

## ПРИХОДЯЩЕЕ ТРАНЗИТНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

В.М. Федоров<sup>1</sup>, К.С. Дегтярев<sup>1</sup>, А.М. Залиханов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

[fedorov.msu@mail.ru](mailto:fedorov.msu@mail.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты расчета и анализа распределения значений удельного облучения окружающего Землю пространства от ее поверхности до нижней мезосферы. Рассматривается изменение проходящей транзитной радиации по трем осям пространства и во времени. В годовом ходе проходящего транзитного облучения в полярных областях на всех высотных уровнях синхронно для полушарий отмечаются два продолжительных периода полного затенения (связанные с солнцестояниями) и два коротких периода полного освещения (связанные с равноденствиями). В распределении годового транзитного облучения по географическим широтам на всех высотных уровнях в зонах 65–70° и вблизи них в каждом полушарии отмечаются максимумы, а в экваториальной области минимум. Для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. отмечается увеличение проходящего транзитного облучения в полярных областях полушарий на всех высотных уровнях и слабое сокращение облучения в областях, расположенных приблизительно между полярными кругами. Следствием этого является увеличение проходящего транзитного облучения поверхностей и полуповерхностей эллипсоидов в тропосфере и стратосфере Земли.

**Ключевые слова:** облучение Земли, солярный климат, расчеты облучения, падающая радиация, проходящая транзитная радиация, высотные уровни, пространственно-временные изменения.

## INCOMING TRANSIT IRRADIATION IN THE EARTH'S TROPOSPHERE AND STRATOSPHERE

V.M. Fedorov<sup>1</sup>, K.S. Degtyarev<sup>1</sup>, A.M. Zalikhanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University

**Abstract.** The work presents a calculation and analysis of the value distribution for the specific irradiation of the space surrounding the Earth from its surface to the lower mesosphere. The change of incoming transit radiation along three axes of space and in time is considered. In the annual course of incoming transit irradiation in the polar regions at all altitude levels, two long periods of full shading (associated with solstices) and two short periods of full illumination (associated with equinoxes) are observed synchronously for the hemispheres. In the distribution of annual transit radiation across geographical latitudes at all altitude levels in the zones of 65–70° and near them, maxima are observed in each hemisphere, and minimum in the equatorial region. For the period from 3000 BC to 2999 AD, there is an increase in incoming transit radiation in the polar regions of the hemispheres at all altitude levels and a slight decrease in radiation in areas located approximately between the polar circles. The consequence of this is an increase in the incoming transit irradiation of the surfaces and semisurfaces of ellipsoids in the Earth's troposphere and stratosphere.

**Keywords:** irradiation of the Earth, solar climate, radiation calculations, incident radiation, incoming transit radiation, altitude levels, spatial and temporal changes.

### 1. Введение.

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, рельефа, приливных деформаций Земли. Выполненные М. Миланковичем и его последователями расчёты позволили определить основные тенденции в пространственном и временном изменении инсоляции на уровне поверхности Земли. При этом Земля аппроксимировалась сферой, а расчеты инсоляции выполнялись для отдельных параллелей [1–7]. Расчёты солнечной энергии, проходящей на поверхность Земли и на поверхности различных высотных уровней окружающего Землю пространства, ранее не выполнялись. Проводились измерения интенсивности солнечной радиации (TSI – total solar irradiance) в окружающем Землю пространстве (с использованием аэростатов, самолётов и космических аппаратов). Определялись поглощение солнечной радиации в атмосфере и вариации солнечной постоянной, связанные с изменением активности Солнца [8–15].

Таким образом, полученные ранее представления о солярном климате Земли не являются полными, поскольку они не содержат информацию о солярном климате окружающего Землю пространства. Наиболее важной представляется информация о солярном климате плотных слоёв атмосферы – той части окружающего Землю пространства, с которым Земля материально и энергетически тесно связана. В связи с этим, целью нашей работы было исследование особенностей пространственных и временных изменений транзитного облучения поверхностей различных высотных уровней в текущем 2023 году и за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. Для решения этой задачи рассчитывались характеристики месячного облучения 5-ти градусных широтных зон

поверхностей различных высотных уровней от верхней тропосферы до нижней мезосферы в интервале времени от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э.

В расчётах различались падающее (лучи направлены к Земле) и транзитное (лучи направлены мимо Земли) облучение ячеек широтных зон поверхностей. Транзитное облучение подразделялось на входящую в тело солнечную радиацию (приходящая транзитная радиация), ограниченное поверхностью и радиацию, выходящую из этого тела [16]. Три указанных вида облучения представлены на рис. 1, где DWI (Downward Irradiation) – падающее облучение, ITI (Incoming Transit Irradiation) – входящее транзитное облучение, OTI (Outgoing Transit Irradiation) – выходящее транзитное облучение. В каждый момент времени поверхность можно разбить на ячейки таким образом, что для каждой из них будет реализован один из трёх видов облучения либо ячейка будет в тени.

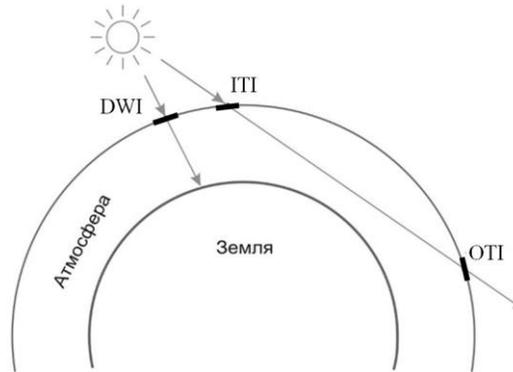


Рисунок 1. Виды облучения ячеек поверхности высотного уровня: DWI, ITI, OTI

Трёх видам облучения ячеек поверхностей соответствуют три энергетические характеристики (Дж) облучения широтной зоны в каждой части тропических года:  $E_{DW}$  – падающая энергия,  $E_{IT}$  – входящая транзитная энергия,  $E_{OT}$  – выходящая транзитная энергия. Эти характеристики были вычислены с 3000 года до н.э. по 2999 год н.э. [16].

Для дальнейшего анализа вычислялись удельные энергетические характеристики (Дж/м<sup>2</sup>):  $DW$  – удельная падающая энергия и  $IT$  – удельная входящая транзитная энергия. Для указания высотных уровней обозначения дополняются нижним индексом, указывающим высотный уровень в километрах, например,  $DW_0$ ,  $IT_{10}$ .

## 2. Методика расчетов.

Рассматриваются поверхности и ограничиваемые ими тела на высотных уровнях 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 км. Земная поверхность аппроксимируется эллипсоидом MRS80 с полуосями  $A=6378137$  м (две большие полуоси) и  $B=6356752$  м (малая полуось). Малая полуось этого эллипсоида совмещается с осью вращения Земли, вследствие чего он испытывает колебания относительно геоида (циклы Чандлера). Полуоси  $A$  и  $B$  с точностью до метра совпадают с полуосями общеземного эллипсоида GRS80 (Geodetic Reference System, 1980). Поверхности разделяются на северную и южную полуповерхности (полушария) и на 5-градусные широтные зоны (используется геодезическая широта). 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 [17] вычисляются её слагаемые  $E_{DW}$ ,  $E_{IT}$  (Дж) и по ним удельные энергии  $DW$ ,  $IT$  (Дж/м<sup>2</sup>) для 2023 года и для граничных лет (3000 до н.э. и 2999 н.э.).

Расчёт  $E_{DW}$ ,  $E_{IT}$  (Дж) для широтной зоны  $(\varphi_1, \varphi_2)$  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:

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

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

где  $\alpha$  – часовой угол Солнца (в радианах) в момент  $t$  (измеряется в секундах) в точке  $P$  с геодезической широтой  $\varphi$  (в радианах), находящейся на поверхности;  $\sigma(H, \varphi)$  – площадной множитель в точке  $P$ ;  $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$  – площадь (м<sup>2</sup>) бесконечно малой трапеции с центром в точке  $P$  (трапеция является ячейкой поверхности);  $\Lambda(H, t, \varphi, \alpha)$  – интенсивность облучения (Вт/м<sup>2</sup>) этой трапеции в малой окрестности момента  $t$ , взятая со знаком плюс при направлении лучей внутрь тела, ограниченного поверхностью;  $\alpha_1(H, t, \varphi)$ ,  $\alpha_m(H, t, \varphi)$ , – пределы интегрирования по  $\alpha$ . Величины вычисляются с долями единиц измерения. Неравенство  $\alpha_1(H, t, \varphi) < |\alpha| <$

$\alpha_m(H, t, \varphi)$  определяет множество значений  $\alpha$ , при которых в малой окрестности точки Р имеет место входящее транзитное облучение ячейки поверхности. Указанное множество может быть пустым.

Величины  $\sigma(H, \varphi)$ ,  $\Lambda(H, t, \varphi, \alpha)$ ,  $\alpha_1(H, t, \varphi)$ ,  $\alpha_m(H, t, \varphi)$  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, 2), вычисляются аналогично тому, как это сделано в работе [17], 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  $1361 \text{ Вт/м}^2$  [18].

### 3. Результаты и обсуждение.

Расчитывались приходящие составляющие удельной энергии облучения  $DW$  (для  $H = 0$ ) и  $IT$  ( $\text{Дж/м}^2$ ) для эллипсоидов располагаемых на высотных уровнях 10, 20, 30, 40, 50 и 60 км. Таким образом, расчетами с шагом по высоте в 10 км охватывалось окружающее Землю пространство (без учета атмосферы) от верхней тропосферы до нижней мезосферы. Рассмотрим для текущего 2023 года пространственно-временное распределение годовой  $IT_{10}$  (с которым в общем, сходно распределение  $IT$  на других высотных уровнях). В северном полушарии со 2-го по 5-й и с 8-го по 11-й астрономический месяц не облучается поверхность в широтной зоне  $85\text{--}90^\circ$ . С 8-го по 11-й месяц полностью затененной остается поверхность в широтной зоне  $80\text{--}85^\circ$ . В течение 3-го, 4-го, 9-го и 10-го астрономических месяцев не облучается широтная область  $80\text{--}75^\circ$ , а в течение 9-го и 10-го астрономических месяцев остается не освещенной широтная зона  $70\text{--}75^\circ$  с.ш. (рисунок 2).

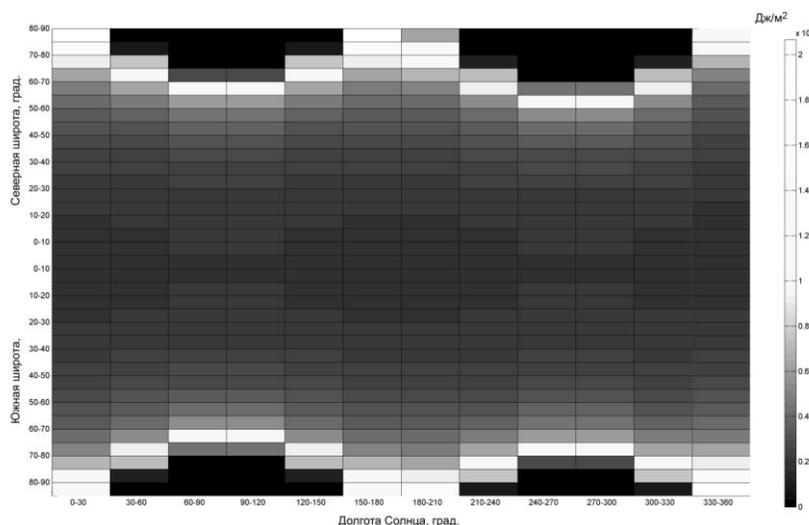


Рисунок 2. Пространственно-временные изменения  $IT_{10}$  ( $\text{Дж/м}^2$ ) в 2023 г

В южном полушарии со 2-го по 5-й и с 8-го по 11-й астрономический месяц солнечная радиация не поступает в широтную зону  $85\text{--}90^\circ$ . В период со 2-го по 5-й, а также в 9-й и 10-й астрономический месяц не облучается поверхность в широтной зоне  $80\text{--}85^\circ$ . В 3-й, 4-й, 9-й и 10-й месяц полностью затенены поверхности южного полушария (на высотном уровне 10 км) в зоне  $75\text{--}80^\circ$ . В 3-й и 4-й месяцы также затенена область  $70\text{--}75^\circ$  ю.ш.

В периоды равноденствий максимальные годовые значения  $IT_{10}$  связаны с полярными зонами  $80\text{--}90^\circ$  широты в каждом полушарии. В периоды солнцестояний области максимальных значений  $IT_{10}$  смещаются к полярным кругам. В распределении  $DW_0$  в период равноденствий максимальные значения отмечаются в приэкваториальных областях. В период солнцестояний они смещаются в сторону полярных кругов, где в летних полушариях смыкаются с областями полярного дня (на рисунке 3).

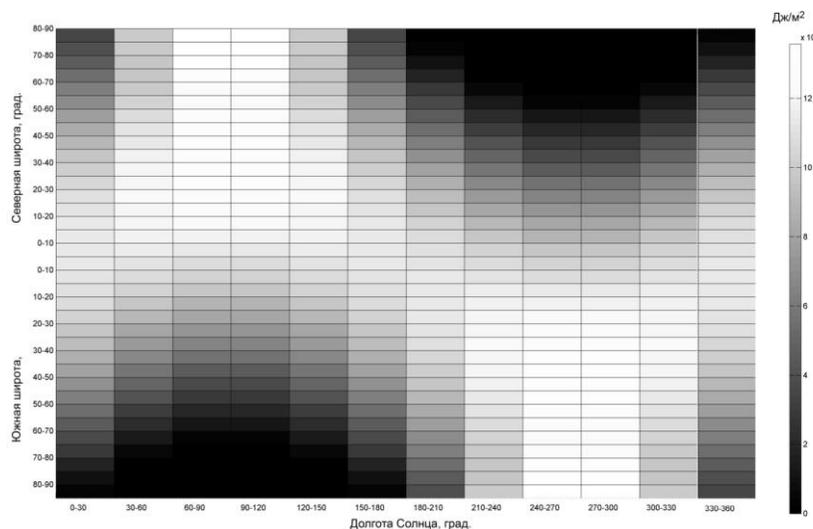


Рисунок 3. Пространственно-временные изменения  $DW_0$  ( $Dz/m^2$ ) в 2023 г

В зимних полушариях в это время отмечается отсутствие  $DW_0$  – полярная ночь. В распределение годовых значений  $IT_{10}$  полярные ночи (точнее, периоды полного затенения Землей полярных зон) отмечаются в период солнцестояний в полярных областях, как в зимнее, так и в летнее полугодие. Там же в период солнцестояний отмечаются полярные дни (периоды полного освещения). Таким образом, в полярных областях эллипсоидов на высотных уровнях отмечаются две полярные ночи и два полярных дня в течение года. Это связано с особенностями сезонного затенения Землей 5-ти градусных широтных зон полярных областей расположенных на поверхностях различных высотных уровней в окружающем Землю пространстве.

В широтном распределении среднегодовых значений  $IT_{10}$  максимум отмечается в зонах 65–70° в каждом полушарии, минимальные значения локализуются в экваториальной области (рисунок 4).

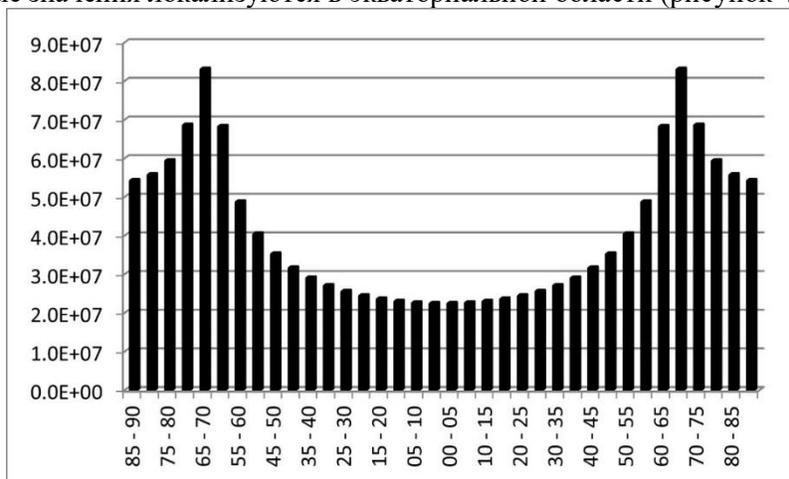


Рисунок 4. Широтное распределение  $IT_{10}$  ( $Dz/m^2$ ) в 2023 г

Такое распределение  $IT$  близко к асимметричному, относительно широтного распределения среднегодовой  $DW_0$  (рисунок 5).

Коэффициент корреляции широтного распределения  $IT_{10}$  и  $DW_0$  равен -0,905. Приходящее транзитное облучение ( $IT_{10}$ ) в среднем по всем широтным зонам составляет 0,551% от падающего облучения ( $DW_0$ ), в полярных областях (60–90°) северного и южного полушария это значение выше – 1,080%. С высотой значение  $IT_{10}$  относительно  $DW_0$  возрастает (таблица 1).

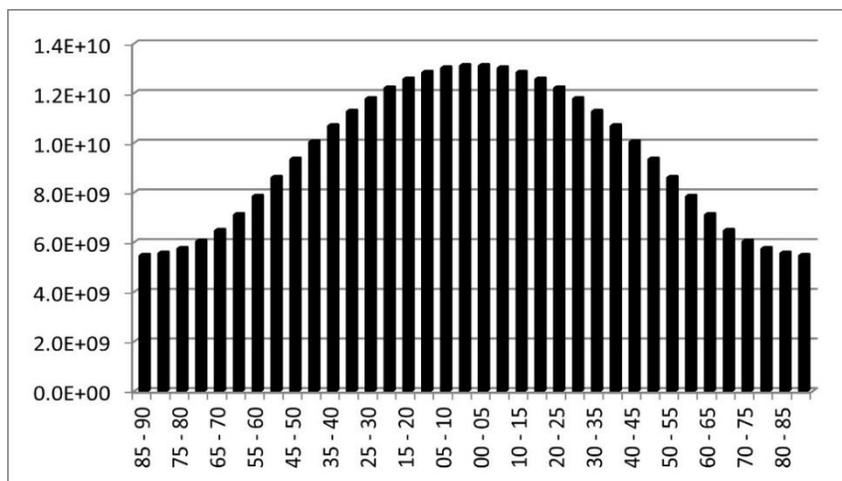


Рисунок 5. Широтное распределение  $DW_0$  (Дж/м²) в 2023 г

Таблица 1.

Изменение среднего для широтной зоны отношения  $IT_{10} / DW_0$  (%) для эллипсоидов и полярных областей эллипсоидов на разных высотных уровнях

Высотный уровень, км	90° с.ш – 90° ю.ш.	60–90°
10	0,551	1,080
20	1,109	2,177
30	1,675	3,288
40	2,247	4,412
50	2,826	5,544
60	3,413	6,689

Увеличение отношения  $IT_{10} / DW_0$  с высотой объясняется увеличением площади поверхности облучаемой транзитной радиацией ( $IT$ ), в то время как площадь поверхности облучаемой падающей радиацией ( $DW$ ) практически не меняется.

Пространственно-временная картина изменений  $IT$  (в общем, сходная для разных высотных уровней) за период с 3000 г. до н.э. по 2999 г. принципиально отличается от характера изменений  $DW$  (рисунки 4, 5). Полученные ранее результаты расчетов инсоляции Земли ( $DW_0$ ) для периода с 3000 г. до н.э. по 2999 г. позволили определить основные пространственные и временные особенности ее изменений (рисунок 6).

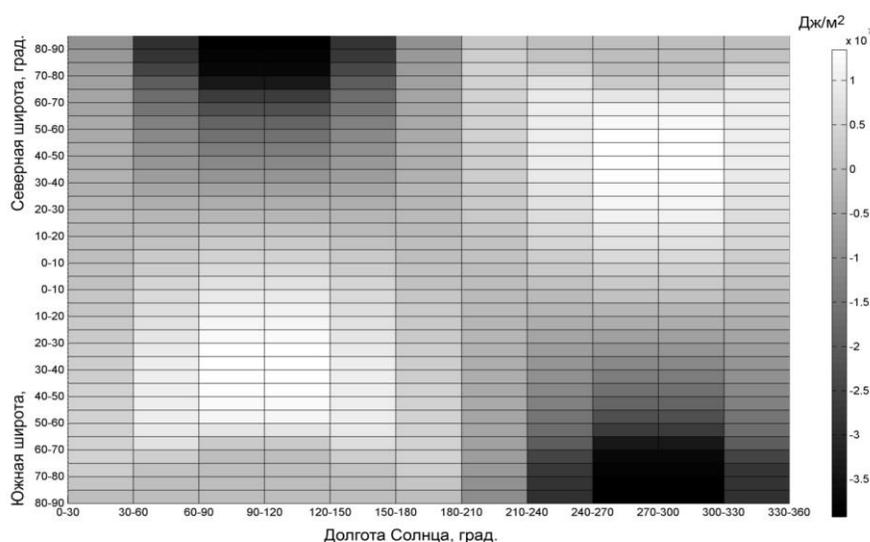


Рисунок 6. Пространственно – временные изменения  $DW_0$  (Дж/м²) за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г

Определено, что за период с 3000 г. до н.э. по 2999 г. в изменении годовой инсоляции Земли отмечается слабая тенденция к сокращению, которая определяется уменьшением инсоляции в летние полугодия. В зимние

полугодия инсоляция увеличивается, то есть происходит сглаживание сезонных различий. Отмечается увеличение приходящей солнечной радиации в экваториальную область (источник тепла) и сокращение инсоляции в полярных районах (области стока тепла). Таким образом, меридиональная контрастность инсоляции (меридиональный градиент инсоляции) на поверхности Земли (аппроксимированной эллипсоидом) увеличивается [19; 20].

В период от 3000 до н.э. до 2999 г. н.э. в северном полушарии в период со 2-го по 5-й и с 8-го по 11-й астрономический месяц транзитная радиация не поступает в широтную зону 85–90° (рис. 7). В период с 3-го по 4-й и с 8-го по 11-й месяц за 5999 лет не облучается широтная зона 80–85° с.ш. В 3-й и 4-й, а также в 9-й и 10-й астрономический месяц не получает солнечной энергии широтная зона 75–80° с.ш. В 8-й и 10-й месяц полное затенение отмечается в зоне 70–75° с.ш. Максимальное сокращение (на 3,0E+05 Дж/м<sup>2</sup>) транзитного облучения в северном полушарии отмечается в 3-й и 4-й астрономический месяц (вблизи летнего солнцестояния) в широтной зоне 60–65° и в 9-й и 10-й месяцы (на 2,34E+05 Дж/м<sup>2</sup>) – вблизи зимнего солнцестояния – в зоне 55–60°.

Увеличение транзитного облучения в северном полушарии (на уровне 10 км) отмечается для широтной зоны 85–90° в 1-й, 6-й, 7-й и 12-й астрономический месяц; для зоны 80–85° в 1-й, 2-й, с 5-го по 7-й и в 12-й месяц; для зоны 75–80° – во 2-й, 5-й, 7-й, 8-й, 11-й и 12-й месяц; для широтной зоны 70–75° – со 2-го по 5-й, а также в 8-й и 11-й месяц; в зоне 65–70° – в 9-й и 10-й астрономический месяц.

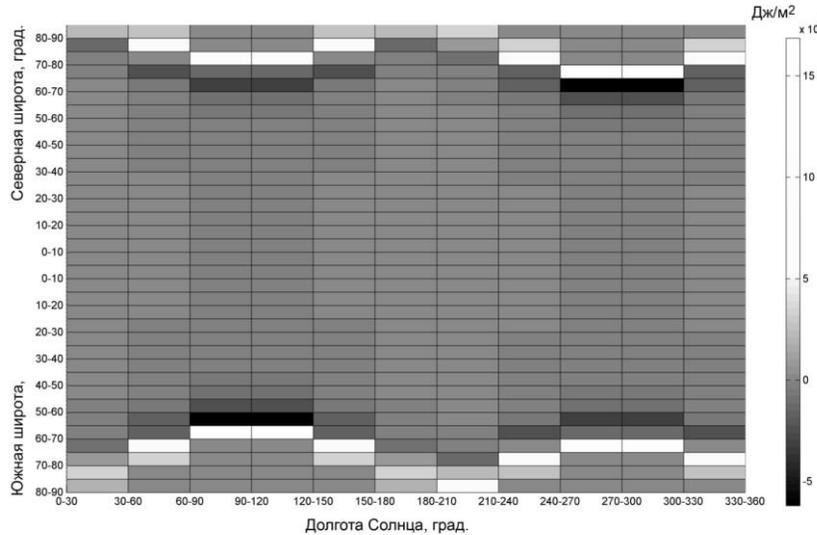


Рисунок 7. Пространственно – временные изменения  $DW_0$  (Дж/м<sup>2</sup>) за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г

В остальных областях северного полушария, расположенных южнее отмечается, небольшое по величине, сокращение приходящего транзитного облучения за период в 5999 лет. Суммарное сокращение  $IT_{10}$  в широтной области 0–70° с.ш. составляет 2,585E+06 Дж/м<sup>2</sup>. Суммарное увеличение в полярной области (70–90° с.ш.) составляет 9,160E+06 Дж/м<sup>2</sup>. Таким образом, увеличение  $IT$  за 5999 лет на уровне 10 км для северного полушария равно 6,575E+06 Дж/м<sup>2</sup>. Для уровня 60 км суммарное сокращение в области 0–70° с.ш. составляет 1,256E+07 Дж/м<sup>2</sup>, увеличение в полярной области (70–90° с.ш.) – 5,149E+07 Дж/м<sup>2</sup>. Увеличение  $IT_{60}$  равно 3,893E+07 Дж/м<sup>2</sup>. То есть, увеличение  $IT$  полушария возрастает с высотой (таблица 2).

Таблица 2.

Изменение разности  $IT$  в полушариях (области 70–90° и области 0–70°) за период от 3000 до н.э. до 2999 г. н.э. по высотным уровням, Дж/м<sup>2</sup>

Высотный уровень, км					
10	20	30	40	50	60
6,575E+06	1,334E+07	1,968E+07	2,612E+07	3,261E+07	3,893E+07

В южном полушарии (полуповерхности) за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. транзитному облучению не подвергается широтная зона 85–90° ю.ш. в периоды с 1-го по 5-й и с 8-го по 11-й астрономические месяцы. Широтная зона 80–85° ю.ш. не облучается в период с 1-го по 5-й, а также в 9-й и 10-й месяц; зона 75–80° – в 3-й, 4-й, 9-й и 10-й; в зону 70–75° транзитное облучение не поступает в 3-й и 4-й месяц. Увеличение  $IT_{10}$  в широтной зоне 85–90° ю.ш. отмечается вблизи равноденствий в 1-й, 6-й, 7-й и 12-й месяцы. В широтной зоне 80–85° ю.ш. –

в 1-й, с 6-го по 8-й, в 11-й и 12-й астрономический месяц. В зоне 75–80° ю.ш. увеличение происходит в 1-й, 2-й, 5-й, 6-й, 8-й и 11-й месяц, в зоне 70–75° ю.ш. – во 2-й, 5-й и в период с 8-го по 11-й месяц, в широтной зоне 65–70° ю.ш. – в 3-й и 4-й месяц. На остиальном, расположенном севернее, пространстве южного полушария отмечается небольшое по величине сокращение приходящего транзитного облучения. Максимальное сокращение ( $-2,34E+05$  Вт/м<sup>2</sup>) отмечается в широтной зоне 55–60° ю.ш. в 3-й и 4-й астрономический месяц, а также в зоне 60–65° ю.ш. ( $-3,0E+05$  Дж/м<sup>2</sup>) в 9-й и 10-й астрономический месяц. В целом, *IT* для южного полушария за 5999 лет увеличивается (на величину, отмеченную для северного полушария –  $6,575E+06$  Дж/м<sup>2</sup>). С высотой это увеличение, как и в северном полушарии, возрастает (таблица 2). Увеличение *IT* в полушарии происходит за счет возрастания транзитного облучения полярных областей. В таблице 2 приведены разности изменения облучения полярной области 70–90° и области 0–70° для полушарий за период от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. для высотных уровней. Для полушарий эти разности равны до третьего знака после запятой.

Таким образом, основные изменения в пространственной структуре транзитного облучения за 5999 лет определяются увеличением облучения полярных областей полушарий и сокращением облучения областей, расположенных приблизительно между полярными кругами. Следствием отмеченного характера транзитного облучения является увеличение вертикального градиента инсоляции в этих областях. Это подтверждается тем, что одной из ранее определенных особенностей изменения  $DW_0$ , связанной с уменьшением наклона оси вращения Земли в этот период, является сокращение  $DW_0$  в полярных районах и ее увеличение в экваториальной области [1; 19; 20].

#### 4. Выводы.

В годовом ходе *IT* в полярных областях на высотных уровнях синхронно для полушарий отмечаются два продолжительных периода полного затенения (связанные с солнцестояниями) и два коротких периода полного освещения (связанные с равноденствиями).

В широтном распределении годового транзитного облучения на всех высотных уровнях в широтной зоне 65–70° и вблизи нее в каждом полушарии отмечается максимум, а в экваториальной области минимум.

Для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. в каждом полушарии отмечаются области увеличения, сокращения и нулевых значений транзитного облучения. В целом, для этого периода отмечается сильное увеличение транзитного облучения полярных областей полушарий (полуповерхностей эллипсоидов) на всех высотных уровнях и слабое сокращение облучения областей расположенных приблизительно между полярными кругами. Следствием сильного увеличения транзитного облучения полярных областей является увеличение транзитного облучения полуповерхностей и поверхностей эллипсоидов.

Полученные результаты могут быть полезны при исследовании фотохимических и термобарических процессов в верхней атмосфере, а также расчета радиационного баланса на разных уровнях окружающего Землю пространства.

*Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Эволюция, современное состояние и прогноз развития береговой зоны Российской Арктики» (121051100167-1) и «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051100164-0).*

#### Литература/References:

1. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.–Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
2. Vernekar A. Long-period global variations of incoming solar radiation // Series: Meteorological Monographs. American Meteorological Society. 1972. V. 12. № 34. 128 p.
3. Berger A. Long-term variation of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements // Quat. Res. 1978. V. 9. P. 139–167.
4. Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. О вековых изменениях элементов орбиты Земли, влияющих на климаты геологического прошлого // Бюллетень Института теоретической астрономии АН СССР. 1967. Т. 11. № 4 (127). С. 231–261.
5. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.
6. Laskar J., Joutel F., Boudin F. Orbital, precessional and insolation quantities for the Earth from – 20 Myr to + 10 Myr // Astron. and Astrophys. 1993. V. 287. P. 522– 533.
7. Cionco R.G., Soon W.W-H. Short-Term Orbital Forcing: A Quasi-Review and a Reappraisal of Realistic Boundary Conditions for Climate Modeling // Earth-Science Reviews. 2017. V. 166. P. 206–222.
8. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А., Есипова Е.Н. Аэростатные исследования радиационных потоков в свободной атмосфере // Изв. АН СССР, сер. физ. атм. и океана. 1966. Т. 2. № 4. С. 380–393.

9. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука, 1991. 400 с.
10. Fröhlich C. Observations of irradiance variability // *Space Science Reviews*. 2000. V. 94. P. 15–24.
11. Fröhlich C. Total solar irradiance observations // *Surveys in Geophysics*. 2012. V. 33. P. 453–473. DOI: 10.1007/s10712-011-9168-5.
12. Willson R. C., Mordvinov A.V. Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22 // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30. P. 1199–1202. DOI: 10.1029/2002GL016038.
13. Connolly R., Soon W., Connolly M., Baliunas S., Berglund J., Butler C.J., Cionco R.G., Elias A.G., Fedorov V.M., Harde H., Henry G.W., Hoyt D.V., Humlum O., Legates D.R., Luning S., Scafetta N., Solheim J.E., Szarka L., Van Loon H., Velasco Herrera V.M., Willson R.C., Yan H., Zhang W. How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? An ongoing debate // *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2021. V.21. № 6. P. 1–68/ DOI: 10.1088/1674-4527/21/6/131.
14. <http://www.pmodwrc.ch> – Электронный ресурс Мирового радиационного центра – World Radiation Center – Швейцария.
15. <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/solarirrad.html> – Электронный ресурс Национального управления океанических и атмосферных исследований (США).
16. Fedorov V.M., Kostin A.A., Frolov D.M. Balance of Transit Irradiation of Space Surrounding the Earth // *Cosmic Research*, 2022. V. 60, № 2. P. 89–97. DOI: 10.1134/S0010952522020034.
17. Федоров В.М., Костин А.А. Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. // *Процессы в геосредах*, 2019. № 2, С. 254–262.
18. Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*. 2011. V. 37. L01706. DOI: 10.1029/2010GL045777.
19. Fedorov V.M. The problem of meridional heat transport in the astronomical climate theory // *Izvestiya – Atmospheric and Oceanic*, 2019. V. 55. № 10. P. 1572–1583. DOI:10.1134/S0001433819100025.
20. Федоров В.М., Фролов Д.М., Залиханов А.М. Орбитальное движение Земли и характер годового хода ее облучения // *Процессы в геосредах*, 2022. № 3. С. 1742–1747.

## СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ГРУНТЫ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.Г. Янин<sup>1</sup>, О.И. Янина<sup>1</sup>, Я.А. Янина<sup>1</sup>, А.Г. Чигарев<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Воронежский государственный технический университет*  
[yaninaoi1957@gmail.com](mailto:yaninaoi1957@gmail.com)

**Аннотация.** Целью исследования является изучение влияния специфических грунтов основания фундаментов на формирование современных техногенных условий на исторических городских территориях. Специфические грунты основания фундаментов сохранившихся зданий – объектов культурного наследия (ОКН) являются инженерно-геологической средой для развития новейших техногенных процессов, связанных с изменением современного рельефа толщей антропогенных грунтов и условиями эксплуатации зданий на прилегающих территориях. Особенно интенсивно техногенные процессы развиваются в специфических грунтах основания фундаментов, таких как насыпные грунты, почвы и просадочные глинистые грунты. Мониторинг состояния фундаментов здания ОКН, результаты лабораторных исследований специфических грунтов основания и использование численных расчетов в ПК Midas GTS NX позволяют определить оптимальный метод повышения несущей способности специфических грунтов основания для дальнейшего использования здания ОКН в сложившихся современных техногенных условиях на исторических городских территориях.

**Ключевые слова:** специфические грунты, антропогенные грунты, техногенные условия, историческая территория, грунт основания, конструкции, численный расчет.

## SPECIFIC FOUNDATION SOILS AS A FACTOR IN THE FORMATION OF MODERN TECHNOGENIC CONDITIONS IN HISTORICAL URBAN AREAS

A.G. Yanin<sup>1</sup>, O.I. Yanina<sup>1</sup>, Ya.A. Yanina<sup>1</sup>, A.G. Chigarev<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Voronezh State Technical University*

**Abstract.** The aim of the study is to study the influence of specific soils of the foundation foundations on the formation of modern man-made conditions in historical urban areas. The specific soils of the foundations of the preserved buildings – objects of cultural heritage (OKN) are an engineering and geological environment for the development of the latest technogenic processes associated with changes in the modern relief by the thickness of anthropogenic soils and the operating conditions of buildings in adjacent territories. Technogenic processes develop especially intensively in specific soils of the foundation foundation, such as bulk soils, soils and subsident clay soils. Monitoring the condition of the foundations of the window building, the results of laboratory studies of specific foundation soils and the use of numerical calculations in the Midas GTS NX PC allow us to determine the optimal method for increasing the bearing capacity of specific foundation soils for further use of the window building in the prevailing modern man-made conditions in historical urban areas.