

*B.C. Воюц*

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЛЬЕФА  
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЕЙ ПО ВЕЛИЧИНАМ  
ПОСТУПАЮЩЕГО СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛА**

*V.S. Vouz*

**REPRESENTATIONS OF THE ELEMENTARY SURFACES OF SURFACE  
RELIEF DIFFERENTIATED BY THE VALUES OF INCOMING SOLAR HEAT**

*В статье описывается подход к формализованному районированию рельефа на основе расчета инсоляции с выделением структурных линий рельефа. Представлены результаты моделирования земной поверхности и инсоляционных характеристик, полученные с использованием разработанного алгоритма расчета инсоляции и алгоритмов обработки данных средствами геоинформационной системы «ArcGIS». Приведена сезонная изменчивость приходящей солнечной радиации за теплый период времени, которая существенно изменяется от года к году. Получены оценки сходства тепловых показателей морфологических единиц районирования.*

*Ключевые слова: инсоляция, формализованное районирование рельефа земной поверхности, структурные линии рельефа, средообразующие свойства рельефа.*

*The article considers the method of formal zoning relief on the basis of the calculation of insolation with the selection of the structural lines of the terrain. Simulation results are presented to the earth's surface and the amount of solar energy characteristics obtained using the developed by the authors of the algorithm of calculation of insolation and data processing algorithms geoinformation systems «ArcGIS». Reflected the seasonal variability of the incoming solar radiation for the warm period of time, significantly changing from year to year. Estimates of the similarity of the thermal performance of the morphological units zoning.*

*Key words: insolation, formalized zoning relief of the earth surface, the structural lines of the relief-forming properties of the terrain.*

***Введение***

В современной практике решения многих географических задач требуется построение цифровой модели рельефа (ЦМР), которая в большинстве случаев представляется в растровой форме. Наиболее широкое распространение получил метод представления ЦМР посредством регулярной сетки (grid). Основным преимуществом этого метода является простота использования при решении прикладных задач [1, 2, 6]. Для оценивания качества построенных моделей можно использовать, во-первых, визуальное их сопоставление, в том числе сравнение с ранее созданной картой, и, во-вторых, распределение «невязок» между реальными данными, принятыми к обработке и рассчитанным по ним «гридом». Этот математико-статистический метод оценивания качества модели рельефа, как правило, применяется в топографии для определения геометрического соответствия аппроксимационной модели реальной земной поверхности.

Вместе с тем, при оценивании целого ряда природных явлений, например, инсоляции на склоновых поверхностях, рельеф требуется делить на участки (полигоны), отличающиеся величиной поступающей солнечной радиации в зависимости от угла падения склона  $\alpha$  и экспозиции  $\beta$ . В таком случае возникает задача разработки шкал, диапазоны которых репрезентативно отражают различия между единицами формализованного районирования по морфологическим показателям. Другими словами требуется ответить на вопрос, в каких пределах приращения  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\beta$  должны быть статистически не значимыми, т.е. указывать на принадлежность элементарной поверхности к одному общему типу.

### ***Построение математико-картографических моделей инсоляционного эффекта рельефа на примере Выборгского района Ленинградской области***

В данной работе предлагается подход к дискретному представлению рельефа, используемый при картографическом районировании. Такой подход учитывает инсоляцию как характеристику, дифференцирующую элементы склоновых поверхностей различной ориентации по сторонам света величинами поступающего к почве тепла за счет солнечной радиации. С точки зрения геофизики, решение задачи типизации элементов рельефа сводится к отражению статистически незначимых различий поступления солнечного тепла на склоновые поверхности. В этом случае структурные линии рельефа (гребневые, килевые, бровки или грани [3, 5]) будут проявляться за счет параметров инсоляции. Кроме того, модели инсоляционного эффекта рельефа, полученные за счет рассеянной и общей радиации, могут существенно отличаться, что будет свидетельствовать о роли рельефа в формировании микроклимата [4, 6, 7]. На рис. 1 приведен фрагмент модели рельефа, с отображением изолиний и полигональных элементов поверхностей, подписанных двухзначными индексами.

Первая цифра индекса указывает на уклон (1 — до  $2^\circ$ , 2 — от  $2^\circ$  до  $6^\circ$ , 3 — от  $6^\circ$  до  $12^\circ$ , 4 — от  $12^\circ$  до  $20^\circ$ , 5 — от  $20^\circ$  до  $30^\circ$ , 6 — от  $30^\circ$  до  $45^\circ$ , 7 — склон выше  $45^\circ$ ), вторая цифра индекса указывает на экспозицию (1 — равнина, 2 — северный склон, 3 — западный или восточный склон, 4 — южный склон). Такое деление рельефа на участки по диапазонам значений уклона и экспозиции позволяет выполнить зональную статистику и вычислить значения поступающего от солнца тепла для единиц формализованного районирования после построения поля инсоляции по территории Выборгского района. В табл. 1 показаны результаты расчетов для 2010 и 2013 г., выполненных с использованием соответствующих результатов актинометрических и метеонаблюдений.

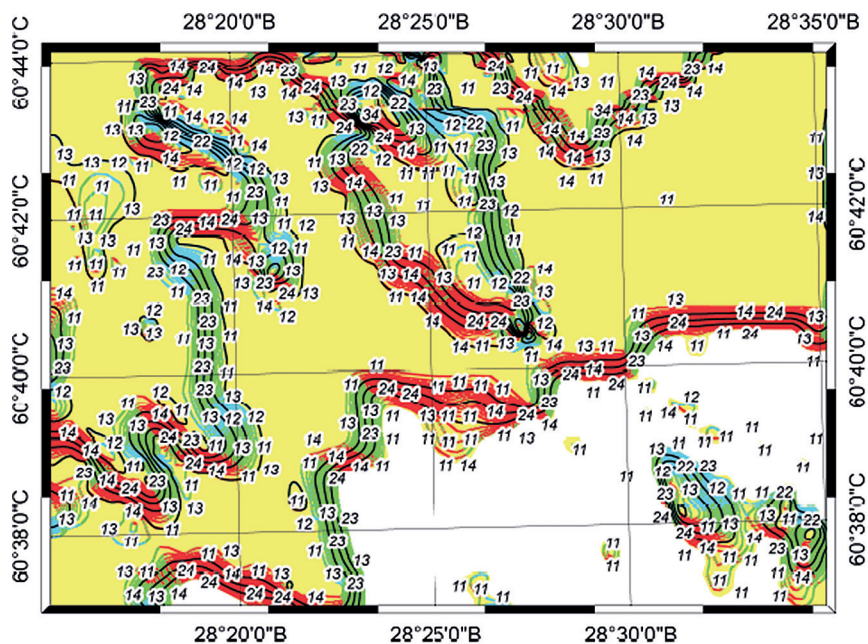
Временные интервалы осреднения (16 дней) обусловлены периодичностью подготовки материалов спутникового зондирования фотосинтетической активности растений, для которых инсоляция является одним из важнейших факторов вегетационного развития с 26 мая по 14 сентября.

Расчетные значения инсоляции для склоновых поверхностей явно свидетельствуют о пренебрежимо малых различиях между равнинами и склонами с углами падения до  $2^\circ$  (менее 1 %). Следовательно, выделение склонов с уклонами до  $2^\circ$  не является необходимым. Об этом свидетельствуют и графики сезонной изменчивости, приведенные на рис. 2 и 3.

Таблица 1

## Инсоляционный эффект рельефа Выборгского района ЛО

Склон	Сезон 1	Сезон 2	Сезон 3	Сезон 4	Сезон 5	Сезон 6	Сезон 7
Инсоляция в 2010 г., кДж/м <sup>2</sup> *сезон							
11	1,489E+10	1,212E+10	3,546E+10	2,656E+10	2,155E+10	1,294E+10	2,469E+09
12	1,481E+10	1,205E+10	3,528E+10	2,641E+10	2,141E+10	1,284E+10	2,446E+09
13	1,489E+10	1,212E+10	3,546E+10	2,657E+10	2,155E+10	1,294E+10	2,469E+09
14	1,497E+10	1,218E+10	3,564E+10	2,671E+10	2,169E+10	1,303E+10	2,491E+09
Отличие инсоляции на склонах относительно равнины							
12	0,53 %	0,52 %	0,53 %	0,57 %	0,64 %	0,75 %	0,91 %
13	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,01 %	0,02 %
14	0,51 %	0,50 %	0,51 %	0,55 %	0,63 %	0,73 %	0,90 %
Инсоляция в 2010 г., кДж/м <sup>2</sup> *сезон							
52	1,249E+10	1,020E+10	2,978E+10	2,209E+10	1,756E+10	1,026E+10	1,871E+09
53	1,411E+10	1,148E+10	3,359E+10	2,516E+10	2,040E+10	1,224E+10	2,335E+09
54	1,577E+10	1,279E+10	3,750E+10	2,831E+10	2,332E+10	1,429E+10	2,812E+09
Отличие инсоляции на склонах относительно равнины							
52	16,13 %	15,78 %	16,02 %	16,86 %	18,50 %	20,73 %	24,19 %
53	5,29 %	5,28 %	5,29 %	5,30 %	5,33 %	5,37 %	5,42 %
54	5,86 %	5,52 %	5,75 %	6,59 %	8,23 %	10,45 %	13,90 %
Инсоляция в 2013 г., кДж/м <sup>2</sup> *сезон							
11	2,726E+10	2,392E+10	1,894E+10	2,081E+10	1,968E+10	1,466E+10	1,105E+10
12	2,711E+10	2,380E+10	1,884E+10	2,069E+10	1,955E+10	1,454E+10	1,094E+10
13	2,726E+10	2,392E+10	1,895E+10	2,081E+10	1,968E+10	1,466E+10	1,105E+10
14	2,740E+10	2,404E+10	1,904E+10	2,093E+10	1,980E+10	1,477E+10	1,115E+10
Отличие инсоляции на склонах относительно равнины							
12	0,54 %	0,51 %	0,53 %	0,58 %	0,64 %	0,79 %	0,94 %
13	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,02 %
14	0,52 %	0,49 %	0,51 %	0,56 %	0,62 %	0,78 %	0,93 %
Инсоляция в 2010 г., кДж/м <sup>2</sup> *сезон							
52	2,284E+10	2,015E+10	1,591E+10	1,725E+10	1,605E+10	1,148E+10	8,298E+09
53	2,581E+10	2,266E+10	1,794E+10	1,970E+10	1,863E+10	1,387E+10	1,045E+10
54	2,887E+10	2,523E+10	2,004E+10	2,223E+10	2,129E+10	1,633E+10	1,266E+10
Отличие инсоляции на склонах относительно равнины							
52	16,20 %	15,75 %	16,03 %	17,13 %	18,45 %	21,71 %	24,87 %
53	5,29 %	5,28 %	5,29 %	5,33 %	5,33 %	5,38 %	5,44 %
54	5,94 %	5,48 %	5,76 %	6,81 %	8,18 %	11,43 %	14,59 %



**Элементы рельефа**

ИНДЕКС	13	23	33	43	53	63	73	
	11	14	24	34	44	54	64	74
	12	22	32	42	52	62	72	

Рис. 1. Фрагмент картографического изображения с совмещением слоев рельефа в изолиниях и полигональных единиц формализованного районирования. Пояснения условных обозначений приведены в тексте

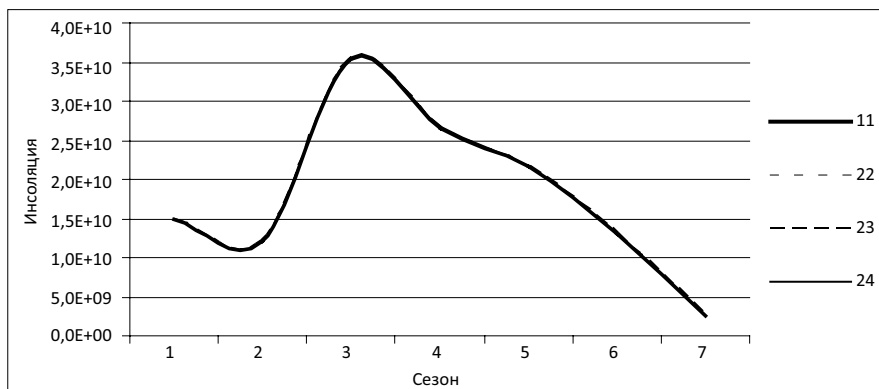


Рис. 2. Сезонная изменчивость инсоляции на склоновые поверхности 11–24 в 2010 г.

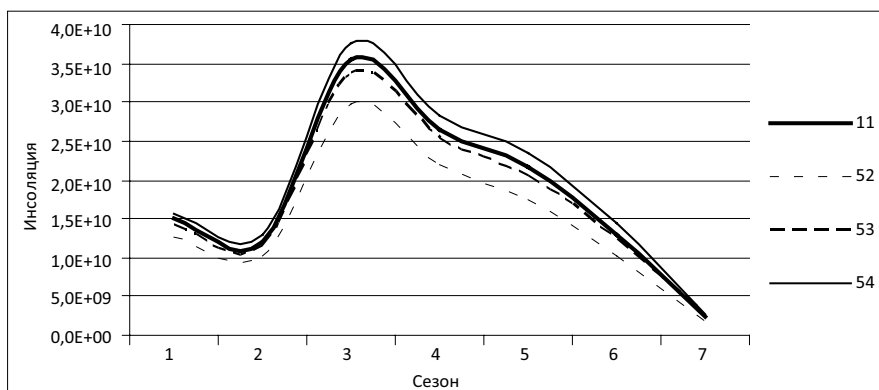


Рис. 3. Сезонная изменчивость инсоляции на склоновые поверхности 11–54 в 2010 г.

Сезонная изменчивость инсоляции в 2010 и в 2013 г. разная. Этот факт служит доказательством того, что для оценивания средообразующих свойств рельефа необходим ежегодный мониторинг поступления на земную поверхность тепловой энергии, поступающей за счет рассеянной и общей радиации. Получить необходимые характеристики можно с использованием алгоритма расчета инсоляции [7, 8, 9] и алгоритмов обработки данных инструментами геоинформационной системы «ArcGIS».

### Заключение

Рассмотренный подход дискретного представления элементарных участков земной поверхности дифференциацией по величинам поступающего солнечного тепла, позволяет повысить точность определения принадлежности элементарной поверхности к тому или иному типу. Следует отметить, что в связи с сезонной изменчивостью инсоляции, оценка средообразующих свойств рельефа нуждается в ежегодном мониторинге приходящей на земную поверхность тепловой энергии. Используя данные о других средообразующих факторах, таких как, приземная температура и индекс NDVI, можно повысить точность и оптимизировать процесс формализованного районирования дискретной модели рельефа картографируемой территории.

### Литература

1. Алтухов А.И., Дудин Е.А., Октябрьский В.В., Сквасников М.А. Решение задач экологического мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования Земли. // Метеорологический вестник — СПб: НПК «Промэлектроника», 2013, № 2, с. 16–22.
2. Алтухов А.И., Коришунов Д.С., Семенов Д.А. Автоматизация процесса векторизации изолиний высот. // В сб.: Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 2010, № 629, ч. 1, с. 63–68.
3. Геня М.Д., Кузнецов А.Д., Мельникова И.Н., Гатебе Ч. Результаты обработки самолетных измерений интенсивности рассеянной солнечной радиации в облачной атмосфере. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 27, с. 77–91.
4. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Фёдорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. — Л.: Гидрометеониздат, 1978. — 232 с.

5. *Ласточкин А.Н.* Рельеф земной поверхности. — Л.: Недра, 1991. — 339 с.
6. *Ласточкин А.Н.* Принципы и методы статистической геоморфологии. — Л.: Наука, ЛО, 1991. — 340 с.
7. *Сивков С.И.* Методы расчета характеристик солнечной радиации. — Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 215 с.
8. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. — СПб.: РГГМУ, 2007. — 279 с.
9. *Сюткин В.В.* Моделирование инсоляции земной поверхности в среде ArcGIS. // Вестник СПбГУ, сер. 7, 2011, вып. 4, с. 126–134.