубарова, Жданова, 2012]. Доступность и простота в использовании разработанного метода, который заключается в выделении трёх основных классов УФ-ресурсов — УФ-недостаточности, УФ-оптимума и УФ-избыточности разных категорий, позволяет широко его использовать для оповещения населения об уровне УФ-излучения. Выделение класса УФ-недостаточности особенно важно для территории России, большая часть которой находится в высоких широтах с низким уровнем УФ-радиации.

За счёт своего южного положения территория Крыма может характеризоваться более продолжительным периодом времени в холодный период года с условиями УФ-оптимума (образуется витамин D) в отличие от большей части территории России, где в это время наблюдаются условия УФ-недостаточности.

Цель этого исследования заключается в выявлении общих закономерностей в динамике УФ-радиации в разные сезоны года и определении УФ-ресурсов по данным мониторинга биологически активной эритемной УФ-радиации в курортном регионе Юго-Восточного Крыма.

Материалы и методы

В 2018–2019 гг. мониторинг биологически активной эритемной УФ-радиации (Q_{ery}) проводился на станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ КНС — ПЗ РАН — филиала ФИЦ ИнБЮМ), расположенной на высоте 180 м над уровнем моря (44°55′ с. ш., 35°14′ в. д.). Измерения биологически активной УФ-радиации осуществлялись в непрерывном режиме с минутным разрешением широкополосным УФ-радиометром UVB-1 YES. Используемый прибор до установки в Крыму был откалиброван относительно контрольного УФ-радиометра Метеорологической обсерватории МГУ, который, в свою очередь, был откалиброван по европейским стандартам летом 2017 г. В октябре 2018 г. была произведена повторная калибровка регистрирующего прибора в Москве. Для этого 30 сентября 2018 г. УФ-радиометр UVB-1 YES был снят с регистрации, и далее в Москве была проведена необходимая проверка стабильности его калибровки по стандарту Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Результаты калибровки показали, что переводные множители регистрирующего прибора стабильны, относительные изменения переводного множителя при высоте Солнца 25 градусов составили около 6 %, которые были учтены при обработке данных измерений. После этого 5 ноября 2018 г. прибор был снова привезён и поставлен на регистрацию на СФЭМ.

На рис. 1 показана фотография СФЭМ, где осуществлялся УФ-мониторинг; на рис. 2 — прибор UVB-YES, с помощью которого проводились измерения.

На основании измерений UVB-YES оценивались величины эритемной УФ-радиации, и также рассчитывались значения УФ-индекса — широко используемого безразмерного параметра для характеристики биологически активного эритемного УФ-излучения. УФ-индекс используется для характеристики опасности УФ-излучения, поступающего к поверхности Земли, и рассчитывается нормированием величины эритемной радиации на 0,025 Вт/м² [Vanicek et al., 2000].

Данные измерений также использовались для оценки УФ-ресурсов по методике, представленной Чубаровой Н. Е. и Ждановой Е. Ю. [Chubarova, Zhdanova, 2013]. Рассмотрим основные положения, согласно которым выделялись различные категории УФ-ресурсов. Они заключаются в сравнении данных измерений с пороговыми значениями эритемной радиации, при которых возможно формирование витамина D для разных типов кожи или возникает опасность УФ-радиации для здоровья человека. Согласно классификации Фицпатрика [Fitzpatrick, 1988] выделяются шесть типов кожи, образование эритемы для которых требует разной минимальной эритемной

дозы (MED). На европейской территории России наиболее распространённым является тип кожи II (нордический или светлокожий европеец), поэтому основные расчёты сделаны именно для этого типа кожи. Дополнительно расчёты проводились и для типа кожи IV (среднеземноморский или южноевропейский). Второй тип кожи характеризуется меньшей пигментацией кожи по сравнению с четвёртым типом. При оценке дозы радиации, требующейся для образования витамина D, следует учитывать ещё и степень открытости тела человека. Ежедневный уровень витамина D, необходимый для человека, составляет, по последним данным, 1000 МЕ (международные единицы), который и принимался в этой работе в качестве базового. Исходя из этих пороговых значений, выделяются различные категории УФ-ресурсов (табл. 1). Условия полуденной УФ-недостаточности определяются как условия, при которых невозможно получить дозу УФ-радиации, необходимую для формирования витамина D, в течение часа около полудня. УФ-оптимум определяется условиями, когда в околополуденное время в течение часа уже возможно получить дозу УФ-радиации для формирования витамина D, но величина радиации не превышает минимальной эритемной дозы, связанной с риском для кожи человека. Категория УФ-избыточности подразделяется на несколько подклассов в соответствии с международной классификацией УФ-индексов.

Таблица 1

Основные классы УФ-ресурсов и соответственные пороговые значения часовой дозы эритемной УФР для второго типа кожи [Chubarova, Zhdanova, 2013]

УФ-ресурсы	Пороговые значения
УФ-недостаточность	часовая сумма $Q_{\text{ery}} < 250 \text{ Дж/м}^2$
УФ-оптимум	$250 \text{ Дж/м}^2 \leq \text{часовая сумма } Q_{\text{ery}} < 270 \text{ Дж/м}^2$
УФ-избыточность средней степени	$270 \text{ Дж/м}^2 \leq \text{часовая сумма } Q_{\text{ery}} < 495 \text{ Дж/м}^2$
УФ-избыточность высокой степени	$495 \text{ Дж/м}^2 \leq \text{часовая сумма } Q_{\text{ery}} < 675 \text{ Дж/м}^2$
УФ-избыточность очень высокой степени	часовая сумма $Q_{\text{ery}} \geq 675 \text{ Дж/м}^2$



Рис. 1. Станция фонового экологического мониторинга КНС — ПЗ РАН — филиала ФИЦ ИнБЮМ



Рис. 2. Прибор UVB-YES на калибровке в октябре 2018 г. на крыше МО МГУ

Результаты и обсуждение

Факторы, определяющие поступление ультрафиолетовой радиации на территории Крымского полуострова

Поступление УФР к поверхности Земли определяется следующими радиационными процессами в системе атмосфера — подстилающая поверхность: поглощением и рассеянием газами, рассеянием и поглощением аэрозолями, рассеянием облачностью и отражением от подстилающей поверхности. Основные факторы, влияющие на поступление УФР к поверхности Земли, можно разделить на астрономические и геофизические. К астрономическим факторам относятся: влияние изменения солнечной активности, высоты Солнца, изменение расстояния между Землёй и Солнцем, к геофизическим — газово-аэрозольный состав атмосферы (главным образом общее содержание озона, облачность), альbedo подстилающей поверхности, а также на приходящие дозы УФР влияют высота места над уровнем моря и орография местности.

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:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \Theta, \quad (1)$$

где h — высота Солнца, φ — географическая широта места, δ — склонение Солнца (изменяется от $-23,5^\circ$ 21 декабря до $+23,5^\circ$ 21 июня), Θ — часовой угол Солнца, равный выраженному в градусах истинному солнечному времени, исчисляемому от полудня.

Ещё одним из астрономических факторов, влияющих на поступление УФР к поверхности Земли, является изменение расстояния между Землёй и Солнцем за счёт эллиптичности орбиты Земли. Вследствие этого приходящая солнечная радиация на верхней границе атмосферы изменяется в течение года на $\pm 3,5\%$.

Поглощение УФР в атмосфере, в наиболее биологически эффективной (УФ-В*) области спектра, определяется поглощением озоном. Озон является основным фактором, определяющим поступление УФР к поверхности Земли в безоблачной атмосфере. Связь спектральной плотности потока излучения в УФ-диапазоне спектра у поверхности Земли с общим содержанием озона имеет степенной характер и её изменение можно записать как:

$$\frac{dQ_{\lambda}}{Q_{\lambda}} = RAF(\lambda, h) \frac{dX}{X}, \quad (2)$$

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 содержания озона [Booth, Madronich, 1994]. Величина RAF для эритемной УФ-радиации составляет величину порядка 1,1, которая зависит от высоты Солнца.

Сезонно-широтный ход общего содержания озона (ОСО) для координат Феодосии, по данным спутникового радиометра ОМІ, показан на рис. 3. Максимум общего содержания озона наблюдается в конце зимы, что объясняется накоплением озона за счёт циркуляции Брюэра — Добсона — Дютша. Общее содержание озона имеет типичный для средних широт годовой ход с максимумом весной и минимумом осенью.

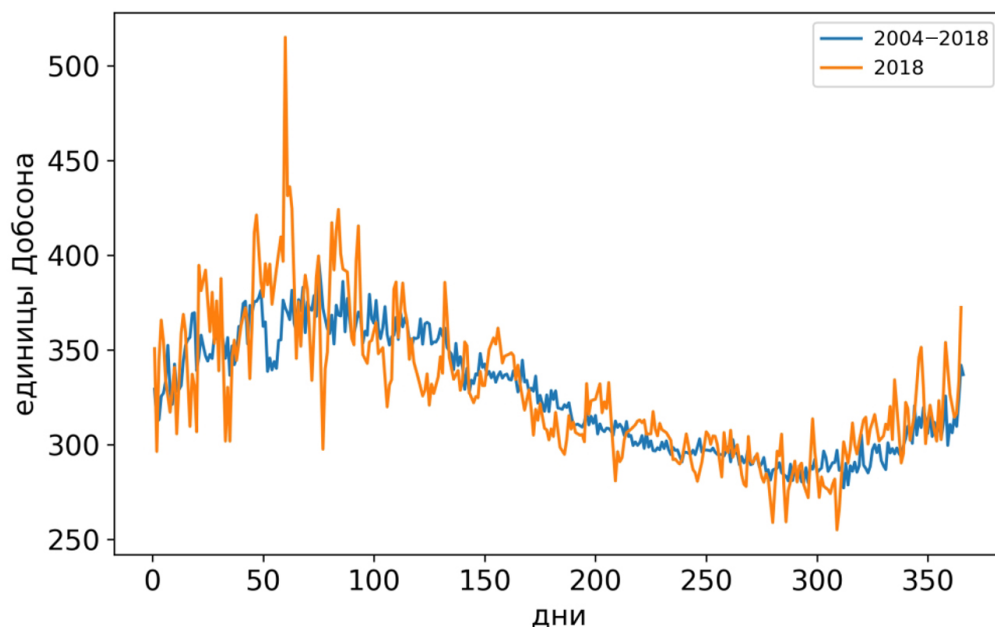


Рис. 3. Годовой ход общего содержания озона (в ед. Добсона) в 2018 г. и за период 2004–2018 гг., г. Феодосия, по данным спутникового прибора ОМІ

*УФ-В диапазон спектра длины волн: 280–315 нм.

Отдельно рассмотрены особенности годового хода ОСО в 2018 г., в год проведения экспериментальных наблюдений биологически активной УФР в районе Карадага. Частотное распределение аномалий ОСО (рис. 4) свидетельствует о том, что в 2018 г. наблюдались значительные аномалии ОСО. Наибольшая положительная и наибольшая отрицательная аномалии отмечены в марте 2018 г. — 1 и 18 марта соответственно. Аномалия ОСО 1 марта составила +143 ед. Добсона, аномалия ОСО 18 марта составила –75 ед. Добсона. Высокие значения ОСО 1 марта 2018 г. были связаны с опусканием воздуха, богатого озоном, после прохождения холодного атмосферного фронта, а отрицательная аномалия ОСО 18 марта 2018 г., напротив, была связана с циркуляционными условиями тёплого фронта.

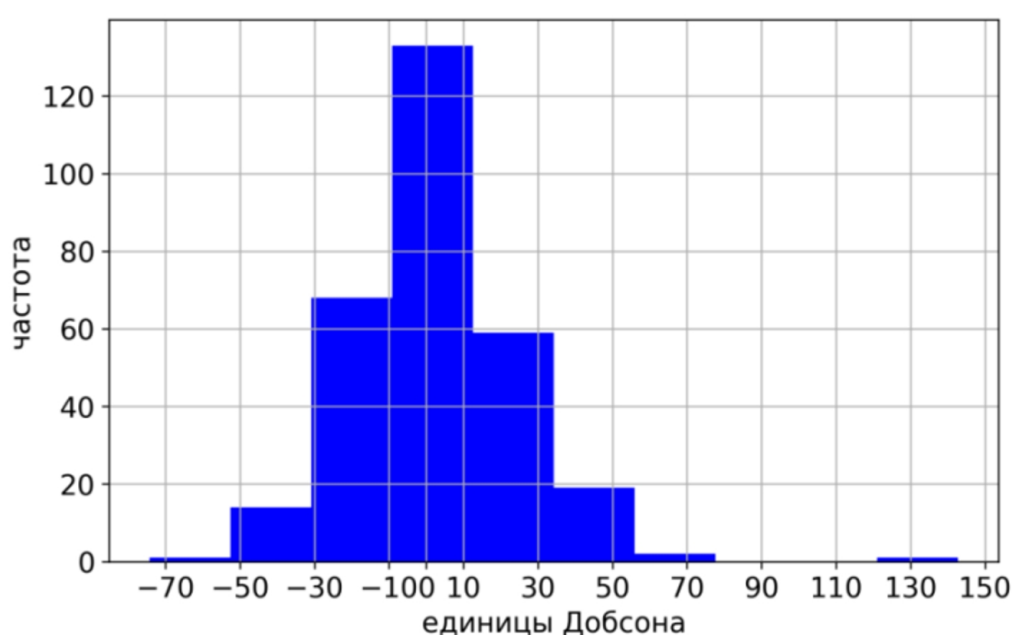


Рис. 4. Частотное распределение аномалий общего содержания озона в 2018 г., г. Феодосия (по данным спутникового прибора OMI)

Среди оптических параметров аэрозоля наиболее важными с точки зрения ослабления УФР являются оптическая толщина и альбеда однократного рассеяния. Около 80 % влияния аэрозоля на УФР связано с вариациями оптической толщины и альбеда однократного рассеяния. Остальные 20 % связаны с различиями в фазовой функции, спектральном ослаблении и вертикальном профиле ослабления [Reuder, Schwander, 1999].

Средние значения АОТ (аэрозольная оптическая толщина) на длине волны 380 нм за период 2007–2014 гг. для ближайшей станции в Севастополе, входящей в сеть AERONET, представлены на рис. 5. В годовом ходе максимальные значения АОТ₃₈₀ приходятся на летние месяцы (июль — август). Альбеда однократного рассеяния составляет величину около 0,9, что свидетельствует о слабом поглощении.

Облачность, наряду с общим содержанием озона, оказывает значительное влияние на поступление УФР к поверхности Земли. Для оценки влияния облачности на поступление УФР к поверхности Земли используется величина облачного пропускания. Она определяется как отношение суммарной УФР в реальных атмосферных условиях к суммарной УФР в условиях ясного неба. Облачное пропускание УФР зависит от многих характеристик: балла облачности,

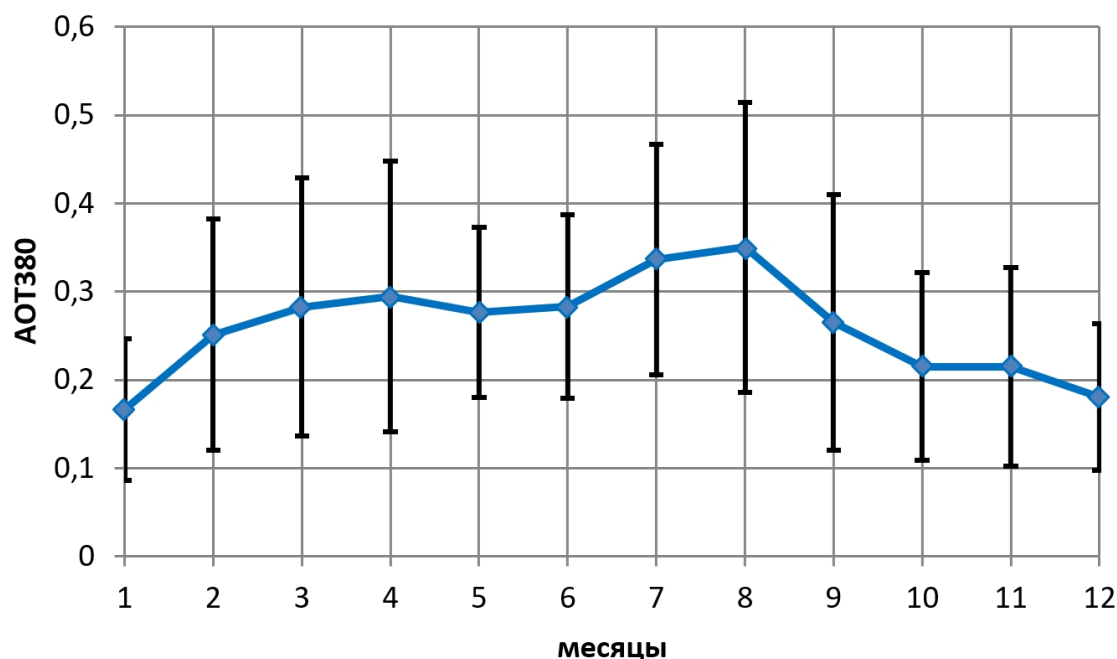


Рис. 5. Средние значения AOT380 за период 2007–2014 гг., планки — стандартные отклонения AOT380

оптической толщины облаков, высоты и взаимного расположения отдельных облаков, количества облачных слоёв, степени закрытости солнечного диска облаками. Величины облачного пропускания при сплошном его покрове в среднем составляют 60–85 % для облаков нижнего яруса, 25–30 % — для облаков среднего яруса, 4–5 % — для облаков верхнего яруса [Чубарова, 1993].

Согласно нашим оценкам, полученным по данным спутниковых измерений отражательной способности спутникового прибора TOMS на длине волны 380 нм, для территории Крымского полуострова значения CQ в январе составляют 0,59 и 0,86 — в июле.

Альbedo подстилающей поверхности в ультрафиолетовом диапазоне спектра составляет первые проценты в отсутствие снежного покрова. Согласно спутниковым оценкам, в среднем альbedo поверхности на территории Крымского полуострова в течение года меняется незначительно и составляет в январе 9 %, а в июле — 5 % [Tanskanen, 2004].

С ростом высоты над уровнем моря обычно наблюдается рост УФР за счёт уменьшения молекулярного рассеяния, уменьшения концентрации поглощающих УФР газов, аэрозолей, которые имеют максимум концентрации в планетарном пограничном слое, и за счёт увеличения альbedo поверхности в связи с появлением снежного покрова. С ростом высоты доля прямой радиации увеличивается, а доля рассеянной радиации уменьшается за счёт уменьшения плотности атмосферы. Согласно измерениям, проведённым 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 [Pfeifer, Koepke, Reuder, 2006]. Наиболее высокие уровни УФР отмечаются в горах. В немецких Альпах высотный градиент эритемной УФР, по данным измерений, составил 7–16 % на километр, а высотный градиент в горах Боливии, по сравнению с плато, составляет 8–23 % [Pfeifer, Koepke, Reuder, 2006]. В Тибете, в условиях безоблачности и отсутствия снежного покрова, градиент эритемной УФР составляет 7–8 % на км [Dahlback et al., 2007].

Результаты мониторинга УФ-радиации и УФ-ресурсов

Рассмотрим результаты измерений биологически активной эритемной УФ-радиации на СФЭМ. На рис. 6 приведены суточные суммы эритемной УФ-радиации (Q_{ery}) за указанный период. Хорошо виден сезонный ход Q_{ery} с минимумами в ноябре — январе и максимумами в летний период. Суточные суммы изменялись более чем в 10 раз: от $67,6 \text{ Джм}^{-2}$ (26.11.2018 г.) до 5856 Джм^{-2} (03.07.2018 г.). При этом в 5 % случаев значения были менее 132 Джм^{-2} и в 5 % случаев — выше 5143 Джм^{-2} .

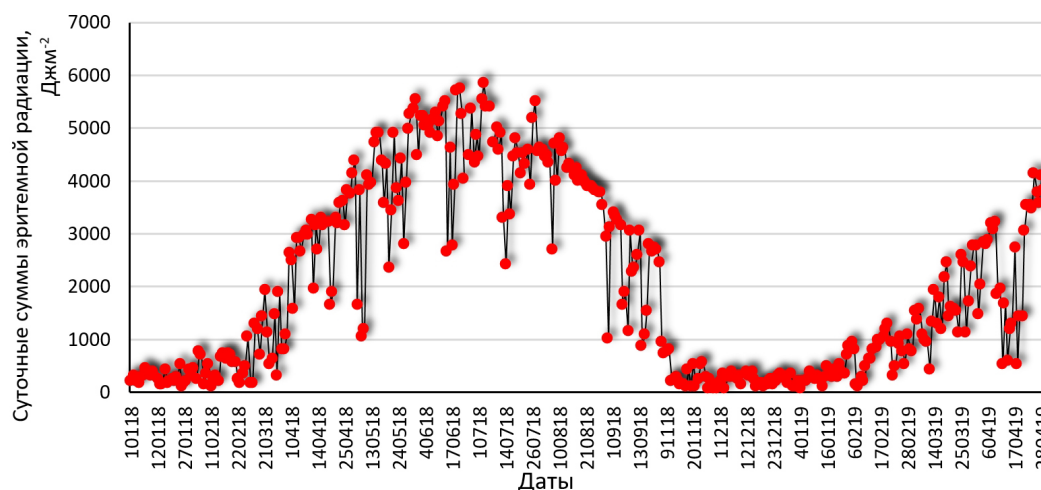


Рис. 6. Суточные суммы эритемной радиации Q_{ery} за период 2018–2019 гг. на СФЭМ

На рис. 7 приведены значения суточных сумм Q_{ery} как функция полуденной высоты Солнца. Хорошо виден значительный разброс данных измерений, который наблюдается за счёт влияния атмосферных факторов: облачности, общего содержания озона и аэрозоля. Видно, что даже при больших высотах Солнца, наблюдаемых летом в околополуденное время, влияние этих факторов может в пять и более раз изменять поступление УФ-радиации, тем самым существенно влияя на её биологическое воздействие.

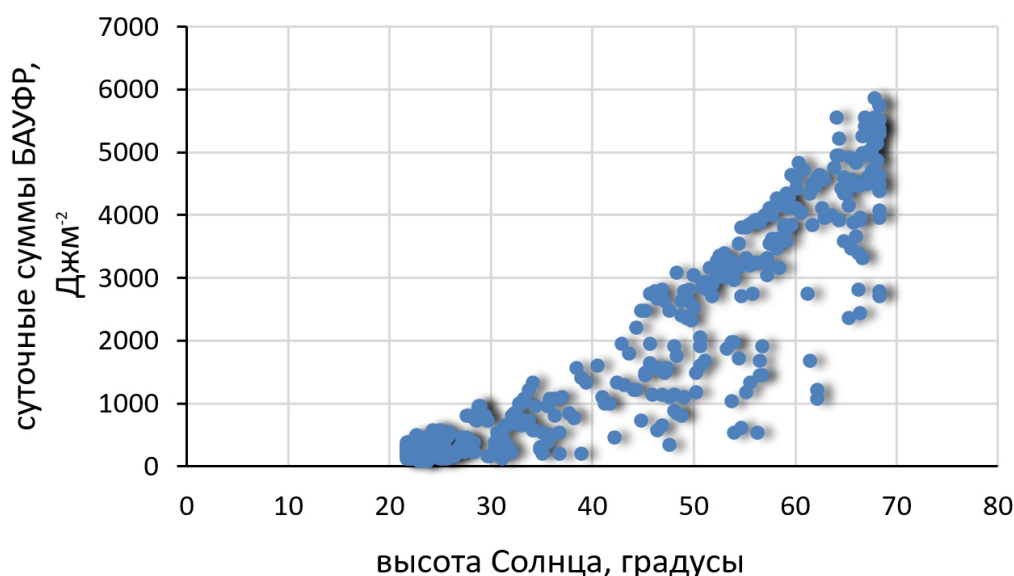


Рис. 7. Зависимость суточных сумм Q_{ery} от полуденных высот Солнца

Рассмотрим, как менялись максимальные суточные значения УФ-индексов, которые обычно наблюдаются в околополуденное время, за период измерений 2018–2019 гг. (рис. 8).

Из рисунка видно, что УФ-индекс выше 3 (середина марта 2018 и 2019 гг.). Это свидетельствует о том, что для наиболее распространённого в России второго типа кожи необходима защита от солнечных лучей. С мая по август примерно в 50 % случаев в околополуденное время наблюдаются УФ-индексы более 7,5, которые нетипичны для условий средней полосы России, а в июле в отдельных случаях наблюдались и условия с экстремально высокими УФ-индексами — более 10 (табл. 2).

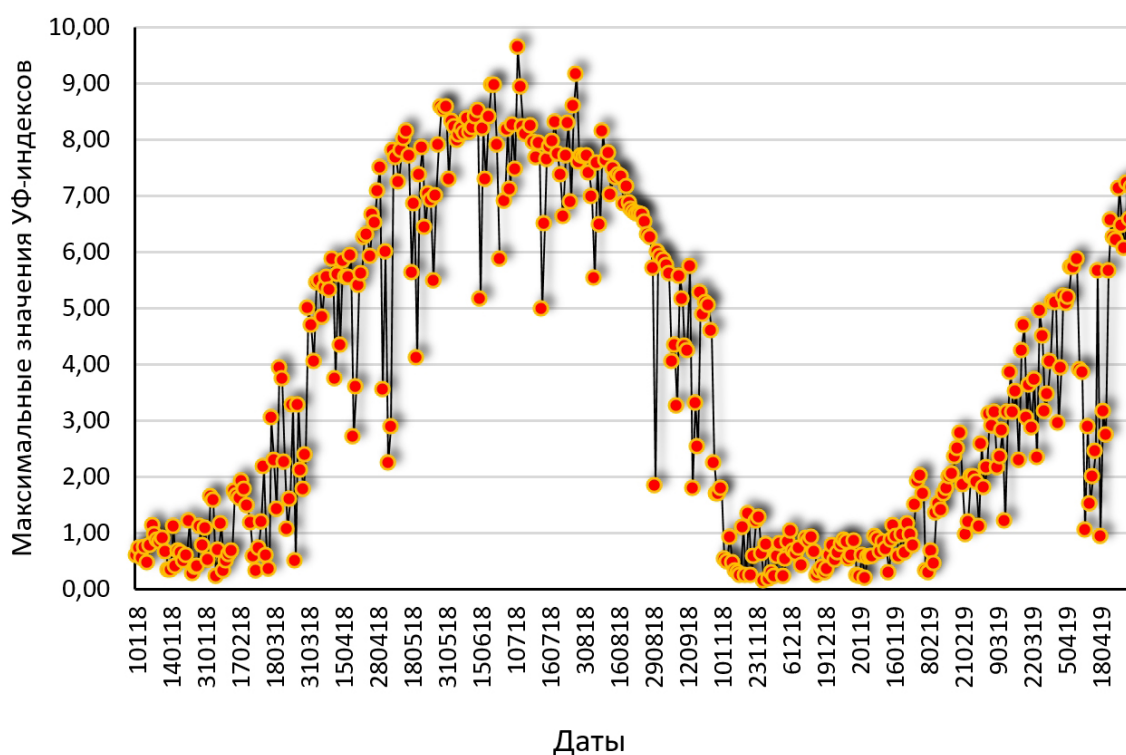


Рис. 8. Максимальные значения УФ-индексов за период 2018–2019 гг. на СФЭМ

Рассмотрим УФ-ресурсы в разные месяцы года (по данным мониторинга на Карадаге). При типичном для зимнего периода использовании более тёплой и закрытой одежды, при котором уровень открытости тела (S) составляет порядка 0,1, в ноябре, декабре и январе наблюдаются условия УФ-недостаточности, когда невозможно формирование витамина D для второго и четвёртого типов кожи. Однако с февраля уже возможны условия УФ-оптимума для второго типа кожи (солнечная погода, невысокий уровень озона). Наиболее благоприятные условия при $S = 0,1$ для проведения гелиотерапии наблюдаются в марте и октябре для второго типа кожи, а для четвёртого типа — в апреле и сентябре.

Однако если увеличить долю открытости тела за счёт рук, лица и шеи (S около 0,3), то для второго типа кожи возможно формирование витамина D в течение всего года; в декабре и январе повторяемость таких условий составляет 10–30 %. Отметим, что при такой открытости тела возможно формирование витамина D в феврале и ноябре для четвёртого типа кожи.

В летнее время для более устойчивого к воздействию УФ-излучения четвёртого типа кожи наблюдаются гораздо более мягкие условия УФ-оптимума или УФ-избыточности первой степени.

В тёплый период года в Крыму в утренние или вечерние часы практически всегда есть условия для формирования дозы $Q_{\text{сгу}}$, необходимой для образования витамина D.

Таблица 2

**Статистика околополуденных УФ-индексов в разные месяцы года
(по данным измерений на СФЭМ в 2018–2019 гг.)**

Месяц	Содержание озона, матм-см	Среднее значение полуденного УФ-индекса	Медианное значение полуденного УФ-индекса	25 % полуденного УФ-индекса	75 % полуденного УФ-индекса	Максимум полуденного УФ-индекса	Минимум полуденного УФ-индекса
Январь	343,5	0,74	0,71	0,59	0,96	1,26	0,21
Февраль	359,6	1,42	1,57	0,72	1,98	2,95	0,24
Март	365,2	3,14	3,26	2,36	3,95	5,42	0,36
Апрель	361,8	5,33	5,88	4,15	6,46	7,95	0,99
Май	335,3	7,09	7,66	6,36	8,33	9,10	2,37
Июнь	333,4	8,34	8,66	8,21	8,83	9,50	5,47
Июль	314,3	8,28	8,41	8,01	8,77	10,21	5,27
Август	304,0	7,24	7,39	6,99	7,98	8,63	1,95
Сентябрь	296,5	4,89	5,26	4,44	5,92	6,28	1,90
Октябрь*	–	–	–	–	–	–	–
Ноябрь	303,9	0,83	0,59	0,29	1,29	2,36	0,15
Декабрь	321,8	0,65	0,67	0,46	0,86	1,08	0,23

Примечания: * — отсутствие данных измерений в октябре связано с проведением калибровки прибора в МГУ.

Выводы

Таким образом, по данным двухлетнего УФ-мониторинга на территории Государственного природного заповедника «Карадагский» (КНС — ПЗ РАН — филиал ФИЦ ИнБЮМ), изучена временная динамика биологически активной эритемной УФ-радиации и факторов, её определяющих. Показано, что суточные суммы изменялись более чем в 10 раз, от 67,6 Джм⁻² до 5856 Джм⁻², и в целом соответствовали сезонному ходу высоты Солнца. Однако за счёт действия атмосферных факторов, главным образом плотной облачности, поступление УФ-радиации может меняться более чем в 5 раз, тем самым существенно влияя на её биологическое воздействие.

На основании данных измерений Q_{ery} оценены УФ-ресурсы в разные месяцы года. Получено, что при типичном для холодного периода года (ноябрь, декабрь, январь) использовании более тёплой и закрытой одежды, при котором доля открытости кожи человека (S) составляет порядка 0,1, наблюдаются условия УФ-недостаточности, когда невозможно формирование витамина D уже для второго типа кожи. С февраля при определённых условиях (отсутствие облаков или малооблачная погода, невысокий уровень озона) условия УФ-оптимума уже могут наблюдаться и при низких S (0,1). Наиболее благоприятные условия для проведения гелиотерапии при таких величинах S наблюдаются в марте и октябре для второго типа кожи, а для четвёртого типа — в апреле и сентябре.

При увеличении доли открытости тела за счёт рук, лица и шеи (S = 0,3) формирование витамина D возможно в течение всего года для второго типа кожи. В декабре и январе повторяемость таких условий составляет 10–30 %. В тёплый период года в Крыму в утренние или вечерние часы практически всегда есть условия для формирования дозы Q_{ery}, необходимой для образования витамина D. Летом для четвёртого типа кожи наблюдаются условия УФ-оптимума или УФ-избыточности первой степени.

Благодарности. Н. Е. Чубарова и Е. Ю. Жданова выполнили работу в рамках государственного задания, тема «Погодные и климатические процессы различных пространственно-временных масштабов в условиях антропогенного воздействия», № 121051400081-7. В. А. Лапченко принял участие в написании статьи в рамках темы государственного задания (№ 121032300023-7) «Изучение особенностей структуры и динамики сухопутных экосистем в различных климатических зонах».

Список литературы

1. Чубарова Н. Е. Пропускание суммарной УФ-радиации облаками различных типов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 1993. – Т. 29, № 5. – С. 639–645.
2. 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.
3. 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 / Eds: C. S. Weiler, P. A. Penhale. – Washington : American Geophysical Union, 1994. – P. 39–42. – (Antarctic Research Series ; vol. 62). – <https://doi.org/10.1029/AR062p0039>
4. Chubarova N., Zhdanova Ye. Ultraviolet resources over Northern Eurasia // Journal of Photochemistry and Photobiology. [Ser.] B, Biology. – 2013. – Vol. 127. – P. 38–51. – <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.07.013>
5. Dahlback A., Gelsor N., Stamnes J. J., Gjessing Y. UV measurements in the 3000–5000 m altitude region in Tibet // Journal of Geophysical Research. Atmospheres. – 2007. – Vol. 112, iss. D9. – Art. no. D09308 (10 p.). – <https://doi.org/10.1029/2006JD007700>
6. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 assessment // Photochemical and Photobiological Sciences. – 2015. – Vol. 14, no. 1. – P. 14–18. – <https://doi.org/10.1039/c4pp90042a>
7. Fitzpatrick T. B. The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI // Archives of Dermatology. – 1988. – Vol. 124, no. 6. – P. 869–871. – <https://doi.org/10.1001/archderm.1988.01670060015008>
8. Pfeifer M., Koepke T. P., Reuder J. Effects of altitude and aerosol on UV radiation // Journal of Geophysical Research. Atmospheres. – 2006. – Vol. 111, iss. D1. – Art. no. D01203 (11 p.). – <https://doi.org/10.1029/2005JD006444>
9. Reuder J., Schwander H. Aerosol effects on UV radiation in nonurban regions // Journal of Geophysical Research. Atmospheres. – 1999. – Vol. 104, iss. D4. – P. 4065–4077. – <https://doi.org/10.1029/1998JD200072>
10. Tanskanen A. Lambertian Surface Albedo Climatology at 360 nm from TOMS Data Using Moving Time-Window Technique // Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 1–8 June 2004, Kos, Greece / Ed. C. S. Zerefos. – Athens : International Ozone Commission, 2004. – P. 1159–1160.
11. Vanicek K., Frei T., Litynska Z., Schmalwieser A. UV Index for the Public : a guide for publication and interpretation of solar UV Index forecasts for the public : COST-713 Action. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2000. – 27 p. – (EUR/European Commission ; 19226).

ESTIMATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE ERYTHEMAL UV RADIATION
AND UV RESOURCES IN THE CRIMEA

Chubarova N. Y.¹, Zhdanova E. Y.¹, Lapchenko V. A.², Znamenskaya L. V.²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation,

²T. I. Vyzemsky Karadag Scientific Station — Nature Reserve of RAS — Branch of A. O. Kovalevsky Institute
of Biology of the Southern Seas of RAS, Kurortnoe, Feodosia, Russian Federation,

e-mail: ozon.karadag@gmail.com, znamenskayalv@mail.ru

The temporal changes of biologically active erythemal UV radiation (Qery) and its determining factors were analyzed at the territory of the State Nature Reserve «Karadagsky» (KNS — PZ RAS — Branch of IBSS) in the Crimea for the period of 2018–2019. The daily sum of Qery varied more than 10 times, from 67.6 Jm⁻² to 5856 Jm⁻², and generally corresponded to the seasonal course of the solar elevation, but due to optically thick clouds, Qery could decrease by more than 5 times, affecting its biological impact. Based on Qery measurement data, UV resources are estimated for different months of the year. It was found that during the cold period (November — January), when the degree of openness of the human skin is S = 0,1 and solar elevation is low, the conditions of UV deficiency are observed, when it is impossible to form vitamin D for the second type of skin. The most favorable conditions for heliotherapy at these S are observed in March and October for the second skin type, and for the fourth skin type — in April and September. With an increase in the proportion of body openness due to the hands, face and neck (S = 0,3), the formation of vitamin D is possible throughout the year for the second type of skin. In December and January, the frequency of such conditions is 10–30 %. During warm period in the Crimea in the morning or evening hours, the UV conditions favorable for vitamin D generation are almost always observed. In summer, for the fourth type of skin, conditions of UV optimum or UV excess of the first degree are detected.

Keywords: erythemal UV radiation, UV resources, Crimea, Karadag.

Сведения об авторах

Чубарова Наталья Евгеньевна	доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, natalia.chubarova@gmail.com
Жданова Екатерина Юрьевна	кандидат географических наук, научный сотрудник, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, ekaterinazhdanova214@gmail.com
Лапченко Владимир Александрович	научный сотрудник, Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», ozon.karadag@gmail.com
Знаменская Лариса Викторовна	главный специалист, Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», znamenskayalv@mail.ru

Поступила в редакцию 02.02.2021 г.

Принята к публикации 31.03.2021 г.