

УДК 528.854: 551.584.5

Використання даних дистанційного зондування Землі для з'ясування термічних особливостей Українських Карпат

В. І. Вишневський*, С. А. Шевчук

Інститут водних ресурсів і меліорації НААН, Київ, Україна

Показана можливість використання даних ДЗЗ для з'ясування термічних особливостей Українських Карпат. Встановлено, що найбільш низька температура земної поверхні спостерігається не на вершинах гір, а на їх північних і північно-західних схилах.

Ключові слова: температура земної поверхні, Українські Карпати, дистанційне зондування

© В. І. Вишневський, С. А. Шевчук. 2017

Вступ

Українські Карпати — особливий регіон країни, який з кожним роком привертає все більшу увагу, зокрема в туристичній сфері. Разом з тим, вивченість його кліматичних особливостей залишається порівняно незначною, що насамперед зумовлено невеликою кількістю наявних тут метеостанцій. Гірськими з них можна вважати лише дві: Плай і у Закарпатській області та Пожежевська в Івано-Франківський. До того ж, ці та інші метеостанції розташовані порівняно низько — на висоті нижче 1 500 м, хоча висота найвищих гір перевищує 2 000 м.

Метою цієї праці є встановлення термічних особливостей Українських Карпат — насамперед гірських вершин. Основним інструментом досліджень стали ресурси дистанційного зондування Землі. Крім того, використано дані спостережень на наявних у регіоні метеостанціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найвагомішою науковою працею, що присвячена клімату Українських Карпат, зокрема їх термічному режиму, є монографічне видання “Теплової і водний режим Украинских Карпат” [2], що побачила світ у 1985 р. У цій праці наведено відомості про температуру повітря на наявних у регіоні метеостанціях, оцінено її зміни з висотою. Водночас у праці немає жодних відомостей про температуру на гірських вершинах.

З інших публікацій, які стосуються термічних особливостей Українських Карпат, може бути згадана стаття [1], в якій надано результати вимірювання температури на схилі кількох гір.

У більшості випадків дослідження термічного режиму Українських Карпат ґрунтуються на дані спостережень наявних у регіоні метеостанцій. Вочевидь, це не дає змоги встановити термічні особли-

вості гір у цілому. Останнім часом, крім можливостей безпосереднього виміру температури, з'явилися нові, а саме — з використанням даних дистанційного зондування Землі. Значної популярності набули, зокрема, дослідження, в яких використано дані супутників серії Landsat. Разом з тим, відповідні дослідження Карпат досі не виконувалися.

Методи досліджень

Основним джерелом даних про температуру земної поверхні в межах Українських Карпат стали знімки супутника Landsat 8, що був запущений на початку 2013 р. Досліджуваний регіон потрапляє на знімки серії LC8185026. Центр знімків має координати 48° 51' 58" пн. ш. і 24° 00' 20" сх. д. Періодичність знімання цієї місцевості становить 16 діб. Воно здійснюється о 9:14 за Всесвітнім часом, що за Київським часом відповідає 11:14 узимку і 12:14 улітку.

Зазначений супутник обладнаний кількома сенсорами, два з яких (канали B10 і B11), здатні реєструвати інфрачервоне випромінювання. Просторове розрізнення отримуваних зображень (розмір пікселя) становить 100 м. Крім того, встановлена на супутнику апаратура дає змогу робити знімки ще в кількох діапазонах випромінювання зі значно кращим просторовим розрізненням.

Результати досліджень [3, 4], виконані, зокрема, авторами цієї статті, показали, що в цілому точнішим є визначення температури земної поверхні за даними каналу B10. У зв'язку з цим, відповідно до настанов [6] щодо використання даних супутника Landsat 8, температура земної поверхні визначалася за формулою:

$$T = (1321.08 / (\ln((774.89 / ((B10.TIF * 0.0003342) + 0.1)) + 1))) - 273.15.$$

Опрацювання відповідних даних та їх картографічне відображення виконувалися з використанням програми ArcMap 10.

* E-mail: vishnev@voliacable.com

Для побудови об'ємних зображень Українських Карпат використано програму Global Mapper.

Висвітлення основних результатів

Українські Карпати є порівняно невеликою частиною Карпат, більша частина яких розташована в межах Словаччини та Румунії. Характерна особливість цих гір у межах України — наявність доволі значної кількості майже паралельних гірських хребтів, що тягнуться з північного заходу на південний схід. Це відповідає розташуванню Українських Карпат у цілому (рис. 1).

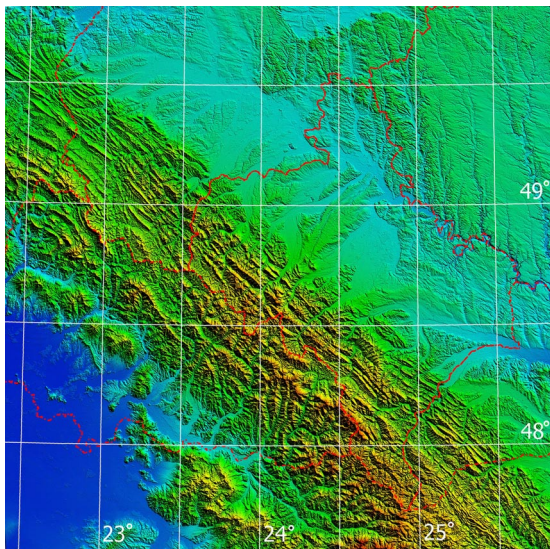


Рис. 1. Об'ємне зображення Українських Карпат

Найвища вершина Українських Карпат — гора Говерла, що має висоту 2 061 м. Крім цієї гори, тут є ще кілька вершин висотою понад 2 000 м. Усі вони тяжіють до гірського масиву Чорногора, який в Українських Карпатах найвищий. З гір висотою понад 1 900 м лише одна, а саме Піп Іван Мармароський розташована окремо — у Мармароському гірському масиві на кордоні України та Румунії (табл. 1, рис. 2).

Зауважимо, що висота кількох з перелічених гір у

Таблиця 1.

Найвищі вершини Українських Карпат

Назва	Висота, м	Широта, пн.	Довгота, сх.
Говерла	2 061	48°09'37"	24°30'00"
Бребенскул	2 036	48°05'54"	24°34'50"
Піп Іван Чорногірський	2 028	48°02'52"	24°37'40"
Петрос	2 022	48°10'19"	24°25'16"
Гутин Томнатик	2 016	48°06'00"	24°33'24"
Ребра	2 001	48°06'40"	24°33'30"
Менчул	1 998	48°05'30"	24°35'45"
Піп Іван Мармароський	1 936	47°55'35"	24°19'30"
Туркул	1 933	48°07'26"	24°31'52"
Брескул	1 911	48°09'04"	24°30'43"

різних джерелах подається з невеликими відмінностями. Зокрема висота г. Бребенскул за різними джерелами перебуває в межах 2 032–2 038 м, гори Петрос — 2 020–2 022 м. Ці відмінності принципового значення не мають. Важливішими є відмінності в координатах вершин. Їх уточнення здійснено з використанням супутникових знімків, зокрема, за даними про температуру земної поверхні. Детальніше про це сказано нижче.

У зазначеному регіоні нині функціонують близько 10 метеостанцій. Метеостанція Плай, висота метеорологічного майданчика якої становить 1 330 м, розташована на південно-західному макросхилі

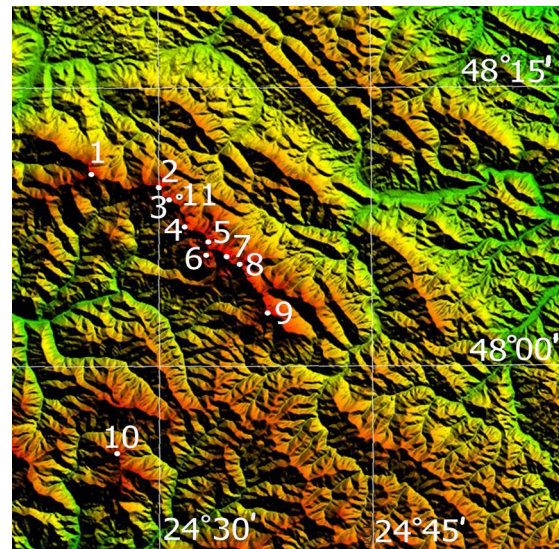


Рис. 2. Розташування найвищих гір та метеостанції Пожежевська: 1 – Петрос, 2 – Говерла, 3 – Брескул (Брецул), 4 – Туркул, 5 – Ребра, 6 – Гутин Томнатик, 7 – Бребенскул, 8 – Менчул, 9 – Піп Іван Чорногорський, 10 – Піп Іван Мармароський, 11 – метеостанція Пожежевська

Карпат. Інша метеостанція — Пожежевська — функціонує на північно-східному макросхилі неподалік г. Говерла. Висота метеорологічного майданчика цієї станції — 1 451 м. Відомості про розташування наявних метеостанцій та дані про середню багаторічну температуру повітря протягом періоду 1981–2010 рр. наведено в табл. 2.

За даними табл. 2, можна оцінити зниження температури повітря з висотою. З огляду на розташування метеостанцій на двох протилежно орієнтованих макросхилах доцільно виконати цей аналіз окремо: для північно-східного і південно-західного макросхилів (рис. 3).

Як видно на рис. 3, середньорічна температура повітря у висотному діапазоні розташування метеостанцій (до 1 451 м) знижується на 0,4–0,5°C на кожні 100 м висоти. Разом з тим, наявні дані не дають змогу встановити те, яким є зниження температури на більшій висоті та якою є температура на гірських вершинах.

Таблиця 2.
Метеостанції, розташовані в Карпатському регіоні

Назва	Висота, м	Широта	Довгота	Середня температура, °С
Турка	594	49° 09' 01"	23° 01' 47"	6,4
Славське	592	48° 50' 31"	23° 26' 57"	5,9
Яремча	531	48° 27' 10"	24° 33' 12"	7,4
Пожежевська	1451	48° 09' 15"	24° 32' 03"	2,9
Селятин	762	47° 52' 35"	25° 12' 59"	5,1
Нижні Ворота	496	48° 46' 30"	23° 05' 52"	7,1
Нижній Студений	615	48° 42' 04"	23° 21' 57"	5,8
Плай	1330	48° 40' 03"	23° 11' 53"	3,0
Микіт'я	456	48° 31' 36"	23° 30' 16"	7,2
Рахів	430	48° 02' 51"	24° 11' 53"	7,8

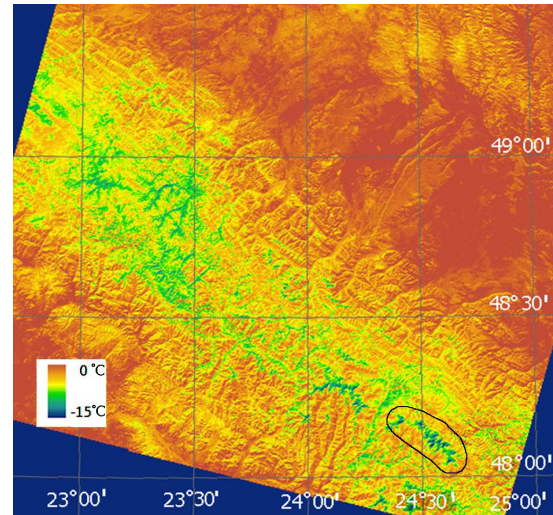


Рис. 4. Температура земної поверхні Українських Карпат за даними знімка, виконаного 13 лютого 2015 р. (чорною лінією виділено гірський масив Черногора)

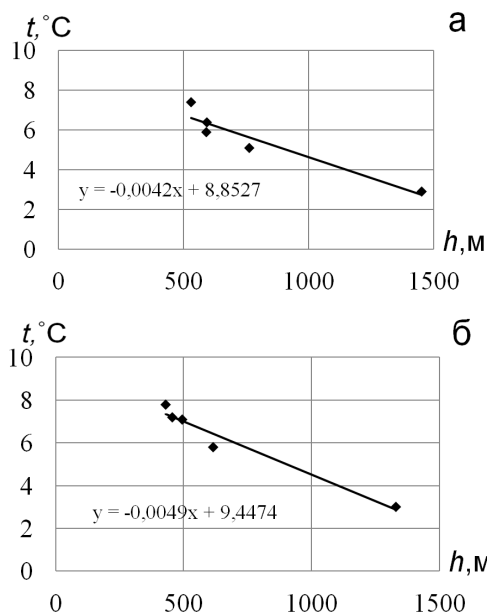


Рис. 3. Залежності середньої багаторічної температури повітря від висоти місцевості за даними метеостанцій, розташованих в Українських Карпатах:
а — на північно-східному, б — на південно-західному макросхилі

Для вирішення цих питань було проаналізовано низку зображень, виконаних супутником Landsat 8. Хоча гарних зображень цієї місцевості через значну хмарність порівняно небагато, тим не менш, навіть кілька опрацьованих зображень дають змогу встановити найважливіші закономірності.

Для початку розглянемо умови, які спостерігаються взимку. Для цих умов показовим є знімок, зроблений 13 лютого 2015 р. Результати його обробки, що виконана з використанням програми ArcMap 10, подано на рис. 4.

Як видно на рис. 4, температура земної поверхні у дослідженому регіоні істотно залежить від висоти місцевості. Найнижча температура властива для найвищого гірського масиву Черно-

гора. Порівняно низька температура характерна також для гірського масиву Свидівець (Свидовець), що трохи нижчий і розташований на північний захід. Доволі низкою є також температура на орієнтованих на північ схилах річкових долин у північній частині Прикарпаття. Це, зокрема, властиве для річок Дністер і Стрий. Найвища ж температура, як видно на рисунку, спостерігається за межами гір.

Детальний аналіз супутникових зображень свідчить про те, що найнижча температура земної поверхні спостерігається не на вершинах гір, а на їх північних і північно-західних схилах. Зокрема 13.02.2015 на час виконання знімку температура на вершині Говерли становила мінус 12,5°C. Водночас на її північно-західному схилі найнижче значення становило — мінус 15,8°C. При цьому на південно-східному схилі спостерігалось мінус 4,0°C.

Те, що найнижча температура земної поверхні не відповідає вершині гір, добре видно на супутникових зображеннях у збільшеному масштабі (рис. 5 і рис. 6).

Основним чинником таких значних відмінностей є істотно різне нагрівання схилів Сонцем. Вочевидь, що південно-східні схили гір за вранішній час встигають прогрітись значно краще за північні та північно-західні.

Найнижча температура земної поверхні (мінус 16,3°C) у межах масиву Черногора 13 лютого 2015 р. виявилася у точці з координатами 48°06'03" пн. ш. і 24°33'14" сх. д. Це місце знаходиться за кілька десятків метрів на північний захід від вершини гори Гутин Томнатик.

Аналіз космічних знімків, виконаних у холодну пору року, показує, що дуже часто в Українських Карпатах лежить сніговий покрив. Інколи він фор-

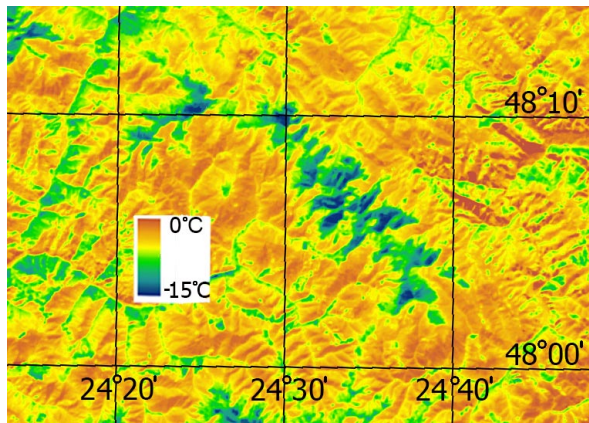


Рис. 5. Температура земної поверхні гірського масиву Чорногора за даними космічного знімка, виконаного 13 лютого 2015 р.

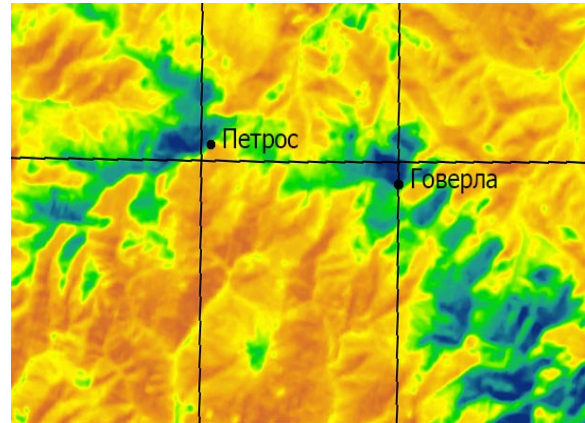


Рис. 6. Термічні особливості земної поверхні біля гір Петрос і Говерла за даними знімка, виконаного 13 лютого 2015 р.

мується ще в жовтні. Це, зокрема, добре видно на знімку за 5.10.13. Наявність снігу простежується і на знімку за 27.10.15 — передусім у межах Чорногори та Свидівця. Саме ці два гірські пасва найчастіше вкриті снігом.

Розглянемо тепер термічні особливості Українських Карпат у літніх умовах. На знімку, зробленому 5 червня 2015 р., видно, що і цього разу температура земної поверхні істотно залежить від висоти — у горах вона на приблизно на 10°C нижча, ніж у передгір'ях. На цьому знімку в зоні, яка відповідає Прикарпаттю, простежуються невеличкі зони з низькою температурою, які відповідають хмарам (рис. 7).

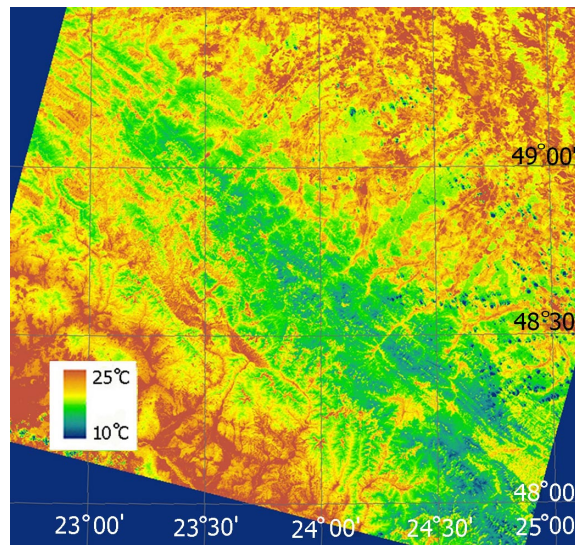


Рис. 7. Температура земної поверхні Українських Карпат за даними знімка, виконаного 5 червня 2015 р.

Як і попередньому випадку, найнижчу температуру зафіксовано не на вершинах гір, а на їх північних та північно-західних схилах. Водночас істотно вищою є температура на південно-східних схилах (рис. 8 і рис. 9).

За супутниковими даними, температура земної поверхні на вершині Говерли 5.06.2016 в момент виконання знімка становила 15.3°C. Водночас в улоговині, розташованій за кількесот метрів на північний захід (координати: 49° 09' 49" пн. ш. і 24° 29' 35" сх. д.), вона становила лише 11.2°C. У цей же час на південно-східному схилі гори (48° 09' 39" пн. ш. і 24° 30' 39" сх. д.) температура сягала 22.0°C.

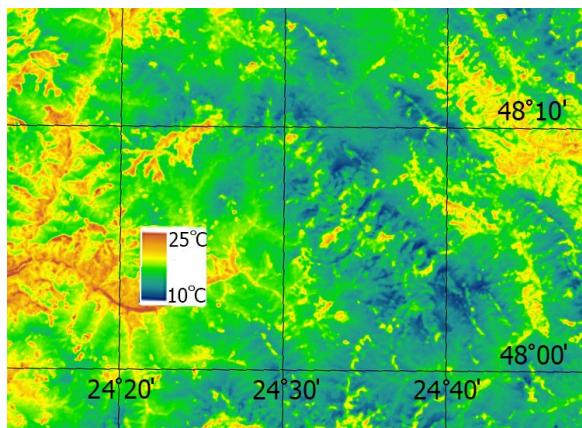


Рис. 8. Температура земної поверхні гірського масиву Чорногора за даними знімка, виконаного 5 червня 2015 р.

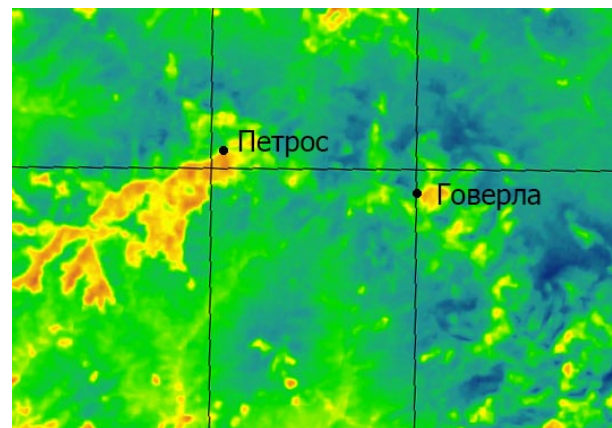


Рис. 9. Термічні особливості земної поверхні біля гір Петрос і Говерла за даними знімка, виконаного 5 червня 2015 р.

Цього разу найнижча температура в межах гірського масиву Чорногора (10.2°C) зафіксована в улоговині, розташованій на північний захід від гір Шпиці та Гомул у точці з координатами 48° 08' 21" пн. ш. і 24° 33' 23" сх. д.

Подібні результати отримано і для іншого випадку з гарною якістю космічного знімка, а саме за 8.08.2015. На час виконання зйомки найнижча температура земної поверхні (16.2°C) на схилі Говерли зафіксована в точці з координатами 48° 09' 49" пн. ш. і 24° 29' 37" сх. д. Водночас на протилежному схилі гори, орієнтованому на південний схід (координати 48° 09' 39" пн. ш. і 24° 30' 40" сх. д.), зафіксовано 29.8°C. Як видно, в обох випадках (5.06.15 і 8.08.15) точки з найвищою та найнижчою температурою майже збіглися.

Отриману закономірність — зниження температури на захищеному від Сонця схилі — використано для уточнення розташування деяких гірських вершин. Зокрема у наявних джерелах координати г. Петрос подані з деякою розбіжністю: 48° 10' 19" пн. ш. і 24° 25' 16" сх. д., а також 48° 10' 22" пн. ш. і 24° 25' 16" сх. д. Аналіз розподілу температури свідчить про те, що ближчим до істинного є перше значення.

Зазначимо, що нижчою, порівняно з прилеглою місцевістю, температура характерна не лише для північних та північно-західних схилах Карпат. Подібну закономірність виявлено авторами і для схилів київських пагорбів [3].

Логічним є питання відповідності отриманих даних про температуру земної поверхні з тією, що спостерігається на найближчих метеостанціях. У цьому разі доцільно використати дані метеостанції Пожежевська, що розташована біля г. Говерли. Метеорологічний майданчик цієї станції має невеликий похил на північний схід.

Наявні дані показують, що амплітуда коливань температури земної поверхні на метеостанції значно більша, ніж повітря. Крім того, залежно від сезону, температура земної поверхні може бути вищою і нижчою за температуру повітря. Узимку температура земної поверхні нижча за температуру повітря, влітку — навпаки. Амплітуда коливань залежить також від того, якою є погода — сонячна чи хмарна. У першому випадку амплітуда температури істотно більша.

13 лютого 2015 р. у момент знімання супутником поверхні Землі її температура на вершині Говерли становила мінус 12.5°C, на метеостанції Пожежевська — мінус 3.7°C. У літній день 5 червня 2015 р. температура на вершині Говерли становила 15.3°C, на метеостанції — 31.0°C (рис. 10).

Дані обробки супутникових знімків дають змогу встановити температуру земної поверхні, яка одночасно спостерігалася на гірських вершинах. Виявилось, що між цими даними існує дуже тісний зв'язок. Коефіцієнт кореляції між температурою земної поверхні на вершині Говерли і температурою на інших верши-

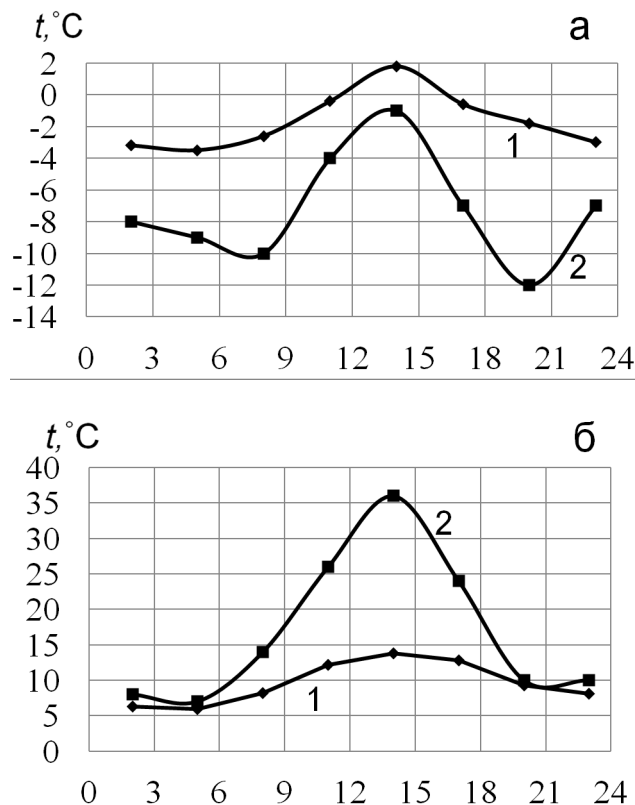


Рис. 10. Температура повітря (1) і поверхні ґрунту (2) на метеостанції Пожежевська 13.02.2015 р. (а) і 5.06.15 (б)

нах Чорногори є більшим за 0.99. Деяко гіршою є тіснота зв'язку з горою Піп Іван Мармароський, яка знаходиться в іншому гірському масиві і де температура земної поверхні помітно вища (табл. 3 і рис. 11).

Доволі тісною з коефіцієнтом кореляції більше 0.9 є й залежність між температурою земної поверхні на метеостанції Пожежевська і температурою на вершині Говерли.

Висновки

Найнижча температура земної поверхні в Українських Карпатах властива для гірського масиву Чорногора, висота якого найбільша. Істотний вплив на температуру має також експозиція схилів. У сонячну погоду, незалежно від сезону, найнижча температура земної повітря спостерігається не на вершинах гір, а на їх північних і північно-західних схилах. Водночас на південно-східних схилах температура ґрунту є значно вищою. Відмінність температури на різних схилах гір може перевищувати 10°C.

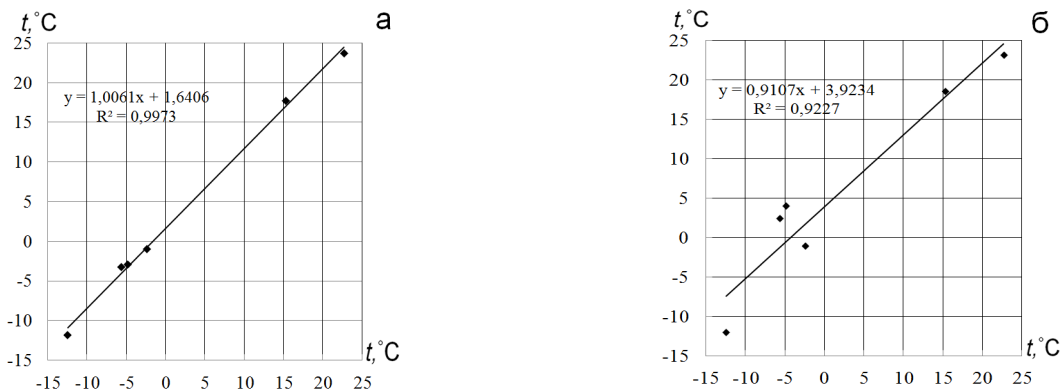
Між температурою земної поверхні на вершинах гір, що розташовані порівняно неподалік, існує тісна залежність. У межах хребта Чорногора коефіцієнт кореляції є більшим за 0.99.

Важливим чинником формування снігового покриву є висота місцевості. Найбільш засніженими масивами Українських Карпат є найвищі гірські масиви Чорногора та Свидовець.

Таблиця 3.

Температура земної поверхні на вершинах Карпат, отримана за даними космічних знімків супутника Landsat 8, °C

Назва	Д а т а					
	05.10.13	30.03.14	13.02.15	05.06.15	08.08.15	27.10.15
Говерла	- 4.86	- 2.42	- 12.46	15.28	22.68	- 5.67
Бребенскул	- 5.36	- 3.52	- 13.42	13.80	22.91	- 6.06
Піп Іван Чорногірський	- 5.31	- 3.59	- 13.79	13.53	22.80	- 7.00
Петрос	- 2.94	- 1.00	- 11.78	17.72	23.74	- 3.27
Гупин Томнятик	- 4.07	- 4.02	- 12.96	14.07	22.32	- 5.96
Ребра	- 3.80	- 2.80	- 12.35	14.92	22.96	- 4.58
Менчул	- 6.03	- 3.67	- 14.24	16.17	22.78	- 6.84
Піп Іван Мармароський	4.02	- 1.11	- 12.02	18.52	23.17	2.39
Туркул	- 2.96	- 0.56	- 10.55	15.42	25.26	- 3.46
Брескул	- 5.24	- 2.61	- 12.12	15.60	22.64	- 6.53

**Рис. 11.** Залежність температури земної поверхні на вершинах гір Петрос (а) і Піп Іван Мармароський (б) від температури на вершині Говерли

Література

1. Муха Б. Термічні властивості топоклімату Карпатського національного природного парку / Б. Муха // Вісник Львів. ун-ту. Серія геогр. — 2008. — Вип. 35. — С. 250–266.
2. Тепловой и водный режим Украинских Карпат. — Л.: Гидрометиздат, 1985. — 366 с.
3. Шевчук С. А. Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва / С. А. Шевчук, В. І. Вишневський // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — №10. — С. 4–9.
4. Barsi J. A. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration / J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook [et al.] // Remote Sens. — 2014. — 6. — P. 11607–11626.
5. LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. — Назва з екрану.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫЯСНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

В. И. Вишневский, С. А. Шевчук

Показана возможность использования данных ДЗЗ для выяснения термических особенностей Украинских Карпат. Установлено, что наиболее низкая температура земной поверхности наблюдается не на вершинах гор, а на их северных и северо-западных склонах.

Ключевые слова: температура земной поверхности, Украинские Карпаты, дистанционное зондирование

THE USE OF REMOTE SENSING METHODS FOR DETERMINATION OF THE THERMAL CHARACTERISTICS OF THE UKRAUNIAN CARPATHIANS

V. I. Vyshnevskiy, S. A. Shevchuk

The was shown the possibility of use remote sensing data for determination of thermal characteristics of the Ukrainian Carpathians. It was found that the lowest temperature of the earth's surface is not observed on the tops of the mountains but on their northern and north-western slopes.

Keywords: The temperature of the earth's surface, the Ukrainian Carpathians, remote sensing