

СТРУКТУРНО-СЕДИМЕНТОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ, НА ПРИКЛАДІ ВІДСЛОНЕННЯ В С. ХОРОСНО, ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСТЬ

Мета. Побудувати 3D модель відслонення міоценових відкладів в районі села Хоросно, Львівської області із використанням методів цифрової фотограмметрії. На підставі отриманої моделі провести седиментологічні та структурні дослідження. Продемонструвати переваги та недоліки використання цифрової фотограмметрії для польових досліджень в геології.

Методика. В роботі використано принципи цифрової фотограмметрії для побудови 3D моделей природніх об'єктів. Створення моделі включає наступні етапи: підготовчий, польовий та камеральний. На першому етапі необхідно вибрати методику та апаратуру в залежності від природніх умов, логістики тощо. Аерофотозйомка проводилось за допомогою БПЛА DJI Spreading Wings S1000. Створення 3D моделі здійснювали в програмі Agisoft Photoscan. Інші програми для опрацювання даних – Move та CloudCompare.

Результати. Побудована 3D модель міоценових відкладів в с. Хоросно Львівської області із застосуванням цифрової фотограмметрії. Розроблено робочий план для побудови такої моделі, що включає три етапи – підготовчий, польовий камеральний. Обґрунтовано вибір апаратного забезпечення та комп'ютерних програм для опрацювання результатів польових робіт. Описано створення планово – висотної основи, яку створювали за допомогою GNSS – приймача South S82T в режимі RTK у системі координат WGS84 в проекції UTM34. 3D модель у вигляді хмари точок або як цифрову модель рельєфу експортували в програмне забезпечення Move та Cloud Compare для подальшого використання. В Move побудовані поверхні та підстави пластів різноманітного літологічного складу. На підставі 3D ліній побудовано літологічну колонку відслонення. Виділено тріщини на відслоненні з використанням програми Cloud Compare. Це здійснено двома способами – автоматичним та напівавтоматичним екстрагуванням площин, що апроксимують тріщини. Отримані результати орієнтації тріщин представлені у формі розо-діаграм.

Наукова новизна. Вперше побудована 3D модель міоценових відкладів відслонення с. Хоросно, Львівської області на підставі якої побудована літологічна колонка. З 3D моделі отримано орієнтацію тріщин.

Практична значимість. Результати (модель та літологічна колонка) будуть використані при літологічних, стратиграфічних, тектонічних дослідженнях. Моделі будуть служити для візуалізації будови відслонення, а також можуть бути використані при створенні доданої віртуальної реальності.

Ключові слова: віртуальне відслонення, цифрова фотограмметрія, седиментологія, структурна геологія, тріщини, Move, CloudCompare.

Вступ.

Одразу після винайдення фотографії в 1822 році Жозефом Нісефором Ньепсом її почали використовувати в різних галузях наук, включаючи науки про Землю.

Фотографії відслонень є зручним інструментом, який використовується для ілюстрації геологічних структури та сприяють кореляції між вимірюваними ділянками у великому масштабі. Ефект перспективи, притаманний всім фотографіям є суттєвим обмеженням. Цифрові фотограмметричні методи можуть бути використані для видалення цих ефектів та отримання 3D інформації з фотографій. Детальний огляд використання фотограмметрії в геології можна знайти в роботі [11].

Цифрова камера є стандартним приладом кожного геолога при дослідженні природніх об'єктів. Вона дає можливість збирати велику кількість цінної інформації. Використання безпілотних літальних

апаратів (БПЛА) дає геологам можливість документувати недоступні частини геологічних об'єктів (відслонення гірських порід) або небезпечних ділянок. Цифрова фотограмметрія є одним з методів, що використовуються для документування геологічних явищ та об'єктів. Він використовується в геології, наприклад, при документуванні:

- Відслонень гірських порід
- Геологічних структур
- Поверхонь кар'єрів
- Підземних гірничих виробок
- Печер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Фотограмметричні методи використовуються більше 150 років, з часу винаходу фотографії. За цей час фотограмметрія зазнала великих змін від аналогових до сучасних цифрових методів. Значний розвиток можна спостерігати за

останні роки в області сенсорних пристроїв. БПЛА є вигідною альтернативою звичайним літальним апаратам. Суттєвого прогресу також досягнуто при обробці зображень. Обробка зображень здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Цифрові зображення, отримані з БПЛА, часто опрацьовують за допомогою звичайних методів або за допомогою нового та ефективного методу Structure from Motion, який працює за такими ж принципами, як стереоскопічна фотограмметрія, але 3D – структура може бути сформована із серії зображень, що перекриваються. Якість використовуваної цифрової камери та об'єктива дуже важливі для обробки зображень. Оптичні помилки можна виправити за допомогою калібрування камери. Професійні геодезичні фотограмметричні камери зазвичай калібруються виробником.

Додаткове калібрування камери можна виконати в лабораторії за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Agisoft Photoscan, PhotoModeler Scanner). Деякі програми, наприклад Agisoft Photoscan, можуть автоматично виконувати калібрування при обробці зображень. Фотограмметрія БПЛА часто використовує непрофесійні камери. Часто використовують прості цифрові компактні камери або просто цифрові камери, безпосередньо інтегровані в БПЛА. Найпоширенішим методом визначення елементів зовнішньої орієнтації є використання точок наземного управління з відомими координатами, визначеними геодезичними методами в полі. На сьогодні недорогі БПЛА мають бортові GPS приймачі, які дозволяють визначати положення камери в момент експозиції. Ці дані потім зберігаються з кожним зображенням з його метаданими. Результати обробки аерофотознімків у спеціалізованому програмному забезпеченні - це, як правило, ортофотоплан, хмара точок або цифрова модель рельєфу (ЦМР).

Безпілотні літальні апарати.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) з різноманітними чутливими пристроями - це технологічний прогрес, який в останні роки почав використовуватися для картування

поверхневих структур [7,13,12]. Тенденція у цій галузі полягає в оснащенні БПЛА навігаційними технологіями - глобальною навігаційною супутниковою системою (GNSS) та інерційною вимірювальною системою, яка використовується для орієнтування у навколишньому середовищі. Виходячи з цього, БПЛА стають майже незалежними від станції наземного управління, і вони знімають зображення на заздалегідь визначених позиціях [10]. Такі БПЛА, оснащені навігаційною технікою, почали використовуватися також у геології як аерофотограмметричне обладнання, для документування геологічних відслонень та інших поверхневих об'єктів [7, 8, 6]. Сучасні БПЛА забезпечують легке керування з вдосконаленим програмним забезпеченням керування [14]. Робота з БПЛА також передбачає планування польотів, крім фактичного польоту з отриманням даних [15]. Останній етап - це оцінка зображень, створення ортофотопланів і моделей 3D-рельєфу.

Детальний опис принципів створення моделей можна знайти в низці як вітчизняних та зарубіжних авторів. Також корисна інформація подана в інструкціях, що супроводжують програмне забезпечення Agisoft [4].

Геологічні дослідження з використанням цифрової фотограмметрії можуть застосовуватись до об'єктів де необхідні детальні дослідження, наприклад пошаровий опис відслонення, детальний структурний аналіз, де вимагається величезна кількість замірів а також для недосяжних об'єктів, особливо це стосується гірських районів та берегових ліній. Кількість публікацій з цієї тематики стрімко зростає. Класичний приклад використання цифрових методів в геології є дослідження відслонень осадових порід в басейні Кароо, Південна Африка [9].

Також проводяться дослідження з метою порівняння цифрової фотограмметрії з лазерним зніманням (наземним та з повітря).

Українські вчені також приділяють багато уваги використанню цифрової фотограмметрії в різних галузях науки та господарства. Найповніший огляд таких робіт можна знайти в роботах професора Глотова В. М. та співавторів [1, 2, 3].

Мета досліджень.

Побудувати 3D модель відслонення міоценових відкладів в районі села Хоросно, Львівської області із використанням методів цифрової фотограмметрії. На підставі отриманої моделі провести седиментологічні та структурні дослідження. Продемонструвати переваги та недоліки використання цифрової фотограмметрії для польових досліджень в геології.

Методи дослідження.

Для створення 3D – моделі міоценових відкладів використовувався стереофотограмметричний метод. Аерофотозйомка виконувалась за допомогою БПЛА DJI Spreading Wings S1000, який був обладнаний камерою Canon Mark III 5D. Модель прив'язувалась за допомогою GNSS – приймача South S82T в режимі RTK, рис. 1.



Рис.1. Прилади використані при зніманні

Польові роботи включають такі етапи:

- Створення планово – висотної основи за допомогою GNSS – приймача в режимі RTK;
- Аерофотозйомка за допомогою октокоптера.

Для виконання аерофотознімання використовувалось програмне забезпечення UAV Ground Control Station (UGCS).

Перед початком аерофотозйомки необхідно розмітити планово – висотну основу для підвищення точності при створенні 3D – моделі. Планово – висотна

основа створювалась за допомогою GNSS – приймача South S82T в режимі RTK у системі координат WGS84 в проекції UTM34.

Точки для основи обирались таким чином, щоб їх можна було легко розпізнати на аерофотознімках, а саме місця які виділялись фоном від решти та не мали навколо себе об'єктів, які б затіняли або перешкоджали під час аерофотозйомки, [5]. В якості опознаків використовувались пластикові тарілки білого кольору, які чітко було видно на фоні відслонення. Таким чином було закоординовано 7 опознаків.

Створення 3D моделі в ПЗ Agisoft Photoscan

Agisoft Photoscan – це програма, яка дає змогу опрацювати результати фотограмметричного знімання для побудови ортофотопланів, хмар точок та 3D моделей, [4]. Програма дозволяє майже повністю автоматизувати процеси опрацювання фотознімків.

За допомогою програмного забезпечення було побудовано текстуровану тривимірну модель об'єкту. Створення моделі включає такі етапи:

- ✓ завантаження знімків;
- ✓ трансформація знімків;
- ✓ побудова моделі;
- ✓ розстановка маркерів (планово – висотна прив'язка);
- ✓ оптимізація камер;
- ✓ побудова щільної хмари точок;
- ✓ побудова карти висот;
- ✓ побудова текстури;
- ✓ експорт даних.

Виклад основного матеріалу.

Відслонення, що є об'єктом досліджень знаходиться на околиці с. Хоросно, рис. 2.

Подальше опрацювання даних отриманих в результаті знімання здійснювали в програмному забезпеченні Move, розробником якого є фірма Midland Valley, світовий лідер у створенні програм для структурної геології та геологічного картування.



Рис. 2. Положення досліджуваного об'єкта: а – на карті GoogleEarth, б – загальний вигляд відслонення.

За допомогою вказаного програмного забезпечення можна здійснювати низку операцій, що зазвичай виконує геолог, опрацьовуючи результати польових досліджень. До них належить побудова моделей відслонень різної складності, на яких зображують положення пластів гірських порід, їх товщину, взаємовідносини різних структурних елементів тощо. Два головні завдання, що висувують перед дослідниками відслонень в геології є побудова стратиграфічної колонки та геологічного розрізу досліджуваної ділянки. Від детальності стратиграфічної або літологічної колонки залежать висновки, що будуть зроблені в подальшому. При цьому геолог зазвичай використовує мірну стрічку та компас.

Останнім часом почали використовувати GPS навігатори, але точність їх є невисокою. Move надає унікальну можливість здійснити це якісно, з високою точністю та досить швидко у порівнянні з конвенційними геологічними методами. Програмне забезпечення дає змогу виконувати, ті самі операції, що геолог робить в полі на відслоненні, а саме – заміри товщини пластів, визначення їх просторового положення (азимут падіння та кут падіння), дослідження змін різноманітних параметрів по літералі. Моделі, створені в результаті знімання завантажують в програму Move. Ці моделі (хмари точок) можуть бути представлені в різних форматах dat, obj, shp.

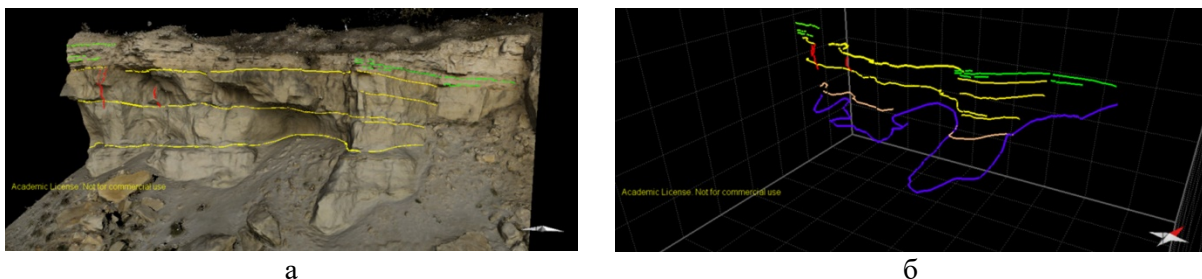


Рис. 3. 3D модель міоценових відкладів: а – модель в програмі Move, б – 3D лінії, що відображають межі пластів

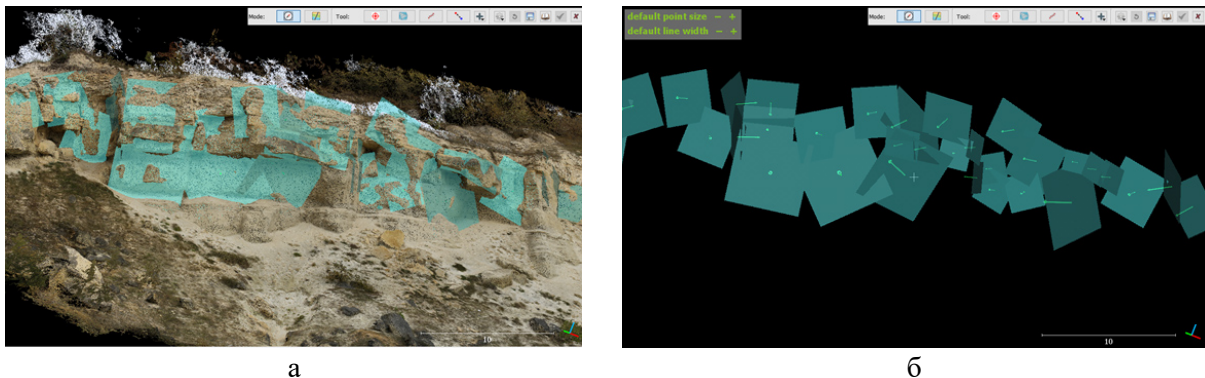


Рис.4. Відслонення міоценових відкладів у вікні програми CloudCompare: а – площини, що апроксимують тріщини, б – орієнтація площин

Потужний інструментарій програми дає можливість збільшувати, зменшувати, повертати модель, вибираючи найзручніший ракурс для роботи.

Для побудови окремих пластів відслонення використовуємо модуль MODEL BUILDING. В цьому модулі є низка інструментів, що дає змогу будувати 3D лінії. Цей інструмент має назву Line. Вибираємо параметри лінії – її колір, товщину, характер лінії, тип снейпування (прилипання). Особливістю цього інструменту є те, що він дає можливість працювати в трьохмірному середовищі. Лінії, що представляють поверхню та підшову пласта можна зберігати в різних наборах даних, що є зручним для побудови пластів різного літологічного складу.

Результатом цього етапу роботи є низка 3D ліній, що відображають видимі поверхні та підшови осадових пластів рис 3.

Наступний крок – побудова літологічної колонки, на підставі 3D моделі відслонення міоценових відкладів. Для цього використовуємо модуль DATA & ANALYSIS. Інструмент Stratigraphy, що знаходиться в цьому модулі дає змогу побудувати літологічну колону – послідовність шарів відповідного складу на підставі ліній та горизонтів, що були створені у попередньому модулі, рис.5.а.

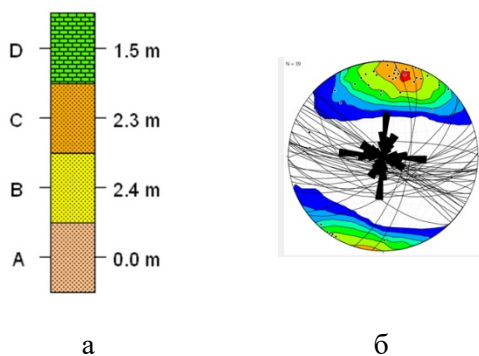


Рис.5. Результати опрацювання даних отриманих з 3D моделі: а – літологічна колонка, б– розо-діаграма простягання тріщин на відслоненні

Отримана 3D модель також є цінним джерелом інформації при дослідженні тріщинуватості на відслоненнях. Зазвичай заміри орієнтації тріщин – кут падіння та азимут падіння це трудомісткий процес, що

забирає багато часу при польових спостереженнях. Для екстрагування тріщин ми скористалися програмою Cloude Compare, рис. 4. Вона дозволяє працювати як із 3D так і з хмарою точок. Виділення тріщин можна проводити як у автоматичному, так і в напівавтоматичному режимі. Екстрагування структурних елементів в автоматичному режимі має перевагу, оскільки усуває суб'єктивний фактор.

Отримані дані легко експортуються у форматі txt файлу для їх подальшої обробки, наприклад для побудови роздіаграм, чи контурних діаграм (Рис. 5б). Напівавтоматичне виділення можна застосувати для окремих контрольних тріщин з метою порівняння з тріщинами, заміряними традиційним методом за допомогою компаса.

Обговорення результатів

Проведені дослідження продемонстрували високу продуктивність використання цифрової фотограмметрії для польових досліджень в седиментології та структурній геології. Отримана 3D модель дає змогу продовжувати різноманітні вимірювання в камеральних умовах. Насамперед це стосується параметрів шарів – підшови та поверхні, товщин та елементів залягання. Використання моделі значно пришвидшує заміри тріщин. Також необхідно підкреслити, що використання описаного підходу дозволяє здійснювати дослідження на недоступних частинах відслонень.

До недоліків слід віднести залежність від погодних умов. Також виникають проблеми із транспортуванням апаратури у важкодоступні місця. Ще один недолік недостатня кількість спеціалістів, що вміють працювати з сучасною технологією знімання природних об'єктів за допомогою БПЛА.

Висновок

В якості висновків необхідно відзначити, що в результаті польових досліджень та камеральних робіт була побудована 3D модель відслонення міоценових відкладів в с. Хоросно, Львівської області. Було підтверджено практичність використання цифрової

фотограмметрії для геологічних досліджень. Показана висока ефективність та точність такого типу досліджень геологічних об'єктів.

На підставі 3D моделі відслонення міоценових відкладів побудована детальна літолого-стратиграфічна колонка.

Результати (модель та літологічна колонка) будуть використані при літологічних, стратиграфічних, тектонічних дослідженнях. Моделі будуть служити для візуалізації будови відслонення, а також можуть бути використані при створенні доданої віртуальної реальності.

Набутий досвід буде використаний для планування та проведення досліджень геологічних об'єктів зі складною будовою, та у важко доступних місцях. Підхід, запропонований в робіт може суттєво пришвидшити дослідження при обмеженому часі.

Список літератури

1. Глотов, В., & Гуніна, А. (2014). Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, (2), 65-70.

2. Глотов, В., Процик, М., & Жук, Д. (2014). Дослідження ерозійної небезпеки ґрунтів на детальному рівні цифровим наземним стереофотограмметричним методом (частина 2).

3. Глотов В. Аналіз і перспективи аерофотознімання з БПЛА / В. Глотов, А. Церклевич, В. Колісниченко, О. Прохорчук. // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища GPS і GIS технології. - 36. наук. матер. XVIII Міжн. наук.-техн. симпозіум. - (Алушта, вересень 2013).- Львів.-2013.- С. 5-10.

4.Руководство пользователя Agisoft PhotoScan Professional Edition, 2016, 113 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_ru.pdf

5. Технологія виконання топографо-геодезичних робіт із планово-висотної прив'язки аерознімків [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу:

http://www.avia.org.ua/data/Tehnologia_PVP.pdf

6. Bemis, S. P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M. R., Akciz, S., Thiele, S. T., & Bangash, H. A. (2014). Ground-based and UAV-based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, 163-178.

7. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97.

8. Costantino, D., & Angelini, M. G. (2015). Three-Dimensional Integrated Survey for Building Investigations. *Journal of forensic sciences*, 60(6), 1625-1632.

9. Hodgetts, D., Drinkwater, N. J., Hodgson, J., Kavanagh, J., Flint, S. S., Keogh, K. J., & Howell, J. A. (2004). Three-dimensional geological models from outcrop data using digital data collection techniques: an example from the Tanqua Karoo depocentre, South Africa. *Geological Society, London, Special Publications*, 239(1), 57-75.

10. Irschara, A., Kaufmann, V., Klopschitz, M., Bischof, H., & Leberl, F. (2010). Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from UAVs.

11. Landen, D. (1959). Impact of the Development of Photogrammetry upon Geology. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 49(7), 234-252.

12. Neitzel, F., & Klonowski, J. (2011). Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 38, 1-6.

13. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1), C22.

14. Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1-14.

15. Shahbazi, M., Théau, J., & Ménard, P. (2014). Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4), 339-365.

References

1. Hlotov, V., & Hunina, A. (2014). Analiz mozhyvostey zastosuvannya bezpilotnykh lital'nykh aparativ dlya aereznyal'nykh protsesiv. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva*, (2), 65-70 p.

2. Hlotov, V., Protsyk, M., & Zhuk, D. (2014). Doslidzhennya eroziynoyi nebezpeky gruntiv na detal'nomu rivni tsyfrovym nazemnym stereofotogrammetrychnym metodom (chastyna 2)

3. Hlotov V. Analiz i perspektyvy aefotoznimannya z BPLA / V. Hlotov, A. Tserklevych, V. Kolisnichenko, O. Prokhorchuk. // Heoinformatsiynny monitorynh navkolyshn'oho seredovyshcha GPS i GIS tekhnolohiyi. - Zb. nauk. mater. XVIII Mizhn.nauk.-tekh. sympozium. - (Alushta, veresen' 2013).- L'viv.-2013.- P. 5-10.

4. Rukovodstvo pol'zovatelya Agisoft PhotoScan Professional Edition, 2016, 113 p. [Elektronnyy resurs] / Rezhym dostupu do resursu: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_ru.pdf

5. Tekhnolohiya vykonannya topografo-heodezychnykh robit iz planovo-vysotnoyi pryv'yazky aereznyimkiv [Elektronnyy resurs] / Rezhym dostupu do resursu:

http://www.avia.org.ua/data/Tehnologia_PVP.pdf

6. Bemis, S. P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M. R., Akciz, S., Thiele, S. T., & Bangash, H. A. (2014). Ground-based and UAV-based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, P. 163-178.

7. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A

review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, P. 79-97.

8. Costantino, D., & Angelini, M. G. (2015). Three-Dimensional Integrated Survey for Building Investigations. *Journal of forensic sciences*, 60(6), 1625-1632.

9. Hodgetts, D., Drinkwater, N. J., Hodgson, J., Kavanagh, J., Flint, S. S., Keogh, K. J., & Howell, J. A. (2004). Three-dimensional geological models from outcrop data using digital data collection techniques: an example from the Tanqua Karoo depocentre, South Africa. *Geological Society, London, Special Publications*, 239(1), 57-75.

10. Irschara, A., Kaufmann, V., Klopschitz, M., Bischof, H., & Leberl, F. (2010). Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from UAVs.

11. Landen, D. (1959). Impact of the Development of Photogrammetry upon Geology. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 49(7), 234-252.

12. Neitzel, F., & Klonowski, J. (2011). Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 38, 1-6.

13. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1), P. 22.

14. Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1-14.

15. Shahbazi, M., Théau, J., & Ménard, P. (2014). Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4), p. 339-365.

Надійшла до редакції 02.12.2019

Бубняк Ігор Миколайович – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної геодезії Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» (вул. Карпінського,6, м. Львів, 79000, Україна).

Email: ihor.m.bubniak@lpnu.ua

Бубняк Андрій Миколайович – кандидат геологічних наук, геолог-консультант, (вул. Зимова 35,кВ 30, м. Львів, 79020, Україна).

Email: andrewbubniak@yahoo.com

STRUCTURAL-SEDIMENTOLOGICAL RESEARCH OF MIOCENE DEPOSITS WITH THE APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY, CASE STUDIES FROM OUTCROPS OF KHOROSNO VILLAGE, LVIV REGION

Goal. Build a 3D model of Miocene sediment deposition in the area of Khorosno village, Lviv region using digital photogrammetry methods. Conduct sedimentological and structural studies based on the obtained model. Demonstrate the advantages and disadvantages of using digital photogrammetry for field research in geology.

Method. The principles of digital photogrammetry were used for construction of 3D models of natural objects. Model creation involves the following steps: preparatory, field, and home works. In the first stage, it is necessary to choose the methodology and equipment, depending on the natural conditions, logistics and so on. Aerial photography was performed using a DJI Spreading Wings S1000 UAV. 3D models were created in Agisoft Photoscan. Other data processing applications are Move and CloudCompare.

Results. A 3D model of Miocene deposits was constructed in the area of village Khorosno, Lviv region using digital photogrammetry. A working plan for the construction of such a model has been developed, which includes three stages - preparatory, field and home works. The choice of hardware and computer programs to process the results of field work is justified. Describes the creation of a high altitude base, which was created using the GNSS receiver South S82T RTK mode WGS84 coordinate projection UTM34. 3D model as a point cloud or as a digital terrain model exported to the software Move and Cloud Compare for later use. In Move were created tops and bottoms of layers of various lithologic composition. On the basis of 3D lines, a lithologic column of outcrop was constructed. Highlights of cracks in debugging using Cloud Compare. This is done in two ways - by automatic and semi-automatic extraction of the fracture-approximating planes. The results of discontinuities orientation are presented in the form of rose diagrams.

Scientific novelty. A 3D model of Miocene sedimentary rocks of Khorosno village outcrop was constructed for the first time. On the Base basis of which the lithological column was built. From the 3D model was obtained the orientation of the cracks.

Practical importance. The results (model and lithological column) will be used in lithological, stratigraphic and tectonic studies. The models will serve to visualize the structure of the outcrops and can also be used to create virtual reality.

Keywords: virtual outcrop, digital photogrammetry, sedimentology, structural geology, discontinuities, Move, Cloud Compare.

Bubniak Ihor – PhD in Geology, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy, Institute of Geodesy of the National University "Lviv Polytechnic" (Karpinskyi Str, 6, Lviv, 79000, Ukraine).

Email: ihor.m.bubniak@lpnu.ua

Bubniak Andriy – PhD in Geology, Consulting Geologist (Zymova Str. 35, ap 30, Lviv, 79020, Ukraine).

Email: andrewbubniak@yahoo.com