

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗСУВІВ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ РИЗИКАМ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Д. Булишева, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0003-2907-9413

І. Леонідова, к. географ. н.

ORCID ID: 0000-0003-2872-6308

О. Малащук, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0002-7720-6475

О. Варфоломєєва, ст. викладач

ORCID ID: 0000-0002-2294-4518

О. Панасюк, ст. викладач

ORCID ID: 0000-0002-6919-0557

Одеський державний аграрний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2022.23.138>

Булишева Д., Леонідова І., Малащук О., Варфоломєєва О., Панасюк О. Забезпечення геодезичного моніторингу зсувів для запобігання ризикам надзвичайних ситуацій

Дослідження спрямоване на обґрунтування необхідності проведення геодезичного моніторингу зсувних процесів та діагностику методики проведення високоточних спостережень і виявлення зони зсуву з наданням пропозицій щодо особливостей і умов подальших спостережень за прибережною смугою Чорноморського узбережжя для запобігання ризикам надзвичайних ситуацій.

У процесі дослідження визначено особливості та надано характеристику території прибережної смуги Чорного моря в Одеській області. Виявлено, що ця територія характеризується високою складністю інженерно-геологічних умов та вздовж морського узбережжя сформувалася зсувна зона шириною 100–200 м. Визначено небезпеки зсувних процесів на відповідних територіях з урахуванням кліматичних змін та особливостей місцевості.

Для проведення геодезичного моніторингу за зсувними процесами було закладено 33 геодезичні ґрунтові репери та 53 репери на берегоукріплювальній споруді. Координати реперів визначались за допомогою сучасного геодезичного ГНСС-обладнання. Для обробки спостережень використовувалось програмне забезпечення Bernese GNSS Software. Використані методика та система спостережень зсувного схилу забезпечили отримання достовірної і досить повної інформації для підготовки обґрунтованого висновку про поточний стан зсуву, характер і напрям його руху, а також прогнозу його стану на найближчий період. Проведено аналіз геодезичного моніторингу ефективності протизсувних заходів щодо захисту схилу, запобігання екологічним ризикам. За результатами моніторингу визначено параметри зміщень ґрунтових реперів та геодезичних реперів на ростверку берегоукріплювальної споруди схилу в просторі і в часі.

Максимальне відхилення за період спостережень за ґрунтовими геодезичними реперами становило 16,52 м, максимальне відхилення на берегоукріплювальній споруді – 1,02 м. Відповідні дані необхідні для забезпечення напряму подальших робіт щодо запобігання зсувним процесам та ризикам.

Ключові слова: ГНСС-спостереження, зсуви, геодезичний моніторинг, прибережна смуга Чорного моря, надзвичайні ситуації.

Bulysheva D., Leonidova I., Malashchuk O., Varfolomeieva O., Panasiuk O. Ensuring geodetic monitoring of landslides to prevent emergency risks

The research is aimed at substantiating the need for geodetic monitoring of landslides and diagnosing methods of high-precision observations and identifying landslides, and giving proposals about the features and conditions of the further observations along the Black Sea coast to prevent emergency risks.

In the course of the research, the characteristics of the territory of the Black Sea coastal strip in Odesa region were determined and described. It was found that this territory is characterized by high complexity of engineering and geological conditions and a landslide zone 100-200 m wide was formed along the sea coast. The dangers of landslides in the relevant areas have been identified with consideration of climate change and local features.

To carry out geodetic monitoring of landslide processes, 33 geodetic ground rappers and 53 rappers were laid on the shore fortification structure. The coordinates of the rappers were determined using modern geodetic GNSS equipment. The Bernese GNSS Software was used to process the observations. The used methodology and system of landslide slope

observations provided reliable and sufficiently complete information for the preparation of a reasonable conclusion about the current state of the landslide, the nature and direction of its movement, as well as the forecast of its conditions for the near future. The analysis of geodetic monitoring of the effectiveness of anti-landslide measures to protect the slope of environmental risk prevention was made. According to the results of the monitoring, the parameters of displacements of soil benchmarks and geodetic landmarks on the grid of the shore protection structure of the slope in space and time were determined. The maximum deviation during the observation period for geodetic ground rappers was 16.52 m, the maximum deviation on the shore fortification structure was 1.02 m. The relevant data is used to ensure the direction of further work on preventing landslides and risks.

Key words: GNSS observations, landslides, geodetic monitoring, Black Sea coastal strip, emergencies.

Постановка проблеми. Територія України характеризується значною кількістю потенційно небезпечних промислових об'єктів і ділянок з активними геодинамічними процесами. Напруженість і кризи можуть впливати на добробут та безпеку населення. Щоб уникнути цього – рішення є очевидним: профілактика завжди краща, ніж лікування. Тому ретельний контроль за розвитком геодинамічних процесів на техногенно навантажених територіях та їх прогноз, а також застосування заходів інженерного захисту є вкрай актуальними на відповідних територіях.

Однак переорієнтація з дій «у відповідь» на сукупність дій «щодо запобігання» і готовності протистояти надзвичайним ситуаціям та відновлювати нормальний стан навколишнього середовища є завданням, яке охоплює різні екологічні заходи, комплекси технічних заходів на різних рівнях державного управління. Така переорієнтація є зростаючою тенденцією в галузі управління ризиком виникнення природних лих, що поширюється на всі державні інститути, приватний сектор і громадянське суспільство. Застосування комплексного підходу до управління ризиками, зокрема ризиком виникнення природних лих, узгоджується із загальною програмою забезпечення захисту та безпеки довкілля не лише через загрозу життю людей та їх життєдіяльності, економічних втрат або катастрофічних наслідків для критично важливої інфраструктури, а й тому, що механізми співпраці у зниженні ризиків природних катастроф можуть сприяти чіткому розподілу відповідальності між управлінськими структурами, спільнотами та людьми, що належать до потенційної групи ризику. Комплексний підхід до управління ризиком виникнення природних лих повинен ґрунтуватися на перманентних дослідженнях джерела формування відповідного ризику надзвичайних ситуацій. Незважаючи на те, що вони відбуваються у всіх частинах світу, деякі регіони є більш уразливими для певних надзвичайних ситуацій порівняно з іншими регіонами. Небезпечні природні явища стають лихами у випадках, коли гинуть люди й

руйнуються засоби для існування.

Надзвичайні ситуації бувають:

- природного характеру (землетруси, лавини, повені);
- техногенного характеру (пожежі, аварії, викиди забруднювальних речовин);
- соціального характеру (збройні напади, нещасні випадки);
- воєнного характеру [4].

Зсуви – це геологічна локальна надзвичайна ситуація природного характеру. Зсувом називається ковзання зміщення гірських порід, що утворюють схил, унаслідок механічного руйнування або перебіг порід схилу та його основи без втрати контакту між рухомою та нерухомою частинами масиву.

У будові зсувів розрізняють такі основні елементи: стінка відриву зсуву, поверхня ковзання, підосва зсуву, або базис, зсувний цирк, зсувне тіло і зсувні накопичення.

Причини утворення зсувів можна звести до трьох груп:

- зміна форми та висоти схилу;
- зміна будови, стану та властивостей порід, що утворюють схил;
- додатковий тиск на схил [7].

Особливого ризику зазнають пагорби або гори, рослинний покрив на яких відсутній чи деградує. Швидкість таких потоків може перевищувати 50 км/год, і вони можуть повністю поховати, зруйнувати чи знести людей, об'єкти та будинки.

Негативними наслідками від розвитку зсувних процесів є:

- небезпека під час експлуатації інженерних і технічних споруд на території зсувних процесів;
- зниження безпеки експлуатації та стійкості нерухомості;
- підвищення витрат на утримання територій у безпечному стані;
- порушення цілісності інженерної та транспортної інфраструктури;
- підвищення рівня небезпеки для проживання людей.

Зниження ризику відповідного процесу є ключовим компонентом адаптації до зміни клімату. Воно також забезпечує ефективний взаємозв'язок із завданнями людського розвитку, сприяючи збереженню біорозмаїття та сталому використанню природних ресурсів. Такі лиха, як зсуви, спричинені антропогенним впливом людини на природу, нагадують нам про те, що наша безпека величезною мірою залежить від того, наскільки дбайливо ми ставитимемося до навколишнього середовища. Збереження біорозмаїття, луків, лісів, прибережних територій, а також постійні спостереження за небезпечними процесами є важливим елементом захисту жителів територій від впливу посухи, опустелювання, зсувів, повеней, підйому рівня моря і ураганів, тобто від усіх загроз, які, за прогнозами фахівців, повинні посилитися у зв'язку зі зміною клімату [15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Зсуви – п'ять із десяти світових катастроф за кількісним показником після потопів, бур, землетрусів та екстремальних температур [16]. Зсуви значно поширені на території України, що зумовлено геологічною будовою та геоморфологічними умовами, наявністю деформуючих горизонтів тощо. Зсуви домінують серед екзогенних геологічних процесів унаслідок значного поширення майже у всіх адміністративних областях, насамперед на територіях інтенсивного господарського освоєння. Найбільшої шкоди розвиток та активізація зсувів завдають міським територіям зі щільною забудовою та значною кількістю населення. За даними моніторингу екзогенних геологічних процесів, зафіксовано майже 23 тисячі зсувів, кількість яких може змінюватися внаслідок ліквідації, злиття окремих близько розташованих зсувів чи утворення нових. Загальна площа зсувів становить 2148,17 км². У 2020 р. кількість зсувів збільшилася на дев'ять новоутворених проявів. І саме Одеська область є лідером за кількістю зсувів серед регіонів (5836) [2].

Основним засобом для запобігання зсувним процесам та оперативного реагування на них є комплексні спостереження за станом небезпечних територій, основу яких становить геодезичний моніторинг. Зі стрімким розвитком інноваційних технологій, підвищенням їх точності і вдосконаленням наявних підходів до методів виконання спостережень та опрацювання їх результатів відповідні дослідження стають дедалі простішими. Завжди актуальні питання прогнозування стану земної поверхні та споруд на основі геодезичних

вимірів. Геодезичний моніторинг, своєю чергою, є однією з найточніших складових загальної системи моніторингу.

Вивченню теоретико-методичних і прикладних питань забезпечення геодезичного моніторингу і впровадженню інноваційних технологій присвятили свої дослідження зарубіжні й українські вчені: К. О. Буряк, П. Й. Брайт, М. Г. Відуєв, С. П. Войтенко, В. М. Ганьшин, Ю. П. Гуляєв, К. Р. Третяк [5], В. Я. Лобазов, А. Ю. І. Маркузе, О. І. Мороз, В. Є. Новак, А. Л. Островський, П. Г. Черняга, В. W. Parkinson, J. J. Spilker [10], G. Roberts, C. Brown [9; 11].

Постановка завдання. Наше завдання – обґрунтування необхідності проведення геодезичного моніторингу зсувних процесів і діагностика методики проведення високоточних спостережень та виявлення зони зсуву з наданням пропозицій щодо особливостей і умов подальших спостережень за прибережною смугою Чорноморського узбережжя для запобігання ризикам надзвичайних ситуацій.

Виклад основного матеріалу. Досліджувана територія геоструктурно розташована в межах платформного схилу Причорноморської западини. Береги належать до типу вирівняних, складних. Майже на всьому березі проявляються ознаки активної абразії, розмиву акумулятивних форм і загального відступу берега. Геотектонічно розглянута територія розташована на північно-західному крилі Причорноморської западини, яка неодноразово випробувала і відчуває спадні тектонічні рухи, наслідком чого є опускання її поверхні під рівень моря і накопичення потужної товщі осадових відкладень. Згідно з даними Державного науково-виробничого підприємства «Державний інформаційний геологічний фонд України» та за схемою інженерно-геологічного районування України [1], досліджувана територія характеризується високою складністю інженерно-геологічних умов освоєння. Це зумовлено комплексом сучасних фізико-геологічних процесів, розвинених на цій території і, своєю чергою, істотно обмежує можливості містобудівного освоєння території. Спостерігається загальний ухил поверхні до моря. Переважаючі ухили поверхні 2–4 %, місцями трапляються ділянки з ухилами понад 20 %, що сприяє розвитку зсувних процесів у прибережній смузі.

Отже, на території міста і прилеглих площах активно розвинені зсуви, підтоплення, абразія та обвалення берегів, ерозія. Крім того, територія є

районом потенційного розвитку карсту й можливої його активації під впливом будівництва великих народногосподарських об'єктів, районом підвищеної сейсмічності (7–8 балів), просідаючих ґрунтів.

Уздовж морського узбережжя сформувалася зсувна зона шириною 100–200 м. Для берегової смуги характерні зсувні тераси, обвали, мала ширина пляжних накопичень, що часто перериваються. Це свідчить про нестійкість берегової смуги. Розмив берегової лінії на окремих ділянках відбувається з різною інтенсивністю, що залежить від твердості гірських порід, які утворюють берег, висоти берега, активності дії ґрунтових вод. Чорноморський берег на відповідній ділянці щорічно відступає приблизно на 1 м/рік. Щороку район «відчуває» занурення на 5,4 мм. На більшій частині прибережної смуги, біля основи схилу, створена штучна тераса з хвилевідбійної стінки із причалами. На окремих ділянках зберігся природний береговий обрив і пляж. Інтенсивність процесів схилоутворення на морському узбережжі посилюється неврахованим відбором морських пісків у пригірловій зоні Чорного моря на відстані близько 1 км від берега. Це призводить до суттєвих порушень динаміки геологічних процесів у підводній і надводній частинах схилу. Безсумнівно, наслідки цієї нераціональної діяльності ще роками відобразатимуться на низці ділянок. Окрім того, судноплавні канали створюють умови нестійкості прилеглих до них ділянок як морських берегів, так і інших територій. Істотний внесок в активізацію процесів зсувоутворення роблять днопоглиблювальні роботи, безсистемні земляні роботи в приривочній частині плато і на зсувному схилі під час будівництва різних об'єктів. Глобально збільшують зсувоутворення сучасні вертикальні рухи земної кори – опускання території зі швидкістю 0–2 мм/рік.

Зсувні процеси спостерігаються не тільки на українській частині Причорноморського басейну. Так, за даними досліджень, приблизно 33 % регіону мають високу або дуже високу схильність до зсувів. Райони з найбільш високою чи дуже високою вразливістю розташовані у західних та центральних регіонах Чорного моря [14].

Геодезичні спостереження дають змогу отримати геометричні параметри зсувів. Основна вимога до них – обґрунтована точність, а це вимагає в кожному випадку індивідуального підходу як до вибору методики геодезичних спостережень, які є основними джерелами інформації про хід

зсувного процесу, так і до технології їх виконання [17].

Геодезичний моніторинг є однією з найважливіших складових загальної системи моніторингу за будь-якими явищами та процесами, що відбуваються на поверхні землі, у підземному та навколосемному просторі. Сучасний геодезичний моніторинг оперує величезними обсягами даних, що надходять від різних вимірювальних засобів (ГНСС, електронні тахеометри, датчики нахилу тощо). Перевага геодезичного моніторингу полягає в можливості отримання абсолютних значень зсувів. Основними з цих методів є: триангуляція, трилатерація, геодезичні засічки (прямі, зворотні, бічні та дистанційно-кутові), полігонометрія, супутникові визначення, метод створів, лазерне сканування, стереофотограмметрія, геометричне та тригонометричне нівелювання. Водночас перші чотири методи можуть застосовуватися як самостійно, так і в різних поєднаннях. Методи геометричного та тригонометричного нівелювання завжди супроводжують окреслені вище методи та доповнюють один одного.

Основною метою систематичних геодезичних спостережень (моніторингу) на зсувних схилах є отримання максимально повної та достовірної інформації про кінематичні характеристики розвитку зсувів як за площею схилу, так і в часі. Визначення та аналіз зсувів дає змогу виявити причини виникнення і ступінь небезпеки деформацій для нормальної експлуатації об'єкта, вчасно вжити заходів, необхідних для усунення небезпеки, уточнити розрахункові дані за фізико-механічними властивостями ґрунтів і граничними деформаціями. Деформації мають складний механізм виникнення і протікання, тому підлягають ретельному вивченню та аналізу [8].

Геодезичні спостереження за схиловими процесами при інженерно-геодезичних вишукуваннях проводяться для встановлення меж ділянок розвитку цих процесів, оцінки й прогнозу кількісних характеристик (величин і швидкостей розвитку деформацій схилів), розробки проти-зсувних, протиобвальних та інших заходів і оцінки їх ефективності в експлуатації будівель і споруд. Спостереження за переміщеннями схилу охоплюють визначення із заданою періодичністю вертикальних і горизонтальних зсувів точок на поверхні і в глибині схилу, а також змін розкриття тріщин, виявлених при зсувній зйомці, і нахилу окремих ділянок.

Зсуви, як інші різновиди деформації схилових територій, слід уважно оцінювати і

спрогнозувати їх вплив на суміжні території. Ці спостереження виконують з використанням геодезичних методів. Залежно від виду, активності, простоти й оперативності, ці методи належать до таких чотирьох груп:

- осьові, коли осі зафіксовані в трьох точках, вони починаються на основі відносин з указаною лінією або осями;

- планові, якщо зміщення підпунктів спостерігається за двома координатами в горизонтальній області;

- висотні, використовують для позначення тільки вертикальних зміщень;

- просторові, якщо відомо більше точок у просторі завдяки трьом координатам [12].

Фототопографічне знімання, лазерне сканування і супутникові приймачі використовують для визначення просторового зміщення точок зсуву. Електронні тахеометри використовують в областях з обмеженою видимістю супутників, де

не можна використовувати пристрої GPS та інших систем позиціонування. Зсув точок спостереження розраховується щодо контрольних позначок за межами зони зсуву. Кількість символів, включаючи «зсувні», визначається для забезпечення схеми вимірювання якості і визначення всіх характеристик процесу [17].

У процесі дослідження, перед початком виконання топографо-геодезичних робіт, у територіальній геодезичній службі отримано каталоги координат пунктів полігонометрії та кроки до пунктів. Найближчими задовільними пунктами близько до об'єкта дослідження визначено чотири пункти полігонометрії (табл. 1). Ураховуючи, що методом визначення координат реперів на об'єкті дослідження обрано метод із використанням ГНСС-технологій і в ньому є необхідність отримувати координати в місцевій системі координат, створено трансформаційне поле з використанням конформного перетворення Гельмерта.

Таблиця 1

Каталог координат вихідних пунктів місцевої полігонометрії

Ідентифікатор пункту	Координати пунктів локалізованої системи координат		
	X, м	Y, м	H, м
ПП Олександрівка	-18575,557	-8721,544	46,85
ПП 59	-18282,124	-8457,780	38,309
ПП 46	-17838,814	-7286,642	37,666
ПП 37	-19860,334	-6895,754	35,751

Під час виконання робіт використано сучасне геодезичне ГНСС-обладнання для відстеження динамічних об'єктів. Найбільша точність досягається у використанні RTK-поправок саме з наземних базових станцій. Саме така мережа System.NET діє з 2011 р. в Україні [13].

Для досягнення максимальної точності вимірювань було прийнято рішення встановити постійно діючу станцію мережі «System.NET» (яка надає послуги RTK-корекції на території України) безпосередньо в районі робіт, на відстані не більше ніж 1 км від об'єкта дослідження. Постійно діюча супутникова базова станція є програмно-апаратним комплексом, призначеним для проведення вимірювань і визначення просторового розташування об'єктів шляхом надання інформації для корекції даних, отриманих за допомогою супутникових навігаційно-знімальних приймачів, зокрема супутникових, комунікаційних. Вона включає комп'ютерне та інше обладнання, спеціалізоване програмне забезпечення, встановлене в області вимірювання і

локації, частково закріплене в просторі на постійній основі, і працює безперервно.

Принцип роботи системи GPS ГНСС-станції ґрунтується на визначенні просторових координат станції методом безперервних спостережень з використанням технології GPS-сигналів. На відміну від класичних способів моніторингу, заснованих на оптичних вимірюваннях й одноразовій прив'язці тахеометричних автоматизованих станцій до місцевої системи координат із визначення відносних координат, GPS ГНСС-система має істотну перевагу, адже саме вона визначає абсолютні координати вимірювальної станції з точністю до ± 1 мм в цілодобовому режимі спостережень.

Для обробки щоденних спостережень використовувалася програмно-технологічний комплекс програмного забезпечення та технології Bernese GNSS Software, розроблений Астрономічним інститутом Університету Берна, Швейцарія [6].

Цей комплекс дає змогу обробляти як кодові, так і фазові спостереження ГНСС-

супутників на пунктах локального, регіонального і глобального масштабів. У результаті обробки можна отримати з високою точністю координати станцій, параметри орбіт супутників, поправки до годинників на супутниках і на приймачах, тропосферну рефракцію тощо. Програмний комплекс використовується приблизно 400 установами для широкого спектра задач.

Такий програмний комплекс підходить для:

- швидкої обробки невеликих інтервалів спостережень;
- автоматичної обробки постійно діючих мереж;
- обробки даних із великої кількості приймачів;
- обробки даних вимірювань з різних типів приймачів з використанням моделей фазових центрів комбінацій «антена–купол»;
- комбінування GPS- та GPS+ГЛОНАСС-спостережень в обробці;
- фіксування невизначеностей на довгих базах;
- різних методик задання системи координат;
- іоносферного та тропосферного моніторингу;
- визначення похибок годинників ГНСС-супутників;
- визначення орбіт ГНСС-супутників і параметрів обертання Землі тощо [3].

Добові координати станції були отримані в результаті обробки GPS-спостережень за вересень 2017 – грудень 2019 рр.

Опрацювання виконувалося в два етапи. На першому добові розв'язки формувалися за допомогою програмного комплексу Bernese GNSS Software. Головним продуктом Bernese GNSS Software був вільний розв'язок баз у вигляді текстового SINEX-формату, який містить параметри оцінки векторів-баз і повну коваріаційну матрицю з координатами всіх пунктів за добу. На другому етапі добові розв'язки далі скеровувалися у програмний комплекс GLOBK для комбінування даних з метою визначення координат станцій та побудови графіків їх повторюваності (часових рядів), а також зв'язку з локальними системами координат [12]. З огляду на аналіз отриманих результатів, можна стверджувати, що станція має стабільне положення в часі, зафіксовані певні сезонні коливання в межах ± 3 мм у плановому положенні та ± 5 мм за висотою, що зумовлені зміною температурного режиму пункту спостережень. Опрацьовані та усереднені координати станції в місцевій системі координат та Бал-

тійській системі висот (БСВ77) ($X = -21008.3984$; $Y = -6269.0456$; $H = 78.5670$) використовували далі під час дослідження зсувних процесів.

Для проведення безпосередніх спостережень необхідно було закласти реperi на території об'єкта дослідження (рис. 1), а також на берегоукріплювальній споруді, що була розбудована в процесі виконання дослідження.

Грунтові геодезичні реperi спостерігалися ГНСС-приймачем Leica GS08 у статичному режимі протягом 60 хвилин. Застосовані методи GNNS-вимірювань дозволили отримати високу точність результатів вимірювань.

Проаналізувавши результати зйомки за жовтень, встановили, що 9 реперів (P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13) були зміщені в результаті зсуву в південно-східному векторі. Мінімальне відхилення за місяць становило 0,05 м (P10), максимальне відхилення – 0,62 м (P13). Репери P1, P2, P3, P4, P14 зміщені не були. Оскільки більшість крайніх ґрунтових реперів продемонстрували зсув, то для визначення чіткої межі площі зсуву та розширення території спостереження було прийнято рішення додатково встановити ще 11 ґрунтових реперів, які було закладено в грудні 2017 р. та виконано їх перше спостереження. Друге спостереження виконане у січні 2018 р. Проаналізувавши результати зйомок за січень, встановили, що 11 реперів (P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P15, P17) були зміщені в результаті зсуву в південно-східному векторі. Мінімальне відхилення за місяць становило 0,023 м (P15), максимальне відхилення – 0,120 м (P5). Репери P1, P2, P3, P4, P14, P16, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24 зміщені не були. У жовтні 2018 р. було додатково встановлено 5 ґрунтових реперів. Їх перше спостереження було виконане в листопаді 2018 р. Проаналізувавши результати зйомок за листопад, установили, що 10 реперів (P5, P6, P7, P8, P9, P12, P13, P18, P19, P11/1) були зміщені в результаті зсуву в південно-східному векторі. Мінімальне відхилення за місяць становило 0,01 м (P19), максимальне – 0,16 м (P13). Репери P1, P2, P3, P4, P14, P16, P15, P17, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P10/1 зміщені не були. Також за реперами P5, P6, P13 визначено зону сильного зсуву. У червні 2019 р. додатково встановлено 3 ґрунтові реperi. Проаналізувавши результати зйомок за липень, установили, що 9 реперів (P5, P6, P9, P12, P13, P24, P32, P33) зміщені в результаті зсуву в південно-східному векторі. Мінімальне відхилення за місяць становило 0,02 м (P9, P12, P24, P32), максимальне – 0,68 м (P5). Інші реperi

зміщені не були. Проаналізувавши результати зйомок ґрунтових реперів із грудня 2019 до квітня 2020 рр., встановили, що 9 реперів (P5, P6, P9, P11/1, P12, P13, P17, P18, P33) зміщені в результаті зсуву в південно-східному векторі.

Мінімальне відхилення за період спостереження становило 0,04 м (P11/1), максимальне – 6,43 м (P5). Максимальне відхилення за період спостережень із вересня 2017 до квітня 2020 рр. виявлено на P5 – 16,52 м.

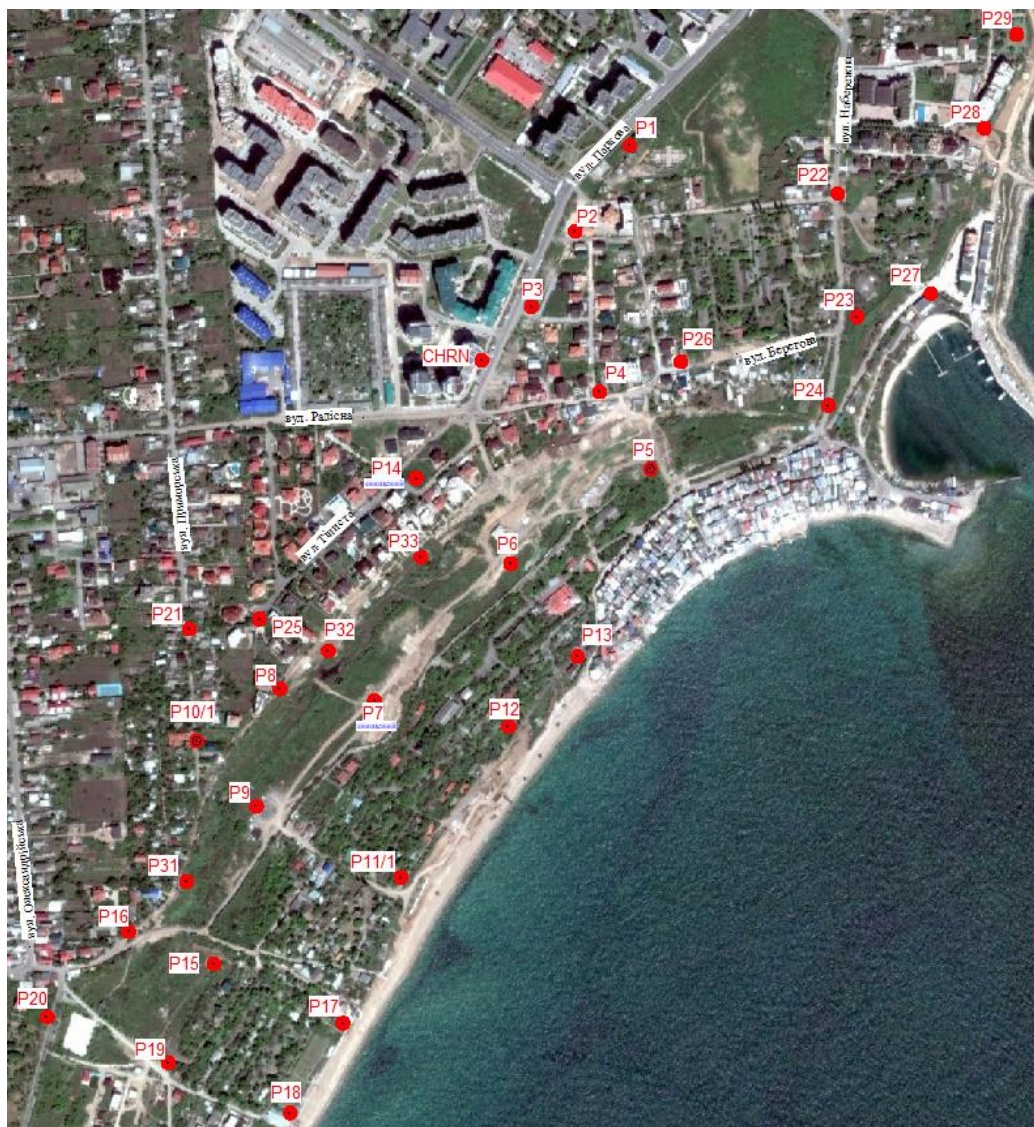


Рис. 1. Схема закладених наземних ґрунтових реперів

Графічне відображення зміщення реперів за період із вересня 2017 до квітня 2020 рр. наведено на рис. 2.

Для берегоукріплення прибережної смуги території та зупинення зсувних процесів адміністрація міста ухвалила рішення про необхідність будівництва берегоукріплювальної споруди у прибережній зоні. Всього на ній було закладено 53 геодезичні репери. Одночасно зі спостереженням за ґрунтовими реперами проводилось також спостереження за встановленими геодезичними реперами на берегоукріплювальній споруді.

Роботи зі спостереження за встановленими геодезичними реперами на берегоукріплювальній споруді розпочаті з будівництвом цієї споруди, а саме – з лютого 2017 р., та виконувались 1 раз на місяць. Геодезичні репери на берегоукріплювальній споруді спостерігалися електронним тахеометром Trimble M3, з пари реперів, координати яких визначалися ГНСС-приймачем Leica GS08 у статичному режимі впродовж 60 хвилин щомісячно, перед кожним спостереженням тахеометром.

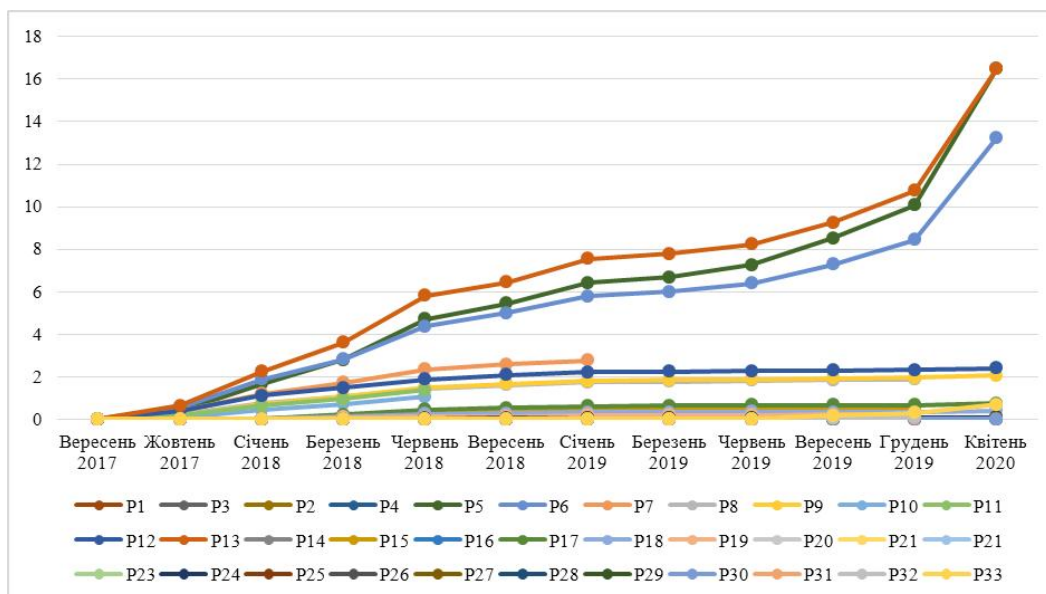


Рис. 2. Абсолютне зміщення ґрунтових реперів з урахуванням їх часткового знищення

Установлення геодезичних реперів на ростверку берегоукріплювальної споруди та спостереження за ними виконувалось поступово, одночасно з будівництвом споруди. Перші два реperi були закладені в січні 2017 р., тоді ж було виконане їх спостереження. Згодом, у лютому 2017 р., закладено ще 6 реперів і виконано спостереження. Ще 4 реperi закладено у квітні 2017 р. У квітні на берегоукріплювальній споруді визначено координати геодезичних реперів R1–R16. Порівнявши дані зйомок, встановили, що реperi були зміщені в південно-східному векторі. Репер R2 був зміщений на 3 см, репер R16 – на 2 см, усі інші реperi – на 1 см. У травні 2017 р. на берегоукріплювальній споруді встановлено ще 4 геодезичні реperi, спостереження яких було виконане на початку червня 2017 р., та закладено 4 реperi у червні 2017 р., 4 реperi – на початку липня 2017 р., 4 реperi – у кінці липня 2017 р., спостереження яких виконувалось щомісячно. У серпні на берегоукріплювальній споруді визначено координати геодезичних реперів R1–R32. Порівнявши дані зйомок, установили, що реperi були зміщені в південно-східному векторі. Максимальне відхилення продемонстрував репер R10. Він був зміщений на 3 см. Інші реperi були зміщені на 1 та 2 см. У жовтні 2017 р. на берегоукріплювальній споруді встановлено 8 геодезичних реперів, спостереження яких було виконане того ж місяця. Також за період спостережень геодезичних реперів на берегоукріплювальній споруді з вересня 2017 до жовтня 2017 рр. зафіксовано аномальне зміщення реперів, яке не спостерігалось раніше. У жовтні на

новому пальному ряді визначено координати реперів R1–R32. Порівнявши дані зйомок за останній період, встановили, що реperi були зміщені в південно-східному векторі. Мінімальне відхилення становило 0,09 м (R12, R13, R16-1), максимальне відхилення – 0,16 м (R6-1, R31, R32). У кінці листопада 2017 р. на берегоукріплювальній споруді встановлено 4 геодезичні реperi, спостереження яких було виконане в грудні 2017 р. Також установлено 4 геодезичні реperi у березні 2018 р. та останні 5 реперів у квітні 2018 р. У жовтні на берегоукріплювальній споруді визначено координати реперів R1–R53. Порівнявши дані зйомок, установили, що реperi були зміщені в південно-східному векторі. Мінімальне відхилення зрізу становило 0,01 м (R45, R46, R49, R51, R52, R53), максимальне – 0,07 м (R29). У наступних щомісячних спостереженнях протягом 2018 р. зафіксовані коливання відхилень на геодезичних реперах берегоукріплювальної споруди в межах 3–5 см з урахуванням вектора зсуву. Ці коливання зменшилися на початку 2019 р. У лютому на берегоукріплювальній споруді визначено координати всіх реперів. Порівнявши дані зйомок за останній період, установили, що реperi були зміщені в південно-східному векторі. Максимальне відхилення реперів становило 0,01 м (табл. 2), інші реperi зміщені не були.

Усі наступні щомісячні спостереження реперів на берегоукріплювальній споруді протягом 2019 р. продемонстрували відхилення до 1 см. У зв'язку з цим після останнього спостереження 10.12.2019 р. прийнято рішення тимчасово

зупинити спостереження геодезичних реперів на берегоукріплювальній споруді до початку 2021 р. Наступне спостереження було виконане в січні 2021 р. і виявлено зсув на всіх реперах. Максимальне відхилення за період спостережень з

вересня 2017 до квітня 2021 рр. виявлено на R37 – 1,02 м, мінімальне – з 01.11.2018 р. до 10.04.2021 р. на репері R1-1– 0,11 м.

За весь період спостережень 15 реперів знищено.

Таблиця 2

**Динаміка щоквартального зміщення реперів
за вересень 2017 – січень 2021 рр. у порядку зменшення показника зміщення**

Назва репера	Лютий 2017	Квітень 2017	Червень 2017	Вересень 2017	Січень 2018	Березень 2018	Червень 2018	Вересень 2018	Січень 2019	Березень 2019	Червень 2019	Вересень 2019	Грудень 2019	Січень 2021
R37					0,25	0,38	0,57	0,68	0,84	0,87	0,90	0,91	0,94	1,02
R36					0,25	0,37	0,57	0,68	0,83	0,85	0,89	0,91	0,93	1,01
R40					0,30	0,41	0,55	0,64	0,80	0,82	0,86	0,87	0,90	0,98
R8	0,00	0,02	0,04	0,06	0,37	0,52	0,64	0,70	0,80	0,83	0,85	0,88	0,89	0,94
R9	0,00	0,02	0,03	0,05	0,36	0,51	0,63	0,69	0,79	0,82	0,84	0,87	0,88	0,93
R29				0,06	0,31	0,37	0,56	0,65	0,77	0,80	0,82	0,84	0,86	0,92
R24				0,04	0,30	0,41	0,58	0,66	0,76	0,80	0,81	0,84	0,85	0,91
R28				0,04	0,29	0,36	0,55	0,64	0,76	0,79	0,80	0,82	0,84	0,91
R25				0,04	0,29	0,39	0,56	0,64	0,75	0,78	0,79	0,81	0,83	0,90
R20				0,03	0,29	0,39	0,56	0,63	0,74	0,76	0,79	0,80	0,82	0,89
R21				0,02	0,28	0,39	0,54	0,62	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,88
R12	0,00	0,03	0,06	0,07	0,31	0,43	0,57	0,63	0,73	0,75	0,77	0,80	0,81	0,87
R13			0,02	0,05	0,28	0,40	0,54	0,60	0,69	0,72	0,74	0,76	0,78	0,83
R16				0,03	0,26	0,38	0,51	0,58	0,68	0,71	0,72	0,75	0,77	0,83
R17				0,02	0,25	0,36	0,50	0,52	0,57	0,62	0,69	0,76	0,76	0,82
R41					0,03	0,10	0,22	0,31	0,44	0,46	0,49	0,50	0,53	0,60
R44					0,02	0,04	0,09	0,12	0,22	0,24	0,27	0,27	0,29	0,35
R45							0,04	0,08	0,17	0,18	0,21	0,21	0,23	0,29
R5	0,00	0,02	0,04	0,08	0,46	0,61	0,71	0,47	0,07	0,09	0,11	0,14	0,14	0,20
R4	0,00	0,02	0,04	0,08	0,45	0,60	0,73	0,52	0,06	0,09	0,10	0,12	0,14	0,18
R52							0,02	0,04	0,05	0,06	0,09	0,09	0,09	0,16
R53							0,01	0,03	0,05	0,06	0,09	0,09	0,10	0,16
R3	0,00	0,02	0,04	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,15
R49							0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,14
R1	0,02	0,04	0,04	0,11	0,48	0,61	0,60	0,30	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у зазначеному напрямку. Використані методика та система спостережень зсувного схилу забезпечили отримання достовірної і доволі повної інформації для підготовки обґрунтованого висновку про поточний стан

зсуву, характер і напрямок його руху, а також прогнозу його стану на найближчий період. У процесі дослідження визначено особливості та надано характеристику території прибережної смуги Чорного моря в Одеській області. Визначено небезпеки зсувних процесів на відповідних

територіях з урахуванням кліматичних змін та особливостей місцевості. Проведений аналіз геодезичного моніторингу ефективності проти-зсувних заходів щодо захисту схилу – запобігання екологічним ризикам. За результатами моніторингу визначено параметри зміщень ґрунтових реперів і геодезичних реперів на ростверку берегоукріплювальної споруди схилу в просторі і часі. Відповідні дані необхідні для забезпечення напряму подальших робіт щодо запобігання зсувним процесам та ризикам.

Отримані практичні результати спостережень дають підстави для висновку про актуальність і доцільність створення берегоукріплювальних споруд відповідного типу на прибережних територіях з урахуванням різниці зміщень ґрунтових реперів і геодезичних, що були закладені на відповідній споруді. Рекомендовано продовження спостережень щомісячно для контролю зсувних процесів, а також деформації берегоукріплювальної споруди (яка спостерігалась у процесі виконання досліджень).

Бібліографічний список

1. Державна геологічна карта України / Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». URL: https://geoinf.kiev.ua/wp/kartograma_rep.php?listn=136-14 (дата звернення: 15.11.2021).
2. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП / Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». Київ, 2021. 78 с.
3. Іщенко М. В. Зведена обробка спостережень регіональної GPS-мережі та її результати: автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук. Київ, 2013. 20 с.
4. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010: наказ Держспоживстандарту України від 11.10.2010 р. № 457. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10/print> (дата звернення: 22.11.2021).
5. Третьяк К. Р., Смірнова О. М., Бределева Т. М. Дослідження періодичних змін висотного положення супутникових перманентних станцій світу. *Геодинаміка*. 2012. 1 (12). С. 11–29.
6. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual. Bern: Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing, 2015. 858 p.
7. Landslide Hazard Information – Causes, Pictures, Definition. URL: <https://geology.com/usgs/landslides/#process> (Last accessed: 22.11.2021).
8. Landslide mapping and monitoring by using radar and optical remote sensing: Examples from the EC-FP7 project SAFER / N. Casagli et al. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2016. 4. P. 92–108. doi: 10.1016/J.RSASE.2016.07.001.
9. Ogundipe O. The Use of Kinematic GPS to Monitor the Deflections and Frequencies of a 174m Long Viaduct under Traffic Loading. *Integrating Generations FIG Working Week 2008, TS 5C – Structural Monitoring* (Stockholm, Sweden, 14–19 June 2008). Sweden, 2008. P. 1–12.
10. Parkinson B. W., Spilker J. J. Jr. Global Positioning System: Theory and Applications Vol. I. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautic, 1996. 798 p.
11. Roberts G. W., Brown C., Atkins C., Meng X. The Use Of GNSS To Monitor The Deflection Of Suspension Bridges. *12th FIG Symposium* (Lisbon, May 12–15, 2008). Lisbon, 2008. P. 1–9.
12. Šegina E., Peternel T., Urbančič T., Realini E. Monitoring Surface Displacement of a Deep-Seated Landslide by a Low-Cost and near Real-Time GNSS System. *Remote Sensing*, 2020. 12. P. 3375–3377. doi: 10.3390/RS12203375.
13. SystemNET – «Systems Solutions» – a GNSS / RTK network in Ukraine from Leica Geosystems. URL: <https://systemnet.com.ua/ua/> (Last accessed: 22.11.2021).
14. Turan O., Özkan B., Türkeş M., Dengiz O. Landslide susceptibility mapping for the Black Sea Region with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis under semi-humid and humid terrestrial ecosystems. *Theoretical and Applied Climatology*. 2020. 140 p.
15. UNISDR Кишенькове видання Глобальної аналітичної доповіді про заходи щодо зменшення небезпеки лиха (GAR) від 2015 року. Забезпечення сталості розвитку: Майбутнє управління ризиками лиха. Женева: Бюро зі скорочення ризику лих ООН, 2015. 28 с.
16. Wallemacq P., House R. Economic losses, poverty & disasters: 1998–2017. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2018. 31 p.
17. Zeybek M., Şanhoğlu İ., Özdemir A. Monitoring landslides with geophysical and geodetic observations. *Environmental Earth Sciences*. 2015. 74 (7). 6247–6263. doi: 10.1007/S12665-015-4650-X.

Стаття надійшла 21.06.2022