

# КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

УДК 528.9.72.11

Людмила КАЗАЧЕНКО<sup>1</sup>, Владислав КАЗАЧЕНКО<sup>2</sup>, Тетяна ЖИДКОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, <https://orcid.org/0000-0001-7188-2790>, e-mail: [for.kazachenko@gmail.com](mailto:for.kazachenko@gmail.com), tel. 38 067-309-709-3

<sup>2,3</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна, <sup>2</sup>e-mail: [kaza4enko.vlad@gmail.com](mailto:kaza4enko.vlad@gmail.com), <sup>2</sup>tel. 38 095-866-30-85, <sup>3</sup>e-mail: [tavlz@ukr.net](mailto:tavlz@ukr.net), <sup>3</sup>id orcid 0000-0001-7903-7073, <sup>3</sup>tel. 38 067-570-41-50

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.94.029>

## ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ТА 3D-МОДЕЛЮВАННЯ У КАРТОГРАФУВАННІ ПРОЯВУ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Розвиток екзогенних процесів на поверхні Землі є проблемою широкого масштабу. Завдяки розвитку екзогенних процесів відбуваються зміни у складі й структурі земної кори та її поверхні. Руйнування вулиць, житлових будинків та громадських споруд, автомобільних доріг і залізниць призводить до колосальних втрат. Передбачити розвиток деградації ґрунтового покриву, ерозійних процесів на сільськогосподарських землях, які щорічно втрачають виробничі площі, що призводить до утворення яружно-балкової системи і зменшує продуктивну кількість земель, які перебувають у приватній власності громадян – є вирішенням проблеми. Застосування ГІС-технологій, дистанційного зондування Землі і сучасного програмування частково може вирішити проблему, оскільки це швидке виявлення територій, що зазнали процесу деградації ґрунтового покриву та можливе прогнозування розвитку негативних явищ. Застосування геодезичного програмного забезпечення, ГІС, інформаційних шарів Публічної кадастрової карти може допомогти у якнайшвидшому знаходженні територій, розробленні прогнозу подальшої руйнівної дії, розробленні відповідних захисних методів і їх упровадження. Об'єктом нашого дослідження були території з проявами екзогенних процесів – деградація ґрунтового покриву в сільськогосподарських підприємствах, де кожен рік втрачаються площі високородючих чорноземів, що призводить до великих збитків, і зсуви в населених пунктах лісостепової та степової частини Харківської області. Ми дослідили руйнівні процеси шляхом геодезичних вимірів на територіях їхніх проявів, спостереження проводили впродовж 8 років. Виявлено розвиток екзогенних процесів на поверхні Землі, що проявлялося у зсувах в населених пунктах лісостепової зони і деградації сільськогосподарських земель на території степової та лісостепової частини Харківської області. Причиною руйнації земної поверхні були фактори, незалежні від людської діяльності. Ми побудували 3D-моделі розвитку екзогенних процесів, що проявлялися в ерозії ґрунту й зростанні яружно-балкової системи, і визначили ступінь прояву ерозії після виконання знімання і оброблення результатів геодезичних вимірів у програмному забезпеченні Digital. На протязі 8 років ми вносили зміни в програмне забезпечення, знімаючи територію і побудувавши лінію моніторингу. Також в населених пунктах на території двох зон ми вели спостереження за розвитком зсувів ґрунту на вулицях сіл Мілова та Нова Василівка, де відбувається інтенсивний розвиток екзогенних процесів. Застосування ГІС-технологій та дистанційного зондування Землі для ведення моніторингу розвитку екзогенних процесів спрощують вирішення проблеми.

**Ключові слова:** ГІС-технології; ДЗЗ; відновлювані території; деградація ґрунтів; екзогенні та ендегенні процеси; просторові дані; руйнування.

### *Вступ*

Проблема розвитку екзогенних процесів, руйнації ґрунтового покриву є однією з наймасштабніших проблем людства. Виділення таких територій, попередження їх розвитку в сучасних умовах господарської діяльності є можливим завдяки застосуванню сучасних геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційному зондуванню Землі (ДЗЗ) з космічного простору. Інформація про розвиток екзогенних процесів може допомогти призупинити такі явища і запобігти руйнуванню земної поверхні. Спрогнозувати розвиток руйнівних процесів на земній поверхні можна, маючи своєчасну інформацію і сучасні засоби – ГІС і ДЗЗ, так є можливість побудувати моделі розвитку та передбачити подальший розвиток процесів руйнації ґрунтового покриву, що може вплинути на прийняття управлінських рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемами руйнації ґрунтового покриву займаються багато вчених, які довели, що на руйнування земної поверхні мають вплив антропогенне навантаження, нераціональне ведення товарного сільськогосподарського виробництва, недотримання сівозмін, умови рельєфу та

клімату [Кузнєцов та ін., 2005; Рудько, 1995], зливові дощі, надмірне видобування корисних копалин [Лушик та ін., 2005]. На фізичну деградацію ґрунтів має вплив [Barthelmes, 2012; Bektaş, 2015] розмір дощових крапель і інтенсивність зливових дощів та танення снігу [Медведев, 2013; Пилипенко та ін., 2004; Заславський, 1983; Кривов, 2006]. Надмірне розорювання сільськогосподарських земель призводить до розвитку ерозії ґрунту [Медведев, 2013; Пилипенко та ін., 2004]. Але людська діяльність не призводить до руйнування земної поверхні [Close, 2010], це дія зовсім інших процесів – екзогенних, і для відновлюваних територій потрібне їхнє визначення та картографування. Екзогенні процеси негативно впливають на навколишнє природне середовище, в населених пунктах зсуви руйнують житлові будинки, автодороги, інші лінійні інженерні споруди [Tserklevych, et al., 2017, 2018]. За допомогою ГІС-технологій можна здійснити картографування негативної дії цих процесів та зробити прогнозування їх поширення за допомогою сучасних геоінформаційних систем [Казаченко Л. М., Казаченко Д. А., 2018; Rogister, 2009].

**Виклад основного матеріалу.** Головними руйнівними силами, що змінюють склад і структуру земної поверхні, являються геодинамічні процеси, під впливом

яких руйнується поверхня Землі, виникають землетруси, виверження вулканічних мас, обміління океанів, утворюються гірські породи. Всі ці процеси знаходяться в діалектичному взаємозв'язку і відбуваються безперервно, обумовлюючи та змінюючи одні одних, що й забезпечує еволюційний розвиток всього живого і неживого на нашій планеті. В межах як зовнішніх, так і внутрішніх геосфер наша планета змінювалася безперервно, зміни відбувались та відбуваються у її складі, фізичному стані, зовнішньому вигляді, положенні у світовому просторі та у взаємовідносинах з іншими складовими Сонячної системи. В часи становлення нашої планети завдяки розвитку складних процесів конденсації речовини відбулося формування фігури Землі як еліпсоїда обертання. Взаємовідносини сил, які й сьогодні функціонують у земній кулі та її зовнішніх геосферах, формують геодинамічні процеси. Це взаємне тяжіння часточок речовини, яка складає земну кулю; гравітаційні сили взаємодії між Землею, Місяцем, Сонцем та іншими планетами; ротаційні сили, тобто сили, пов'язані з обертанням Землі навколо осі і зміною швидкості цього обертання; сили, які виникають в тілі внутрішніх геосфер у результаті зміни температурного режиму планети, тобто температури надр Землі; сили, джерелом яких є хімічні перетворення речовини в надрах планети, а також зміна агрегатного стану матерії в умовах високих температур та тисків; сили, пов'язані зі зовнішнім впливом на Землю інших космічних тіл і, особливо Сонця, яке за допомогою теплової енергії, а також сонячного вітру, приводить в рух водні та повітряні маси, тобто безпосередньо діє на стан гідросфери та атмосфери, а також визначає стан біосфери. Усі перераховані вище сили, які діють у зовнішніх і внутрішніх геосферах Землі, визначають її динаміку – різні перетворення, відповідно до законів діалектики природи. Всі процеси діляться на процеси внутрішньої динаміки – ендегенні, і процеси зовнішньої динаміки – екзогенні, що залежать від джерела, яке їх спричиняє.

**Мета дослідження** – виявлення проявів екзогенних процесів у зонах житлової та громадської забудови населених пунктів лісостепової та степової частини Харківської області, використовуючи сучасні геоінформаційні системи і дані дистанційного зондування Землі. Вияснити причини і наслідки екзогенних руйнівних процесів і, можливо, передбачити подальший розвиток руйнування земної поверхні способом моделювання. Швидке виявлення територій, що зазнали процесу деградації ґрунтового покриву та прогнозування розвитку негативних явищ можливе із застосуванням ГІС-технологій і ДЗЗ. Так ми хотіли порівняти різні території лісостепової та степової зони Харківської області щодо розвитку екзогенних процесів, виявити причини і наслідки. На території Харківської області відклади, що мають здатність до карстування, поширені на площі 31,34 тис. км<sup>2</sup> (99,8 %). Розвиток процесу карстоутворення не характерний для території області. У долинах р. Сіверський Донець та р. Вовча, в умовах неглибокого залягання крейдових відкладів, спостерігаються карстові воронки діаметром 10,0–30,0 м. Загальна кількість карстопроявів – 11, та відмічено 5 проявів палеокарсту [Заславський, 1983; Кривов, 2006]. Спостереженнями

виявлено посилення антропогенного фактору – неузгоджена виїмка порід зсувних схилів, оголення зсувних схилів – підпали рослинності, вирубка дерев, скошення трави.

### Методика дослідження

На рис. 1 представлена растрова карта території дослідження – Міловська сільська рада Балаклійського району. Растрова карта території показує ерозійну небезпеку, розвиток екзогенних процесів – зсувів на території Міловської сільської ради на вулицях сіл Мілова, Криничне, Первомайське, П'ятигірське.



Рис. 1. Растрова карта Міловської сільради

З растрової карти видно, що територія Міловської сільської ради уражена розвитком екзогенних процесів. На рис. 2 представлений космічний знімок тієї ж території, де видно розвиток екзогенних процесів. у верхньому правому кутку розташоване с. Мілова, з південно-західного боку розташований кар'єр з видобутку корисних копалин – крейди (білим кольором видно крейдиані відкладення і межі кар'єру).



Рис. 2. Космічний знімок території дослідження

Растрова карта та космічний знімок дають уяву про розвиток екзогенних процесів – зсуви, ерозію ґрунту, карстові відкладення. У матеріалах [Активізація небезпечних екзогенних процесів в Україні, 2020; Муратова, 2020] зазначено, що на території України поширилася дія екзогенних процесів, зокрема в Харківській області і на території Міловської сільської ради Балаклійського району. Згідно з цими матеріалами значено, що на території Харківської області триває розвиток екзогенних процесів (ЕГП), всього налічується 1615 зсувів на площі 40,3 км<sup>2</sup>, ураженість 0,13 %, карст – 11 на площі 31340,0 км<sup>2</sup>, ураженість 99,8 %, лесових ґрунтів, що здатні до просідання – 66,3, площею 20840,0 км<sup>2</sup>. Частина ЕГП доводиться на територію Міловської сільської ради. На території с. Мілова дія

екзогенних процесів розвинута по яружно-балковій системі, налічується 26 зсувів, дія яких загрожує газорозподільчій системі і газовим свердловинам, загрожує сільськогосподарським землям – завдяки розвитку яружно-балкової системи скорочується площа орних земель (рис. 3).



Рис. 3. Фото розвитку ЕГП, що руйнує село

У разі активізації зсувів частина житлових будинків по вулицях Висока і Підлісна можуть бути зруйновані. Частина зсувів на правому схилі р. Сіверській Донець, на якому розташоване с. Мілова, є загрозою не тільки для приватних житлових будинків, а й автомобільних доріг і громадської забудови, багатоквартирних п'ятиповерховок. Також під дією зсувів відбувається постійне скорочення площ присадибних ділянок. В результаті дослідження виявилося, що локальна активізація проявилася по одній формі з лівого боку балки Міловатка. Для виявлення територій з проявами екзогенних процесів використовували дані ДЗЗ, космічні знімки (рис. 2), Публічну кадастрову карту (рис. 4).



Рис. 4. Село Мілова на Публічній кадастровій карті

Ми досліджували руйнування земної поверхні шляхом геодезичних вимірів, 2 рази на рік виїжджали на місце розташування зсувів і проводили дослідження – знімали межі зсувів, координували одночастотним GPS-приймачем фірми Trimble. Результати заносили в комп'ютер, обробляли і зберігали. Під час вирішення проблемних питань, пов'язаних зі зсувними процесами в межах населених пунктів, коли майже вся вулиця зсувається, потрібно термінове прийняття управлінських рішень, тому необхідна своєчасна інформація і моделювання розвитку. Швидкий зсув ми виявили під час землепорядного обстеження території с. Мілова Балаклійського району Харківської області.

### Результати

Аналізуючи ситуацію, можна зауважити таке: село Мілова Балаклійського району Харківської області знаходиться в зоні різних негативних впливів антропогенного походження, також в селі діє кар'єр з видобування

корисних копалин – крейди. Добуток ведеться відкритим і закритим методами на різних глибинах. Крейда по трубопроводу під великим тиском направляється до підприємства ВАТ «Балцем», яке займається виготовленням крейдяних виробів, цементу і цементно-шиферних виробів. Раніше тут були крейдяні гори, на час дослідження зсувних процесів є великий котлован і частина крейдяних гір, які ще не вироблені під кар'єр.

Ґрунти села в основному суглинкові та глинисті, за своїм механічним складом є важкими і вологовбираючими, і тому сповзаючими. Село Мілова розташоване на межі басейну р. Сіверський Донець. Ріка омиває село з північного, північно-східного і південного боку і заходить в центральну частину села. Тобто, є підмиваючі породи. Село Мілова налічує 6 вулиць. Збудова села характеризується в основному присадибного типу одно-дво поверховими будинками та 6 багатоквартирними п'ятиповерховими будинками, де проживає населення, що працює на ВАТ «Балцем». Всього мешканців в селі – 1154 особи. Є загальноосвітня школа I–III ступенів, художня студія і музична школа. Також в селі є комбінат побутового обслуговування населення. Всі вулиці в селі з твердим покриттям – асфальтовані. Однак, є дуже великі негаразди в цьому мальовничому селі: дві вулиці – Висока і Підлісна – сповзають, тобто є дуже негативні руйнівні процеси – зсуви. В результаті цих негативних процесів частина житлових будинків постійно руйнуються – в стінах тріщини, покосився дах, у фундаменті – тріщини, таких будинків 28. Частина городу, який мешканці постійно обробляли, зсунулася вниз з великою швидкістю – за 10 років половина городу в глибокому яру. По вулиці не запроєктовані водовідводи, а є лише один шириною 2 м, з обох боків якого вже утворилися 2 глибоких яри.

Космічні знімки та Публічна кадастрова карта України з інформаційними шарами (ортофотоплан) дає уявлення про наявність екзогенних процесів, ерозійну небезпеку, деградацію ґрунту. Можна швидко виявити такі території і зробити комплексну оцінку ситуації. Так, за космічним знімком ми виявили, що на розвиток ЕГП має вплив наявність водного басейну р. Сіверський Донець, близькість кар'єру з видобутку крейди, газових свердловин.

Всі ці фактори призводять до нестійкості ґрунтів, до зсувів завдяки підтопленню, постійних струсів землі видобувною технікою. На космічному знімку (рис. 2) видно, що кар'єр з видобутку крейди розташований поряд з с. Мілова. Проведені дослідження негативної дії екзогенних та ендегенних процесів упродовж 8 років показують, що причиною зсувів є безпосередня близькість кар'єру з видобутку крейди, близькість водного басейну ріки Сіверській Донець, наявність нестійких пливучих глиняних ґрунтів.

Ми сфотографували зсув, що утворився за короткий час, на фото видно породи ґрунту – глина і крейдяні відклади (рис. 5). Під дією зсуву, на жаль, земна кора руйнується дуже швидко, створюються провали.

Дія дощових крапель при сильних зливах руйнує поверхню, особливо якщо є близько водний горизонт.



Рис. 5. Фото зсуву в с. Мілова – видно крейдові відклади і глинисті ґрунти

За допомогою даних космічного базування Землі можливо досить швидко визначити межі досліджуваних територій, визначити приблизні геодезичні координати досліджуваних територій, тим самим скоротити час проведення обстежень. Для швидкого реагування та прийняття управлінських рішень щодо подальшого розвитку екзогенних процесів необхідно мати таку інформацію (рис. 6). У своєму дослідженні ми використовували: космічні знімки, кадастрову карту і растри для порівняння площ і виділення меж.

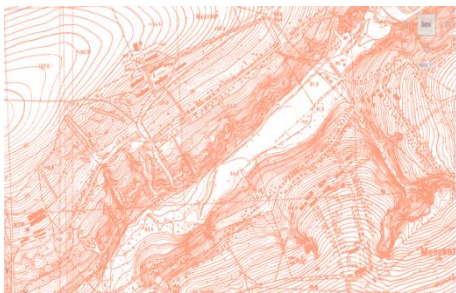


Рис. 6. Растрова карта території с. Мілова

Побудувати цифрову модель місцевості та нанести межі відновлюваних територій можна з використанням ГІС-технологій та дистанційного зондування землі. Застосування сучасних вимірних систем та програмного забезпечення дає змогу визначити такі території та відобразити їх у цифровому вигляді (рис. 7). Для цього потрібно виконати геодезичні знімання сучасними вимірними системами, обробити результати за допомогою програмного забезпечення і отримати прогностичні рішення шляхом моделювання. Ми використовували вітчизняне програмне забезпечення Digital для обробки результатів геодезичних вимірів і побудови цифрової карти зсувних територій с. Мілова (рис. 7).

На цифровому плані видно чисельні зсуви, провали, руйнування, скупченість горизонталей, тобто складний рельєф місцевості, і по центру – водний об'єкт, басейн ріки Сіверський Донець. Видно, що дія ЕГП руйнує вулиці, будинки. За 8 років нашого дослідження і безперервного спостереження виявлено, що територія ЕГП розширилася (рис. 8)

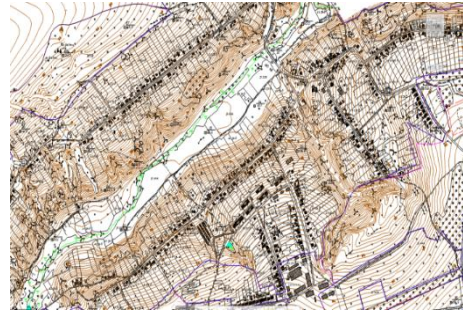


Рис. 7. Побудований цифровий план розвитку ЕГП



Рис. 8. Відображення лінії моніторингу проблеми зсувів у с. Мілова

У північно-західній частині утворилися нові зсуви, їх стало набагато більше. Глибина збільшилася і руйнування вулиць теж, на жаль, збільшилося. Використовуючи комп'ютерне програмне забезпечення, ми можемо спрогнозувати напрям водних потоків на цьому масиві.

Також, використовуючи цифрову модель рельєфу, ми створили тривимірну модель території, яка допоможе розібратися в суті проблеми та зробити висновки щодо покращення ситуації.

Цифрова модель місцевості дає змогу побачити напрямки ліній водотоку, відстані між горизонталями, і дає уяву про рельєф та можливі прояви ерозії в тих місцях, де йде пониження рельєфу і лінії тальвегу. Цифровим моделюванням можна спрогнозувати інтенсивність розвитку негативних процесів, задаючи різні висоти і можливий змив ґрунтового покриву, який призводить до пливучості ґрунтів і, отже, до утворення зсувів. Моделювання розвитку екзогенних процесів може попередити негативні наслідки руйнування земної поверхні.

### **Наукова новизна, практична діяльність**

Комп'ютерне моделювання розвитку зсувних процесів вулиць житлової та громадської забудови земель в межах с. Мілова Балаклійського району Харківської області допомогло розробити прогностичну дію зсувних процесів на 5 років. Моделюванням підтверджено, в який бік за прогнозом відбудеться зсув, і попереджено керівництво Міловської сільської ради – сільського голову та Балаклійську районну державну адміністрацію про прогностичну дію зсуву. В результаті чого запобігли зсуву, розробивши "Проект проти-зсувної організації території" шляхом проектування

укріплювальної інженерної споруди – залізобетонної конструкції на вулицях Висока і Підлісна.

На рис. 9 фрагмент моделювання розвитку зсуву на вулиці Висока с. Мілова в програмному забезпеченні Digitala, нанесені горизонталі з використанням космічного знімку території розвитку ЕГП. Червоною пунктирною лінією позначений зсув і подальша його дія.

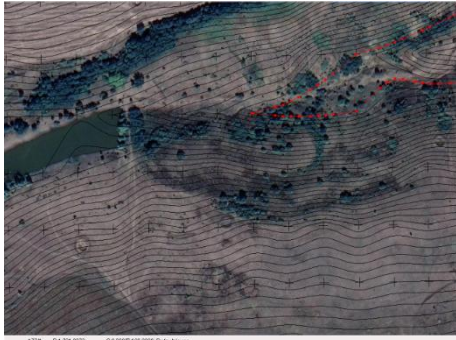


Рис. 9. Цифрова модель розвитку дії зсуву на космічному знімку

Програмне забезпечення Digitala дає змогу змоделювати розвиток зсуву. Для моделювання в форматі 3-D, яке дає об'ємне уявлення, потрібно вносити періодично інформацію про дію зсуву. Так ми в своєму дослідженні упродовж 8 років вносили геодезичні координати зруйнованої частини земної поверхні по вулицях с. Мілова. Ці координати дали точки відхилення від вихідної інформації, у програмному забезпеченні Digitala відмічали різниці у висотах і побудували розвиток дії зсуву у форматі 3D (рис. 10).

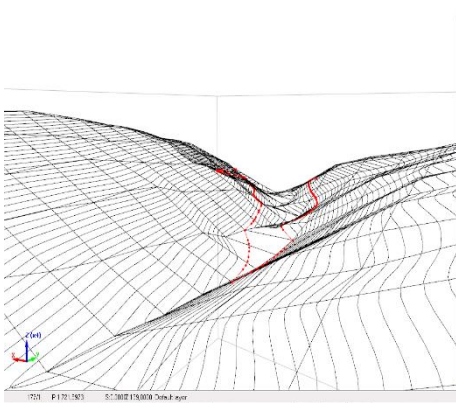


Рис. 10. 3D-модель розвитку зсуву с. Мілова

На сільськогосподарських земельних масивах за межами с. Мілова теж розповсюджені негативні ЕГП, які призводять до постійних втрат високоцінних земель. Ми спрогнозували розвиток негативних процесів і побудували моделі (рис. 11–12).

Ми заносили результати геодезичних вимірів після здійснення геодезичного знімання упродовж 8 років – геодезичні координати, висотне обґрунтування, межі зсуву, які постійно змінювалися. За допомогою програмного забезпечення була можливість побудови розвитку негативних екзогенних процесів. Червоними крапками програма виділила зони для моделювання (рис. 12).



Рис. 11. Побудова моделі розвитку небезпечних екзогенних процесів на землях сільськогосподарського використання

За допомогою ГІС-технологій, дистанційного зондування Землі є можливість побудови моделей розвитку негативних екзогенних процесів. Передбачити і спрогнозувати руйнацію ґрунтового покриття можна тільки у невеликих масштабах, на жаль, ці процеси є непередбачуваними.

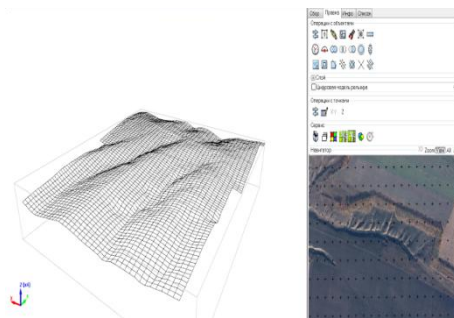


Рис. 12. Побудова 3D-моделі в програмі Digitala

Попередити розвиток ЕГП можливо тільки частково, але і це дасть свої результати і, можливо, зменшить ризик та негативні дії руйнування поверхні землі для населення.

### Висновки

1. Проведені дослідження показали, що розвиток екзогенних процесів на території лісостепової зони Харківської області більше поширений, ніж у степовій зоні, оскільки водний горизонт підземних вод лісостепової зони вищий, ніж у степовій зоні.

2. Дослідження показали, що на розвиток екзогенних процесів у с. Мілова Балаклійського району Харківської області має вплив близькість кар'єру з видобутку крейди, водний басейн ріки Сіверський Донець та нестійкі глинисті породи ґрунту.

3. Побудовані моделі розвитку ЕГП дають уявлення про подальшу дію негативних процесів. Динамічність та непередбачуваність екзогенних процесів потребує постійних моніторингових досліджень щодо подальшого їх розвитку, визначення прогнозованої ураженої площі і, можливо, зменшення ризику й негативної дії руйнування поверхні землі для населення.

4. Побудова моделей розвитку екзогенних процесів може вплинути на прийняття своєчасних управлінських

рішень і зменшити або уникнути негативних руйнівних наслідків та небезпеки населення.

5. Моніторинг негативних екзогенних процесів дає виявлення районів небезпеки, оцінки та прогнозування ступеню геологічного ризику.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП. *Щорічник ДНВП «Геоінформ України»*, випуск XVII. Київ, 2020.
- Заславський М. Н. *Ерозиоведение*. М.: Высшая шк., 1983. 320 с.
- Казаченко Л. М., Казаченко Д. А. Переваги GPS-технологій під час розробки проектів консервації малопродуктивних і деградованих земель. *Вісник ХНТУ ім. П. Василенка*, вип. 75 т. 2 “Механізація сільськогосподарського виробництва” 2018. С. 231–237.
- Кривов В. М. *Екологічно безпечне землекористування лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів*: моногр. К.: “Урожай”. 2006. 301 с.
- Кузнєцов І., Рудько Г. та інші. *Геологічні вимоги до ведення господарської діяльності на зсувонебезпечних територіях*. Сімферополь, 2005.
- Луцик А., Романюк О., Швирло М. та інші. Звітні матеріали інженерно-геологічної режимної служби (екзогенні геологічні процеси). Сімферополь, 2005.
- Медведєв В. В. *Физическая деградация черноземов. Диагностика, причины, следствия, предупреждения*. мон. Харьков: Изд-во Городская типография, 2013. 324 с.
- Муратова М. Інформаційний звіт з моніторингу, обліку поширення та активізації екзогенних геологічних процесів в межах території Харківської та Сумської областей за 2019 рік. Х., 2020.
- Пилипенко О. І., Юхновський В. Ю., Ведмідь М. М. *Системи захисту ґрунтів від ерозії*: підруч. К.: Культурно-освітній, видавничо-поліграфічний центр “Златояр”. 2004. 435 с.
- Рудько Г. Наукові та методичні основи моніторингу геологічного середовища (інженерно-геодинамічні аспекти). Шляхи вивчення взаємопов’язаних проблем природного середовища. Львів, 1995.
- Barthelmes, S. & Köhler, W. (2012). International Centre for Global Earth Models (ICGEM). *Journal of Geodesy. The Geodesists Handbook*, 86(10), 932–934.
- Bektaş, S. (2015). Geodetic computations on triaxial ellipsoid. *International Journal of Mining Science*, 1(1), 25–34.
- Close, D. (2010). Isostasy and gravity modelling: Integrating potential field data in interpretation workflows. *Official Publication of the Canadians Society of Exploration Geophysicists (CSEG RECORDER)*, 35(6).
- Register, Y. & Valette, B. (2009). Influence of liquid core dynamics on rotational modes. *Geophysical Journal International*, 176(2), 368–388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03996.x>
- Tserklevych A. L., Zayats O. S., Shylo Y. O. Dynamics of the Earth shape transformation. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 2017, Vol. 33, No. 3. P. 130–141 (Scopus). <https://doi.org/10.3103/S0884591317030060>
- Tserklevych A. L., Zayats O. S., Shylo Y. O., Shylo O. M. Generation of the stressed state of the lithosphere of the Earth and Mars caused by the reorientation of their figures. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 2018, Vol. 34, No. 1, pp. 19–36 (Scopus). <https://doi.org/10.3103/S0884591318010051>.

Ludmila KAZACHENKO<sup>1</sup>, Vladyslav KAZACHENKO<sup>2</sup>, Tetyana ZHIDKOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kharkiv National Automobile and Road University, 25, Yaroslava Mudroho Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-7188-2790>, e-mail: fop.kazachenko@gmail.com, tel. +38 (067)-309-709-3.

<sup>2</sup> Kharkiv National University of Municipal Economy, 17, Marshal Bazhanov Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, e-mail: kaza4enko.vlad@gmail.com, tel. +38 (095)-866-30-85

<sup>3</sup> Kharkiv National University of Municipal Economy, 17, Marshal Bazhanov Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, e-mail: tavlz@ukr.net, id orcid 0000-0001-7903-7073, tel. +38 (067)-570-41-50

#### GIS TECHNOLOGIES AND 3-D SIMULATION IN MAPPING THE MANIFESTATION OF EXOGENIC PROCESSES IN RENEWABLE TERRITORIES

The development of exogenous processes on the Earth's surface is a large-scale problem. Due to the development of exogenous processes, there are changes in the composition and structure of the earth's crust and its surface. The destruction of streets, houses and public buildings, roads and railways leads to enormous losses. To predict the development of soil degradation, erosion processes on agricultural lands, which lose annual production areas, leads to the formation of a ravine-beam system and reduces the productive amount of land owned by citizens – is a solution. The use of GIS technologies, remote sensing of the Earth and modern programming can partially solve the problem, as it is a rapid identification of areas that have undergone the process of soil degradation and possible prediction of the development of negative phenomena. The use of geodetic software, GIS, information layers of the Public cadastral map can help in the fastest finding of territories, development of the forecast of the further destructive action, development of the corresponding protective methods and their introduction. Our study was areas with manifestations of exogenous processes - soil degradation in agricultural enterprises, where every year the area of highly fertile chernozems is lost, which leads to large losses and landslides in the forest-steppe and steppe settlements of Kharkiv region. We investigated destructive processes by geodetic measurements in the territories of their manifestations; observations were carried out for 8 years. The development of exogenous processes on the Earth's surface was revealed, which was manifested in landslides in the settlements of the forest-steppe zone and degradation of agricultural lands in the steppe and forest-steppe part of Kharkiv region. The cause of the destruction of the earth's surface were factors independent of human activity. We built 3-D models of development of exogenous processes manifested in soil erosion and growth of the ravine-beam system and determined the degree of erosion after surveying and processing the results of geodetic measurements in the software Digital. For 8 years, we made changes to the software, surveying the area and building a monitoring line. Also in the settlements on the territory of the two zones, we observed the development of landslides on the streets of the village. Milova and s. Nova Vasylivka, where there is an intensive development of exogenous processes. The use of GIS technologies and remote sensing of the Earth to monitor the development of exogenous processes simplifies the solution.

**Key words:** GIS technologies, remote sensing, regenerated areas, soil degradation, exogenous and endogenous processes, spatial data, destruction.

Надійшла 20.10.2021 р.