

Оксана Гера

кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна)

E-mail: geraoksana@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6670-2820>. Researcher ID: [K-2209-2017](https://orcid.org/0000-0001-6670-2820)

ВПЛИВ МОРФОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЬЄФУ НА ПЛОЩУ ПОВЕРХНІ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ЛІСОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У роботі апробовано використання некомерційних даних дистанційного зондування Землі для визначення площ поверхні земельних ділянок. Запропоновано алгоритм отримання даних місії SRTM, генерації цифрових моделей рельєфу для подальшого визначення морфометричних параметрів рельєфу та обчислення площі поверхні ділянок. Для досліджень обрано п'ять лісовкритих ділянок на території України. Встановлено залежність величини відхилення площі поверхні земельної ділянки від площі її горизонтальної проекції, від пересіченості рельєфу.

Ключові слова: матеріали дистанційного зондування Землі; цифрова модель рельєфу (ЦМР); площа поверхні ділянки; землі лісогосподарського призначення; ухил рельєфу; пересіченість.

Табл.: 1. Рис.: 3. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. Як відомо, земельна ділянка характеризується такими основними атрибутами: цільове призначення, місце розташування та координати поворотних точок, нормативна грошова оцінка (НГО) та площа. Метою наших досліджень є глибше вивчення останнього кількісного показника. Незаперечним є той факт, що земля була й буде особливо цінним об'єктом цивільно-правових операцій. У світлі скасування мораторію на обіг земель товарного сільськогосподарського призначення в Україні починаючи з 2021 року, стратегічно важливо мати в розпорядженні актуальні ставки НГО та площі земельних ділянок, визначені з достатньою точністю.

Постановка проблеми. У цілому для всіх категорій земель справедливі твердження, що точне значення площі ділянок потрібні для ведення обліку земель та внесення даних до державного земельного кадастру (ДЗК); а також для встановлення реальних розмірів земельного податку чи орендної плати. Для земель лісо- та сільськогосподарського призначення площа також визначає обсяги обробітку та одержаної продукції. Важливо зазначити, що аналіз нормативної документації щодо здійснення геодезичних та землепорядних робіт виявив відсутність регламентованих показників точності обчислення площ земельних ділянок. Крім того, немає вказівок щодо методики визначення площі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перелічені прогалини послугували основою для багатьох наукових досліджень. У [1] встановлено значення середньої квадратичної помилки обчислення площі земельної ділянки залежно від кількості контурних точок та її геометричної конфігурації. Розрахунок значень допустимих середніх квадратичних похибок площ ділянок за межами населених пунктів та рекомендації щодо доповнень вимог нормативних документів здійснено у праці [2].

У перелічених вище роботах площа земельних ділянок визначається через формулу Гаусса, де аргументами виступають прямокутні координати поворотних точок меж ділянки. Відповідно точність визначення площі є функцією точності визначення координат таких точок. У такому разі кривизна поверхні земної поверхні не враховується. Дослідження [3] стосуються спроби переходу від плоских прямокутних координат до геодезичних координат на еліпсоїді з метою зменшення впливу викривлення площ.

Обчислення площ аналітичним способом із використанням формули Гаусса цілком справедливе для ділянок незначних площ, які переважають у власності фізичних та юридичних осіб. Однак для земельних ділянок площею десятки та сотні гектарів необхідно брати до уваги такий фактор як рельєф. Огляд публікацій у вказаному напрямку свідчить про зацікавленість фахівців цим питанням.

Зокрема у [2] розглянуто вісім районів Дніпропетровської області, де значні простори придатні для вирощування сільськогосподарських культур. Для всіх районів сформовано цифрові моделі рельєфу, описано особливості рельєфу, обчислено геодезичну та фізичну площу. Автори використовують термін «геодезична» – для позначення площі проєкції ділянки на горизонтальну площину, а «фізична» відповідно для позначення площі реальної поверхні. У середньому різниця вказаних площ по восьми районах становила 0,2 %. Навіть на рівнинній території, поверхня земельної ділянки геодезичною (юридичною) площею 1000 га реально на 2 га більша. Запропоновано методіку визначення площі великих земельних ділянок із врахуванням величини кутів нахилу рельєфу.

У роботі [4] сконцентровано увагу на врахуванні характеру рельєфу земельної ділянки лісогосподарського призначення (рівнинний, нахилений, пересічений) для визначення її площі. Запропоновано математичний апарат для обчислення площі та проведено відповідні розрахунки для обраних зразків земної поверхні. Результати підтвердили гіпотезу щодо впливу рельєфу на значення площі поверхні та коректність застосування підбраного математичного підходу.

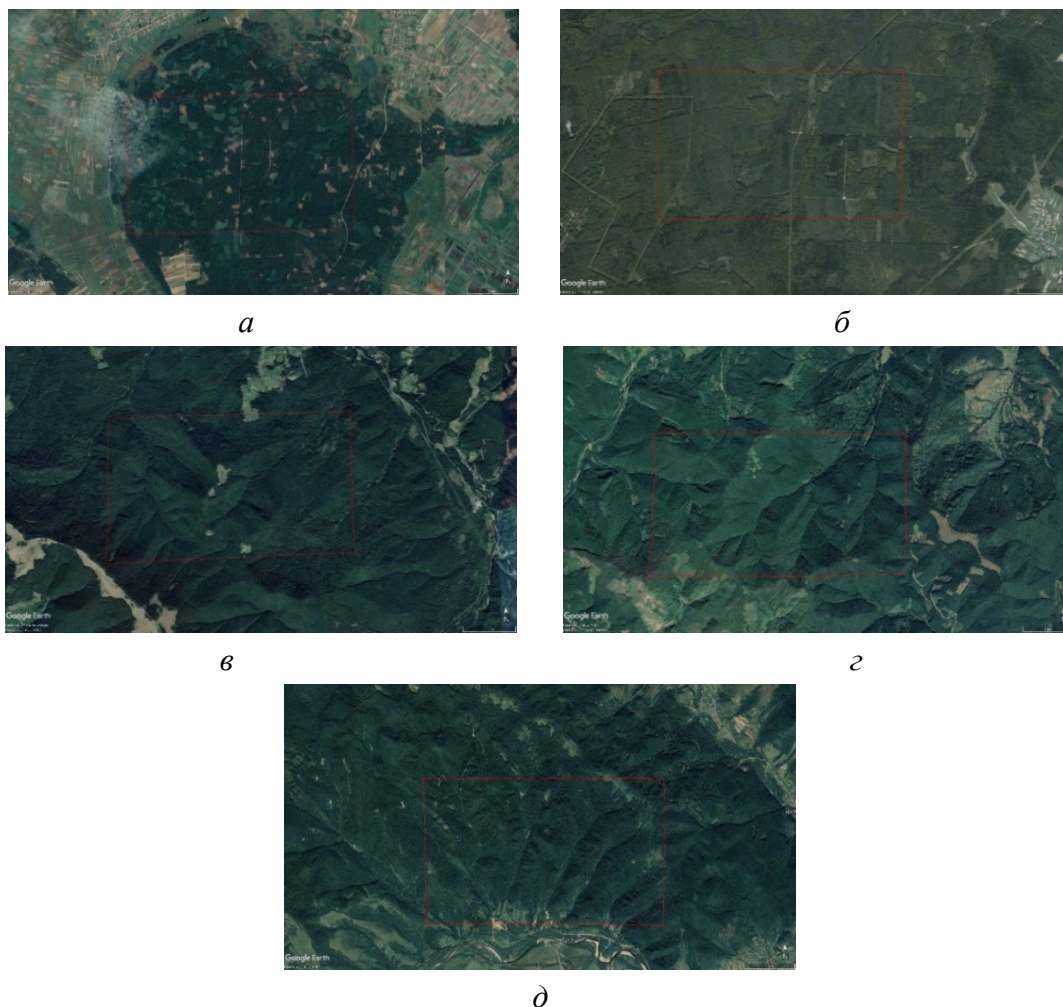
Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На основі наведеного вище аналізу літературних джерел, за мету покладено встановлення можливості використання даних дистанційного зондування Землі для генерації цифрових моделей рельєфу вибраних ділянок з метою оцінки їхньої площі.

Параметри рельєфу більшою мірою вносять розбіжності у площі ділянок лісогосподарського призначення. Адже очевидно, що різниця площ поверхні та її горизонтальної проєкції вагома за умови значного кута нахилу рельєфу і/або його високої пересіченості. Ділянки з такими параметрами переважно не придатні для рільництва (хоча, серед с/г угідь можна розглядати пасовища для сінокоси). Тема досить актуальна, адже в Україні та інших країнах облік землі (та оподаткування) встановлюється за геодезичною площею (горизонтальною проєкцією). В американському дописі [5] поставлено запитання чи дійсно один акр горбистої місцевості містить більше землі, ніж один акр рівнинної. Для розуміння пояснюють, що для того, щоб вкрити один акр землі штату Вермонт потрібна більша ковдра, ніж для одного акру землі штату Канзас. Цікаве питання і для Великобританії, де обмежені просторові ресурси. На ділянці зі значним ухилом можна випасати більше овець, отримуючи кращі прибутки, ніж на рівнозначній за горизонтальною площею рівнинній ділянці.

Мета дослідження: встановити кількісно розходження площі поверхні земельної ділянки та площі її горизонтальної проєкції на прикладі лісовкритих ділянок значних розмірів; перевірити можливість використання безкоштовних супутникових даних як вихідних для розрахунків; зробити висновок щодо доцільності встановлення такого кількісного показника та його впливу на облік та управління земельними ресурсами.

Виклад основного матеріалу. За даними Державного агентства лісових ресурсів України, лісистість держави становить 15,9 % (2019 р.), Україна займає 9-е місце в Європі за площею лісів та 6-е місце за запасами деревини. Лісові ресурси – відносно відновні, адже інтенсивність їхнього господарського використання перевищує швидкість їхнього відновлення. Важливо здійснювати строгий облік цих ресурсів. Значення площ лісогосподарських земельних ділянок фігурує під час планування заліснення територій; під час визначення втрат деревостоїв, наприклад, після сходження лавин чи лісових пожеж; для розрахунків обсягів виконаних робіт лісниками тощо.

Для вибору заліснених ділянок для дослідження ми скористались безкоштовним сервісом Google Earth (дата отримання космічних знімків: 2005-2020 рр.). Обрано п'ять ділянок прямокутної форми, розмірами 4400*2600 м (рис. 1). Попередньо потрібно налаштувати параметри, вибрано ортогональний вигляд зображення, картографічну проєкцію – Універсальна поперечна проєкція Меркатора. Ділянки збережено у форматі даних *.kmz, який розпізнається багатьма ГІС.



*Рис. 1. Ділянки л/г призначення, джерело даних – Google Earth:
а – ділянка поблизу с. Деревок, Волинська область; б – ділянка поблизу смт Брошнів-Осада, Івано-Франківська область; в – ділянка поблизу смт Ворохта, Івано-Франківська область; г – ділянка поблизу с. Ліпа, Івано-Франківська область; д – ділянка поблизу с. Верхня Стинава, Львівська область*

Для завантаження просторових даних на обрані ділянки, використано програмне забезпечення Global Mapper. Доступні для завантаження дані для території більшості земної кулі з таких космічних джерел: Aster GDEM (Global Digital Elevation Model) та SRTM (Shuttle radar topographic mission).

Доцільність використання даних SRTM та Aster GDEM для території України розглянуто у праці [6]. Продемонстровано можливість їхнього використання для моделювання задач землеустрою, моделювання гідрологічної мережі, аналізу зони покриття радіочастотних вишок, моделювання задач будівництва (планування попередніх трас лінійних споруд – дорожньої мережі, трубопроводів тощо), моделювання зон затоплення внаслідок повеней та паводків [7].

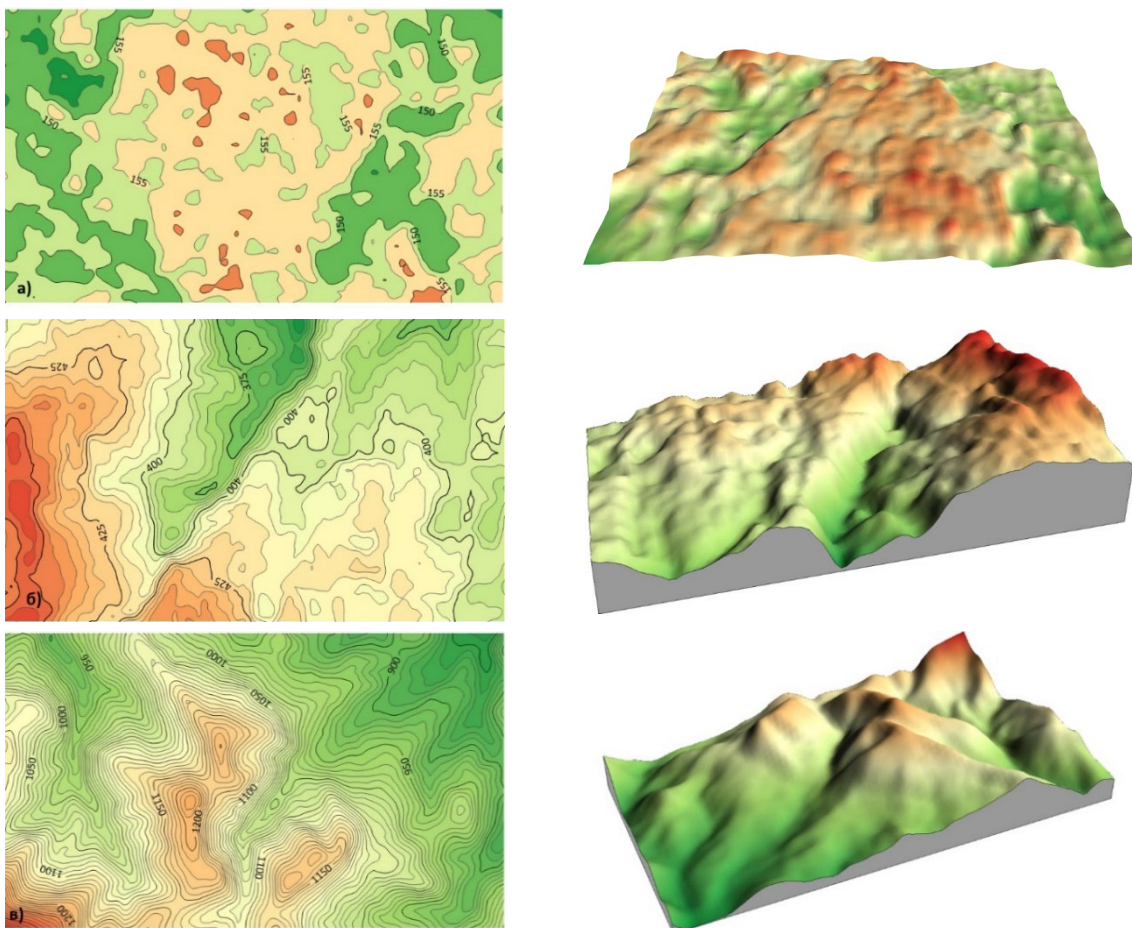
SRTM (Shuttle radar topographic mission) – це радарне інтерферометричне знімання поверхні Землі, здійснене у лютому 2000 р. радіолокаційними сенсорами SIR-C та X-SAR з борту космічного апарату «Шаттл». Дані SRTM поширюються у вигляді сіток із розміром комірки 1 кутова секунда, а також 3 кутові секунди.

Дані з меншим просторовим розрізненням (SRTM1) доступні виключно для території США, на іншу поверхню Землі доступні тільки трисекундні дані (SRTM3). Файл (SRTM3) являє собою матрицю з 1201×1201 значень, яка може бути імпортована в різні програми побудови карт і ГІС [8].

Цифрова модель рельєфу ASTER GDEM, випущена в червні 2009 року (перша версія), згенерована на основі даних сенсора ASTER супутника Terra. Сенсор має можливість здійснення стереоскопічного знімання уздовж смуги польоту за допомогою двох телескопів, що знімають у надир і назад в ближньому інфрачервоному діапазоні з роздільною здатністю 15 м. Охоплення ASTER GDEM простягається від 83 градусів північної широти до 83 градусів південної широти, покриваючи 99 % світового суходолу. Розмір чарунки сітки: 1"×1" (30×30 м).

Для створення ЦМР ASTER GDEM використовувалася автоматична обробка всього архіву даних ASTER, що нараховує 1,5 млн знімків. У 2011 році створена поліпшена версія ЦМР – ASTER GDEM Version 2: додано нові знімки, виправлено помилки попередньої версії. Виконана корекція аномалій, спричинених відсутністю даних, за рахунок додавання 350000 нових знімків. Для заміни некоректних даних використано інші ЦМР: SRTM, NED (National Elevation Dataset; USGS), CDED (Canada digital elevation data), Alyaska DEM.

За допомогою програмного забезпечення Global Mapper для ділянок, обраних для досліджень, завантажено масиви просторових даних точок у форматах *. dem, *. XYZ Grid. Наступне опрацювання рельєфу ділянок можливе у багатьох ГІС та САПР, зокрема відповідно Surfer та AutoCAD Civil 3D. У кожному випадку згенеровано регулярну сітку висот з кроком по осях абсцис та ординат 50 м (4717 вузлових точок). На рис. 2 наведено зображення рельєфу п'яти ділянок дослідження, у вигляді контурних та 3D карт. Візуалізацію виконано у програмному пакеті Surfer 23.2.202.



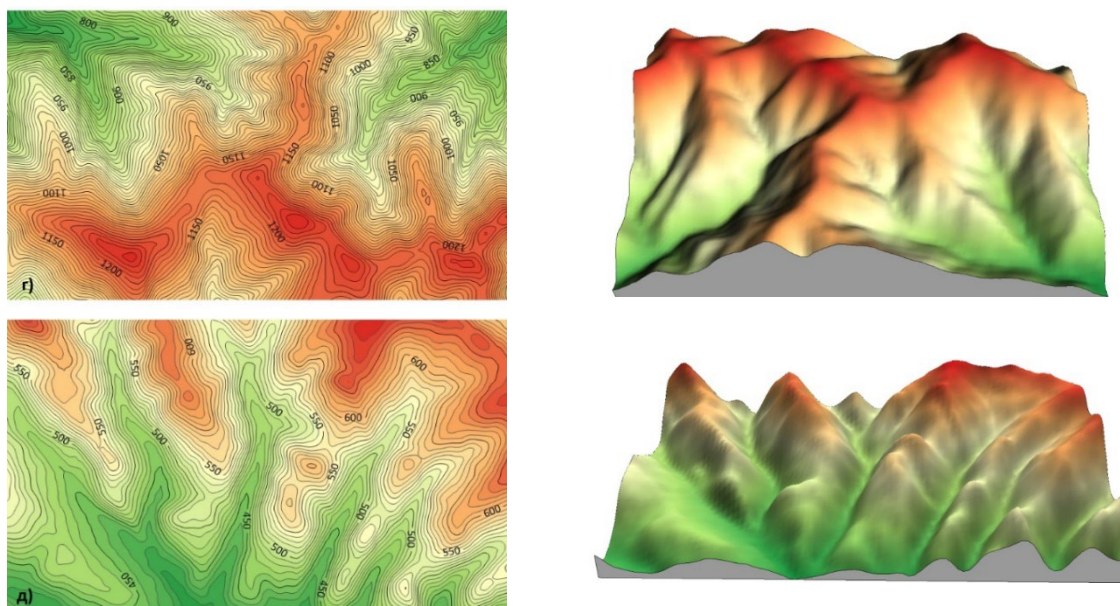


Рис. 2. Цифрові моделі рельєфу ділянок дослідження

Джерело: розроблено автором.

Оскільки розміри всіх ділянок 4400×3600 м, то площа проєкції на горизонтальну площину кожної становить 1144 га. Параметри цифрових моделей рельєфу ділянок зацікавлення, а саме координати (у проєкції UTM), мінімальні та максимальні значення відміток, перепад висоти, максимальний та середній ухил рельєфу на ділянці, а також значення фізичної площі поверхні, – визначено та зведено для порівняння в таблицю.

Таблиця – Порівняння параметрів рельєфу ділянок дослідження

Ділянка / Параметр	Ділянка А	Ділянка Б	Ділянка В	Ділянка Г	Ділянка Д
Розташування	Волинська обл., поблизу с. Деревок	Івано-Франківська обл., поблизу смт Брошнів-Осада	Івано-Франківська обл., поблизу смт Ворохта	Івано-Франківська обл., поблизу с. Липа	Львівська обл., поблизу с. Верхня Стинава
Діапазон значень X, м	380710 – 385110	288300 – 292700	316400 – 320800	691000 – 695400	685500 – 689900
Діапазон значень Y, м	5730600 – 5733200	5436500 – 5439100	5345330 – 5347930	5421000 – 5423600	5444000 – 5446600
Крок сітки, м	50	50	50	50	50
Мін. відмітка, м	142,57	350,06	835,94	715,34	399,03
Макс. відмітка, м	163,66	460,02	1338,11	1249,83	687,94
Перепад висот, м	21,09	109,96	502,17	534,49	288,91
Макс. ухил, %	15	31	74	84	60
Середній ухил, %	3,8	5,7	26,9	38,2	25,2
Площа горизонтальної проєкції ділянки, м ² (га)	11440000 (1144)	11440000 (1144)	11440000 (1144)	11440000 (1144)	11440000 (1144)
Площа поверхні, м ² (га)	11451511 (1145,15)	11470591 (1147,06)	11907737 (1190,77)	12318295 (1231,83)	11860537 (1186,05)
Різниця значень м ²	11511	30591	467737	878295	420537
га	1,15	3,06	46,77	87,83	42,05
%	0,1	0,3	4,1	7,7	3,7

Джерело: розроблено автором.

З таблиці видно, що для зазначених земельних ділянок фізична площа поверхні більша від площі горизонтальної проєкції ділянки на 1,15 – 87,83 га, або від 0,1 до 7,7%. Очевидно причиною досить широкого діапазону відхилення значення площ є різний характер рельєфу вибраних ділянок землі лісгосподарського призначення. Аналізуючи параметри, першою відмінністю, яка значно виділяється, є перепад висот місцевості. Однак для ділянок в) та г), у яких схожі значення перепаду висот (відповідно 502 і 534 м), отримано різні значення збільшення площі поверхні – на 46,77 і 87,83 га. Водночас ділянки в) та д), маючи різницю у перепаді висот майже у два рази, характеризуються приблизно однаковим значенням площі поверхні. Подальший аналіз вказує, що обидві ділянки мають однаковий середній ухил рельєфу. Можна припустити прямопропорційну залежність між значенням середнього ухилу (крутизни) рельєфу та збільшенням площі поверхні земельної ділянки порівняно з площею її горизонтальної проєкції (рис. 3).

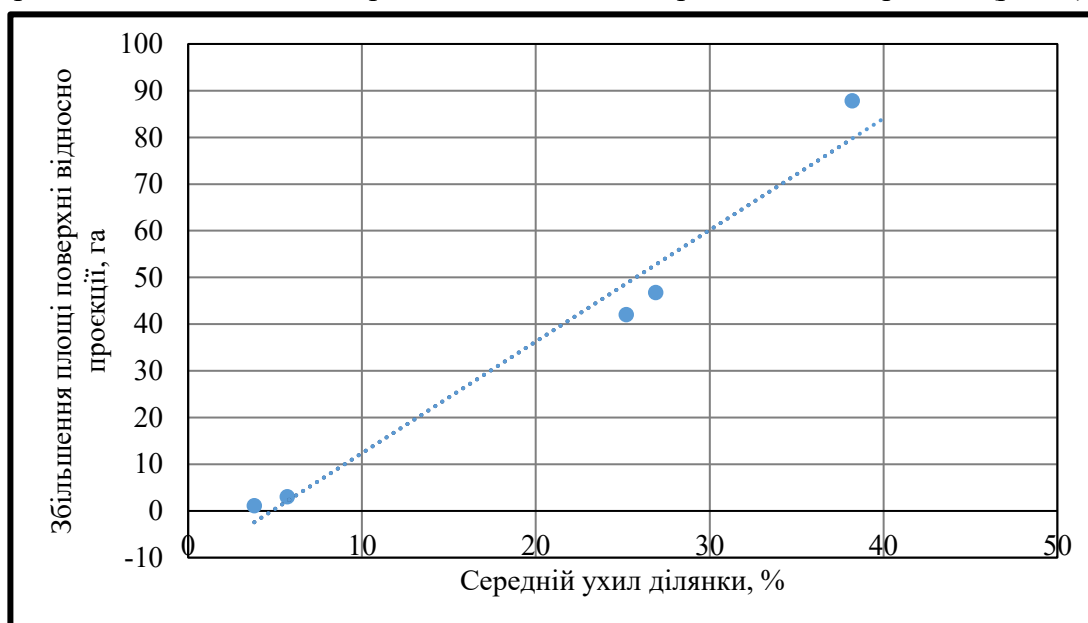


Рис. 3. Залежність збільшення площі поверхні ділянки від середнього ухилу рельєфу
Джерело: розроблено автором

Висновки. Площа поверхні, тобто реальна площа земельної ділянки, може значно відрізнятись від площі горизонтальної проєкції ділянки. Практично отримано такі значення різниці площ: 0,1-7,7 % на основі дослідження п'яти ділянок. Площа поверхні залежить від морфометричних параметрів рельєфу, а саме ухилу або крутизни, та його пересіченості. Рекомендовано враховувати для великих ділянок сільськогосподарського та лісгосподарського призначення площу її поверхні, вносити окремим параметром в дані земельного кадастру. Для підвищення точності обчислення площі поверхні потрібно використовувати ЦМР з меншим кроком сітки. Для генерації таких ЦМР можна застосовувати матеріали аерофотознімання або знімання з використанням БПЛ.

Список використаних джерел

1. Дутчин М. Дослідження точності визначення площ земельних ділянок з врахуванням кількості контурних точок та їх розташування / М. Дутчин, І. Біда, Г. Мельниченко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – Вип. I (17). – С. 301-308.
2. Рябчій В. В. Визначення допустимих значень середніх квадратичних похибок площ земельних ділянок за межами населених пунктів / В. В. Рябчій, М. В. Трегуб // Геодезія, картографія і аерофотознімання – 2011. – Вип. 74. – С. 136-141.

3. Радов С. Визначення площ ділянок земного еліпсоїда за плоскими прямокутними координатами в проекції Гаусса / С. Радов, О. Косогова // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. II (22). – С. 112-115.

4. Рудий Р. Визначення площ земельних ділянок у гірських районах / Р. Рудий // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. I (21). – С. 208-210.

5. Snyder M. Does an Acre of Hilly Land Contain More Land Than an Acre of Flat Land? / Michael Snyder [Electronic resource] / Michael Snyder. – Access mode: https://northernwoodlands.org/articles/article/does_an_acre_of_hilly_land_contain_more_land_than_an_acre_of_flat_land.

6. Процик М. Т. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.24.01 “Геодезія, фотограмметрія та картографія” / М. Т. Процик. – Львів, 2012. – 24 с.

7. Зацерковний В. І. Аналіз підходів щодо створення цифрових моделей рельєфу / В. І. Зацерковний, Н. В. Руль, Л. В. Плічко, С. В. Кривоберець // Технічні науки та технології. – 2017. – № 1 (7). – С. 87-97.

8. Мехедов Є. В. Принципи побудови мап рельєфу для наземної навігації / Є. В. Мехедов // ScienceRise. – 2018. – № 11. – С. 46-49.

References

1. Dutchyn, M., Bida, I., & Melnychenko, H. (2009). Doslidzhennia tochnosti vyznachennia ploshch zemelnykh dilianok z vrakhuvanniam kilkosty konturnykh tochok ta yikh rozdashuvannia [Research on the accuracy of determining the area of land plots, taking into account the number of contour points and their location]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnystva – Modern achievements of geodetic science and production*, I (17), 301-308.

2. Riabchii, V.V., & Trehub, M.V. (2011). Vyznachennia dopustymykh znachen serednykh kvadratnykh pokhybok ploshch zemelnykh dilianok za mezhamy naselenykh punktiv [Determination of admissible values of the mean squared errors of the areas of land plots outside of the settlements]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 74, 136-141.

3. Radov, S., Kosohova, & O. (2011). Vyznachennia ploshch dilianok zemnoho elipsoida za ploskymy priamokutnymy koordynatamy v proektsii Haussa [Determining the areas of the Earth's ellipsoid by flat rectangular coordinates in the Gaussian projection]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnystva – Modern achievements of geodetic science and production*, II (22), 112-115.

4. Rudyi, R. (2011). Vyznachennia ploshch zemelnykh dilianok u hirskykh raionakh [Determining the area of land plots in mountainous regions]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnystva – Modern achievements of geodetic science and production*, I (21), 208-210.

5. Michael Snyder (2008, June 1). *Does an Acre of Hilly Land Contain More Land Than an Acre of Flat Land?*. https://northernwoodlands.org/articles/article/does_an_acre_of_hilly_land_contain_more_land_than_a_n_acre_of_flat_land.

6. Protsyk, M.T. (2012). *Metody fotogrametrychnoho ta kartografichnoho suprovodu bahatorivnevoi systemy monitorynhu eroziinykh gruntovykh protsesiv [Methods of photogrammetric and cartographic support of a multi-level system of monitoring soil erosion processes]* [PhD dissertation, Lviv Polytechnic National University].

7. Zatserkovnyi, V.I., Rul, N.V., Plichko, L.V., & Kryvoberets, S.V. (2017). Analiz pidkhodiv shchodo stvorennia tsyfrovykh modelei reliefu [Analysis of approaches to the creation of digital models of the terrain]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (1(7)), 87-97.

8. Mekhedov, Ye.V. (2018). Pryntsyry pobudovy map reliefu dlia nazemnoi navihatsii. [Principles of construction of relief maps for terrestrial navigation]. *ScienceRise*, 11, 46-49.

Отримано 05.06.23

Oksana Gera

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geodesy and Land Management
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

E-mail: geraoksana@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6670-2820>. Researcher ID: [K-2209-2017](https://orcid.org/0000-0001-6670-2820)

**INFLUENCE OF THE RELIEF MORPHOMETRIC PARAMETERS
ON THE SURFACE AREA OF THE FORESTRY LAND PLOTS**

A plot of land is characterized by the following main attributes: purpose, location and turning points coordinates, regulatory monetary value and area. The exact value of the plot area is required for keeping land data and entering information into the State Land Cadastre; as well as to determine the real amount of land tax or rent. For forest and agricultural lands, the area also determines the amount of cultivation and the obtained products.

Based on the analysis of literature sources, the established goal was to check the possibility of using Earth remote sensing data to generate digital relief models of plots in order to estimate their area. An important task was to establish the quantitative difference between the surface area of the land plot and the area of its horizontal projection using the example of large forested parcels.

Five sites were selected for research, which are located in the Volyn, Lviv and Ivano-Frankivsk regions of Ukraine. Using Google Earth, Global Mapper, and Surfer software, digital relief models of the objects were generated and visualized. At the next stage, the main relief parameters of the sites, as well as the values of the areas of their surfaces, were determined. It was established that for the specified land plots, the physical surface area is larger than the area of its horizontal projection by 1.15-87.83 hectares or from 0.1 to 7.7 %.

Therefore, the surface area depends on the morphometric parameters of the relief, namely the steepness and its roughness. For large parcels of agricultural and forestry purposes, it is recommended to take into account the area of their surfaces; to enter it as a separate parameter in the land cadastre. To increase the accuracy of the surface area calculation, it is necessary to use a digital terrain model with a smaller grid step. To generate such DEMs, we can use aerial photography materials.

Keywords: Remote Sensing materials; digital elevation model; land plot surface area; relief steepness and roughness.

Table: 1. Fig.: 3. References: 8.