

ОСОБЕННОСТИ ТРАНЗИТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО ЗЕМЛЮ ПРОСТРАНСТВА

Фёдоров В.М., Фролов Д.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

PECULIARITIES OF TRANSIT IRRADIATION OF THE SPACE SURROUNDING THE EARTH

Fedorov V.M., Frolov D.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Calculations of the Earth's insolation on the surface of various altitude levels from the upper troposphere to the lower mesosphere were performed on the basis of astronomical ephemerides DE-406. The step was 10 km. Incoming and outgoing transit radiation in the space surrounding the Earth was analyzed and their balance was calculated. With a non-rotating Earth, the balance of incoming and outgoing transit radiation is 0. However, due to the rotation of the Earth, there is a discrepancy between the incoming solar radiation (1 degree in latitude and longitude) and the outgoing solar radiation from the cell. It is determined that the annual balances for latitudinal zones have a sharp negative minimum in the zones 65–75° South and south at all altitude levels. The semi-annual balances for the latitudinal zones of each half-surface in the summer half-years are positive in the region of 65°–90° and negative in the region of 0°–65° at all altitude levels. In the winter half-years, the opposite is true: negative in the area of 65°–90° and positive in the area of 0°–65°. The semi-annual balances for the zones are most significant in the polar regions.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-275-278

Под солярным климатом Земли понимаются теоретически рассчитываемые характеристики облучения земной поверхности и окружающего пространства без учёта поглощения и рассеяния солнечных лучей в атмосфере, изменений солнечной активности. Полученные ранее представления о солярном климате Земли не являются полными, поскольку они не содержат информацию о солярном климате окружающего Землю пространства, с которым Земля материально и энергетически тесно связана [1]. Для получения этой информации нами были рассчитаны характеристики облучения широтных зон поверхностей различных высотных уровней от верхней тропосферы до нижней мезосферы.

В расчётах различались падающее (лучи направлены к Земле) и транзитное (лучи направлены мимо Земли) облучение ячеек широтных зон поверхностей. Транзитное облучение подразделялось на входящее в тело, ограниченное поверхностью, и выходящее из этого тела (см. рисунок).

Эти характеристики облучения были вычислены с 3000 года до н.э. по 2999 год н.э. для поверхностей на высотных уровнях 10, 20, 30, 40, 50, 60 км [2, 3, 5]. Поверхности разделяются на северную и южную полуповерх-

ности и на 5-градусные широтные зоны. Рассматриваются тропические года, полугодия и месяцы с 3000 года до н.э. по 2999 год н.э. Для этих промежутков по аналогии с вычислением полной энергии $E_{DW} + E_{IT} + E_{OT}$ облучения каждой широтной зоны вычисляются её слагаемые E_{DW} , E_{IT} и E_{OT} (Дж) и по ним удельные энергии DW , IT , OT (Дж/м²), а также балансы $B = IT - OT$, средние многолетние (СМ) и для граничных лет (3000 до н.э. и 2999 н.э.).

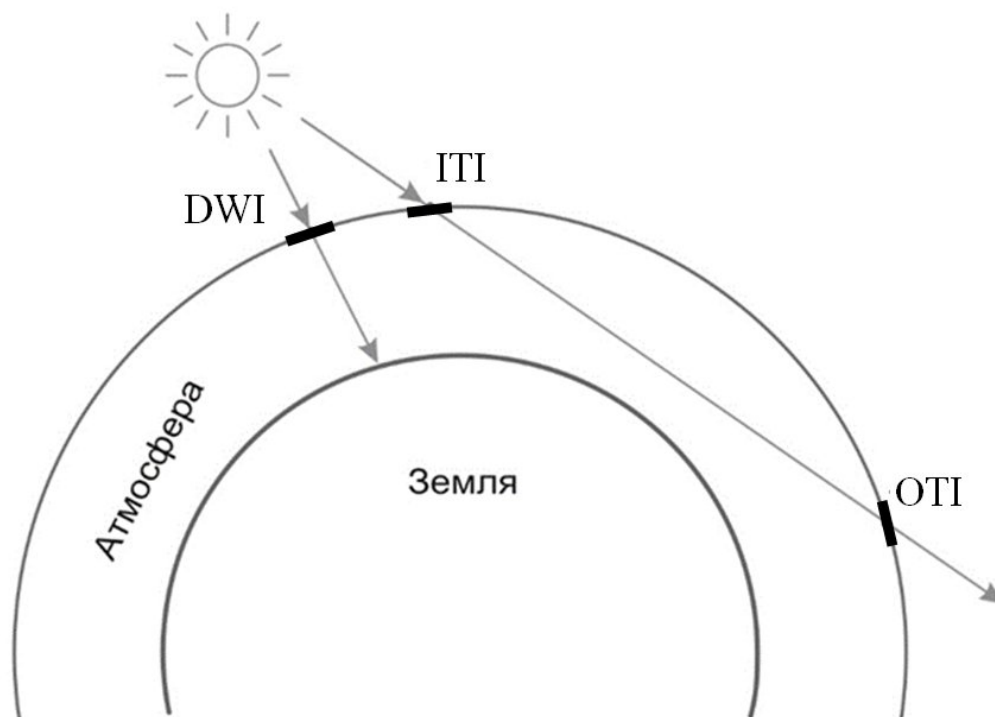


Рисунок. Виды облучения ячеек поверхности высотного уровня: DWI, INI, OTI.
 DWI – Downward Irradiation – падающее облучение;
 ITI – Incoming Transit Irradiation – входящее транзитное облучение;
 OTI – Outgoing Transit Irradiation – выходящее транзитное облучение.

Расчёт E_{DW} , E_{IT} , E_{OT} (Дж) для широтной зоны (φ_1, φ_2) поверхности L -го высотного уровня (L – высота в км, $H = 1000L$ – высота в м) в интервале (t_1, t_2) , выбранном на шкале равномерно текущего времени, выполняется по формулам:

$$E_{DW}(H, \varphi_1, \varphi_2, t_1, t_2) = 2 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \int_{0(H, t, \varphi)}^{\alpha_1(H, t, \varphi)} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha d\varphi dt \quad (1)$$

$$E_{IT}(H, \varphi_1, \varphi_2, t_1, t_2) = 2 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \int_{\alpha_1(H, t, \varphi)}^{\alpha_m(H, t, \varphi)} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha d\varphi dt \quad (2)$$

$$E_{OT}(H, \varphi_1, \varphi_2, t_1, t_2) = -2 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \int_{\alpha_m(H, t, \varphi)}^{\alpha_2(H, t, \varphi)} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha d\varphi dt \quad (3)$$

где α – часовой угол Солнца (в радианах) в момент t (измеряется в секундах) в точке Р с геодезической широтой φ (в радианах), находящейся на поверхности; $\sigma(H, \varphi)$ – площадной множитель в точке Р; $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – пло-

щадь (м^2) бесконечно малой трапеции с центром в точке Р (трапеция является ячейкой поверхности); $\Lambda(H, t, \varphi, \alpha)$ – интенсивность облучения (Вт/м^2) этой трапеции в малой окрестности момента t , взятая со знаком плюс при направлении лучей внутрь тела, ограниченного поверхностью, и со знаком минус при направлении лучей из этого тела; $\alpha_1(H, t, \varphi)$, $\alpha_m(H, t, \varphi)$, $\alpha_2(H, t, \varphi)$ – пределы интегрирования по α . Величины вычисляются с долями единиц измерения.

Величины $\sigma(H, \varphi)$, $\Lambda(H, t, \varphi, \alpha)$, $\alpha_1(H, t, \varphi)$, $\alpha_m(H, t, \varphi)$, $\alpha_2(H, t, \varphi)$ и моменты $\{t_{nm}\}$, соответствующие началам тропических суток (n – номер тропического года, m – номер суток в году), используемые для формирования границ интегрирования по t в формулах (1)–(3), вычисляются аналогично тому, как это сделано в работе [4], на основании высокоточных астрономических эфемерид DE406. Исходными данными для расчётов служат склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (СТ – Coordinate Time) и всемирного корректируемого времени (UT – Universal Time). Солнечная постоянная (среднее многолетнее значение TSI) принимается равной 1361 Вт/м^2 .

Для целой поверхности любого высотного уровня баланс удельных транзитных энергий равен нулю за любой промежуток времени (при отсутствии ошибок вычислений, без учёта поглощения и рассеяния солнечных лучей в атмосфере). Для полуповерхности и 5-градусной зоны баланс отличен от нуля при наличии транзитного облучения (оно отсутствует для трёх зон вокруг каждого полюса вблизи солнцестояний).

Годовые балансы для широтных зон имеют резкий отрицательный минимум в зонах 65° – 70° ю.ш. и с.ш. На высотных уровнях, начиная с 30 км, отрицательные значения наблюдаются в зонах 60° – 65° ю.ш. и с.ш. Отрицательные значения окружены высокими положительными значениями в прилегающих зонах. Вертикальный градиент годового баланса для зон 60° – 65° и 65° – 70° ю.ш. и с.ш. отрицателен на всех уровнях, для зон 70° – 75° ю.ш. и с.ш. – начиная с уровня $L = 35$ км. Для всех остальных зон вертикальный градиент положителен на всех уровнях. Области, где вертикальный градиент отрицателен на всех уровнях, совпадают с областями внутритропического циклогенеза, высотных фронтальных зон и струйных течений.

Полугодовые балансы для широтных зон каждой полуповерхности в летних полугодиях положительны в области 65° – 90° и отрицательны в области 0° – 65° на всех высотных уровнях. В зимних полугодиях наоборот: отрицательны в области 65° – 90° и положительны в области 0° – 65° . Полугодовой баланс для полуповерхности положителен в летнем и отрицателен в зимнем полугодии. Таким образом, полугодовые балансы для зон наиболее значительны в полярных областях [3, 5].

Месячные балансы для каждой полуповерхности максимальны (положительны) вблизи летних солнцестояний, минимальны (отрицательны)

вблизи зимних солнцестояний, близки к нулю вблизи равноденствий. Приращения месячных балансов для зон каждой полуповерхности с 3000 года до н.э. по 2999 год н.э. в летнем полугодии от экватора до полярных кругов малы по модулю и положительны, в зимнем полугодии малы по модулю и отрицательны. В полярной области (65° – 90°) отмечаются как положительные, так и отрицательные приращения, высокие по модулю. В результате этих изменений модуль полугодического баланса для каждой полуповерхности в каждом полугодии за 5999 лет сокращается.

Вычисленные массивы характеристик транзитного облучения могут быть использованы при исследовании особенностей термобарического поля, а также фотохимических реакций и процессов ионизации в плотных слоях атмосферы.

Литература

1. Федоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата // Успехи физических наук, 2019. Т. 189. № 1. С. 33–46. DOI: 10.3367/UFN.2017.12.038267.
2. Федоров В.М., Костин А.А., Фролов Д.М. Особенности удельной энергии облучения тонких слоёв атмосферы // Труды XXIV всероссийской ежегодной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика – 2020», Санкт-Петербург, Пулковское, 5–9 октября 2020. С. 301–304.
3. Федоров В.М., Костин А.А., Фролов Д.М. Баланс транзитного облучения окружающего землю пространства // Космические исследования, 2022. Т. 60. № 2, С. 116–124.
4. Fedorov V.M., Kostin A.A. The Calculation of the Earth's insolation for the 3000 BC - AD 2999 // Springer Geology, 2020. V. I. Pp. 181–192. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6_20.
5. Fedorov V.M., Kostin A.A., Frolov D.M. Peculiarities of transit irradiation of the surrounding the earth space // Cosmic Research, 2022. V. 60. № 2. Pp. 89–97. DOI: 10.1134/S0010952522020034