

ЧИННИКИ КАТАСТРОФІЧНОЇ АКТИВІЗАЦІЇ ЛІНІЙНОЇ ЕРОЗІЇ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ПОБУДОВАНИХ НА СХИЛАХ І ЗОНАХ ВПЛИВУ ГІРНИЧО-ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Михайло Яремович¹, Василь Дяків², Ельвіра Джумеля³

¹ТзОВ НВП «Геол-тех»,
вул. Левицького, 2, Львів, Україна, 79000
e-mail: mishayaremovich@gmail.com;

²Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com;

³НУ «Львівська політехніка»,
вул. Карпінського, 2, Львів, Україна, 79000
e-mail: elviradzhumelia@gmail.com

Подано результати моніторингових досліджень за станом сонячних електростанцій у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств. Досвід будівництва та експлуатації цих об'єктів показав, що порівняно з іншими локаціями, на територіях із нестійкими ґрунтами можуть бути проявлені специфічні ефекти «парасолі», концентрування зливових опадів, активізації ерозійних процесів та зміни інженерно-геологічних умов ґрунтів під час експлуатації сонячних електростанцій, побудованих у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств. Описані ефекти можуть бути характерними не лише для описаних територій порушених земель, а й для будь-яких ерозійно нестійких ландшафтів, у яких сонячні панелі будуть як концентратори зливових опадів, що активно сприяють розвитку процесів приповерхневої лінійної ерозії, особливо в умовах неврегульованого водовідведення та недотримання норм протиерозійного захисту.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, сонячні електростанції, оцінка, аналіз, прогноз.

Вступ. Відповідно до цілей Паризької кліматичної угоди – підписаного та ратифікованого документа в рамках Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC) щодо регулювання заходів зі зменшення викидів діоксиду вуглецю – у світі простежується стійка тенденція до розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та поступового заміщення традиційної генерації. Отримання енергії з відновлюваних джерел є глобальним енергетичним та екологічним трендом, за яким майбутнє, і вони вже сьогодні є економічно вигідними. Більше того, технології не стоять на місці, і

сонячні панелі постійно вдосконалюються, стаючи дешевшими, довговічнішими та ефективнішими. За деякими прогнозами у найближчі десятиліття ефективність сонячних панелей може стати дійсно революційною, наблизившись до 50 %.

Сприятливі економічні умови розвитку ВДЕ сприяють пошуку інвесторами територій, придатних до проектування та будівництва сонячних електростанцій. Серед вимог до таких територій є цільове призначення земель, серед яких перевагу мають терени поза межами населених пунктів, землі несільськогосподарського призначення із підведеною енергетичною інфраструктурою – лінії електропередач, трансформаторні підстанції, наявність споживачів електроенергії, об'єктів енергетики, які б могли підтримувати енергетичний баланс у випадку нестабільної роботи ВДЕ та ін.

Виклад основного матеріалу. У наш час саме до таких земель належать території у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств. Зокрема, у зоні впливу колишнього Яворівського ДГХП «Сірка», нині ДП «Екотрансенерго», розташовані три потужні електростанції на північно-східному борту колишнього Яворівського сірчаного кар'єру поблизу с. Цетуля площею 40 га, а також на зовнішніх відвалах Окілки (у південно-західній частині Яворівського озера) площею 120 га та Шоти (у південно-східній частині цієї водойми) площею 175 га [1, 2] (рис. 1).

Сонячна електростанція на північному березі оз. Яворівське поблизу с. Цетуля площею 40 га



Сонячна електростанція на відвалі "Шоти" площею 175 га **Сонячна електростанція на відвалі "Окілки" площею 120 га**

Рис. 1. Розташування потужних сонячних електростанцій у зоні впливу колишнього Яворівського ДГХП «Сірка» площею 40 га (північний берег оз. Яворівське); 120 га – на відвалі Окілки; 175 га – на відвалі Шоти (південний захід і південний схід цієї водойми)

У зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка» зведено дві сонячні електростанції на двох гідровідвалах № 1 площею 35 га та № 2 площею 37 га (рис. 2).

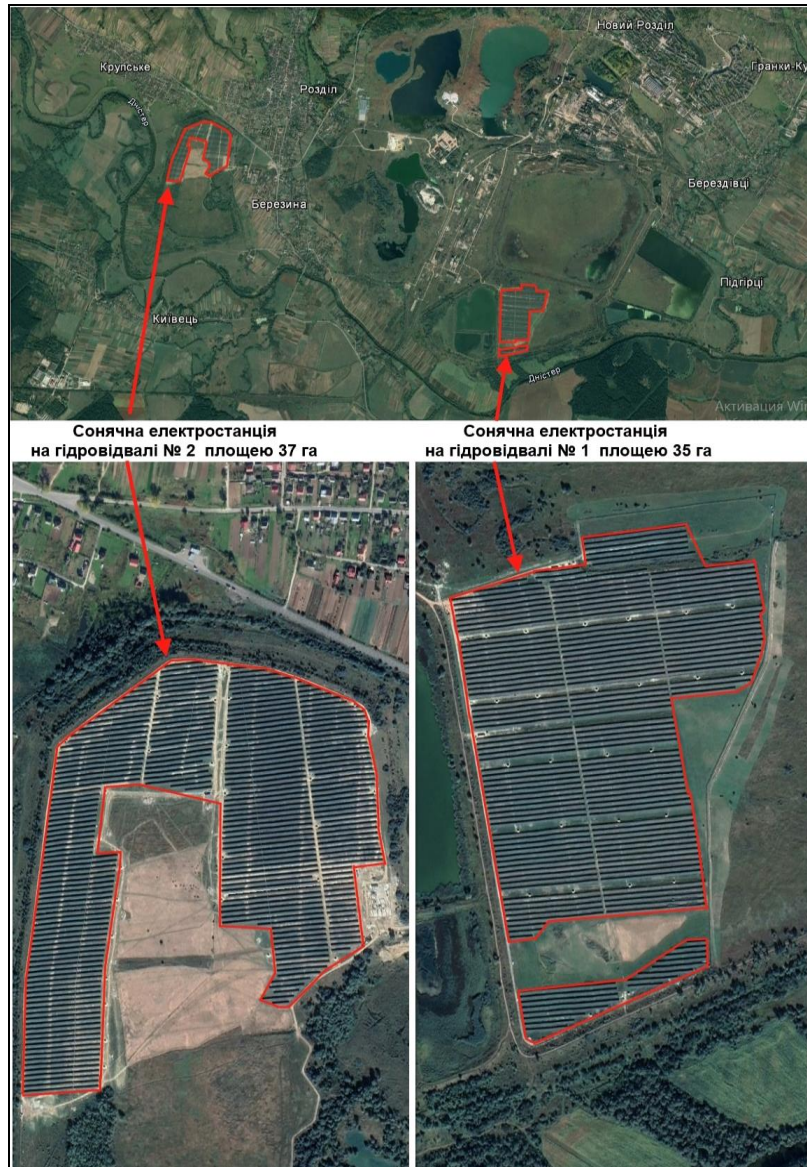


Рис. 2. Розташування потужних сонячних електростанцій у зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка» площею 35 га (гидровідвал № 1) та 37 га (гидровідвал № 2)

Як бачимо із наведених даних на прикладі територій у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств, в Україні останнім часом простежується стрімке збільшення площі покриття сонячними панелями, зростання встановлених потужностей сонячних електростанцій, насамперед завдяки головному економічного стимулюючого інструменту – системи «зелених тарифів», які затверджені з прив'язкою до Євро, які є гарантованими державою до 2030 року.

Водночас під час проектування, будівництва та експлуатації сонячних електростанцій варто брати й до уваги не лише інженерно-геологічні умови до початку виконання таких робіт, а й деякі ефекти, які як описані у літературі [3, 4], так і вперше ми простежували.

Сонячні електростанції складаються з масивів прямокутних панелей, встановлених на неглибоких заглиблених фундаментах, які нахилені до Сонця під фіксованим або регульованим кутом, із південною експозицією (у північній півкулі), для забезпечення оптимальної потужності. Важливо зазначити, що один модуль, підданий впливу Сонця, поводитиметься по-різному стосовно модуля, який є частиною ланцюга, з'єднаного через інші компоненти. Тому важливим є оптимальне розташування, залежно від рельєфу, кількості опадів та ґрунтів, які впливають на генерацію, коли поверхню не вирівняно належно або панелі встановлено не на тому самому рівні чи інших причин, особливо в ранкові та вечірні години.

Такі масиви панелей на великих площах зазвичай розташовують рядами, які й формують, власне, сонячні електростанції чи сонячні ферми різних розмірів та форм, що можуть охоплювати досить значні площі, які у випадку вищезгаданих гірничо-хімічних підприємств становлять від 35 до 175 га. Деякі з них можуть бути розташовані на відвальних породах (зовнішні відвали у зоні впливу колишнього Яворівського ДГХП «Сірка») та наливних ґрунтах (гідровідвали та хвостосховища у зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка»). До обов'язкових складових крупних сонячних електростанцій належать під'їзні шляхи, електричні кабелі та електронне комутаційне обладнання.

Специфічною особливістю сонячних панелей є те, що вони є непроникними для води й у періоди опадів проявляють ефекти «парасолі», затінення, концентрування зливових опадів, активізації ерозійних процесів та зміни інженерно-геологічних умов ґрунтів.

Ефект «парасолі» полягає у тому, що ґрунтовий покрив під сонячними панелями захищений від потрапляння атмосферних опадів (рис. 3).



Рис. 3. Ефект «парасолі» сонячних панелей – атмосферні опади не звожують під ними ґрунт

Ефект «парасолі» дуже подібний до **ефекту затінення**, коли ґрунтовий покрив під сонячними панелями певний період часу захищений від інсоляції (рис. 4).



Рис. 4. Ефект затінення – порушення під сонячними панелями інсоляції ґрунтового покриву

Ефект концентрування зливових опадів полягає у тому, що сонячні панелі на своїй поверхні накопичують досить значні об'єми атмосферних опадів, коли розрізнені краплі та їхні агрегації, різні за розмірами та формою, в умовах нахилу, під дією гравітації, стікають донизу (рис. 4), а за їхньої значної інтенсивності сприяють посиленому концентрованому стоку у ґрунт (рис. 5).



Рис. 5. Ефект концентрування зливових опадів на поверхні сонячних панелей, що полягає у накопиченні розрізненних крапель та їхньому акумулюванні у різні за розмірами та формою збільшення агрегації, які в умовах нахилу, під дією гравітації, стікають донизу

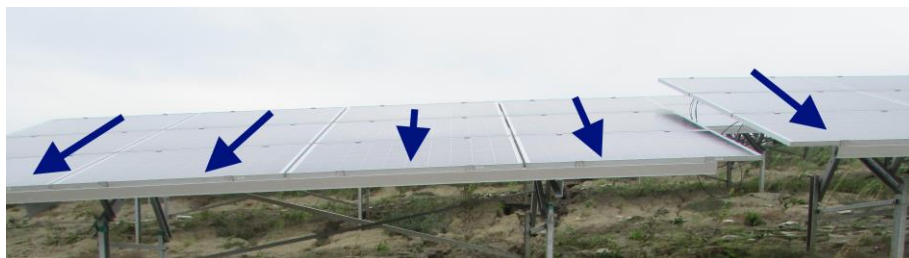


Рис. 6. Напрямки концентрованого стоку зливових атмосферних опадів у ґрунт

Зазвичай сонячні панелі встановлюють так, щоб зливі води потрапляли безпосередньо у захищений від ерозійного розмиву ґрунт – задернований, добре дренований ґрунтовий масив, щоб стимулювати інфільтрацію та запобігти ерозійному розмиву. Однак у багатьох випадках цього не вдається зробити, особливо на нестійких, ерозійно-піддатливих ґрунтових масивах та техногенних ґрунтах, а також, як наслідок, проявляються задокументовані прояви ефекту активізації ерозійних процесів.

Ефект активізації ерозійних процесів полягає у точковому, приповерхневому лінійному та глибокому ярковому розмиві ґрунтів зливовими опадами, що концентровано стікають із сонячних панелей (рис. 7–9).



Рис. 7. Прояви точкового ерозійного розмиву концентрованими стоками зливових атмосферних опадів із сонячних панелей

Важливо наголосити, що такі прояви можуть бути характерними не лише для описаних територій порушених земель у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств, а й по суті для будь-яких ерозійно нестійких ландшафтів, у яких сонячні панелі будуть як концентратори зливових опадів, що активно сприяють розвитку процесів приповерхневої лінійної ерозії, особливо в умовах неврегульованого водовідведення та недотримання норм протиерозійного захисту. Отже, зі збільшенням кількості опадів та концентрування їхнього поверхневого стоку від сонячних панелей зростає інтенсивність приповерхневої лінійної ерозії (рис. 8).



Рис. 8. Зростання інтенсивності приповерхневої лінійної ерозії від ледь заглибленої (вгорі) до досить заглибленої (внизу)

Головною умовою зародження і розвитку такого роду проявів приповерхневої лінійної ерозії є наявність контуру живлення – концентрованого зливого стоку із сонячних панелей – та можливість безперешкодного винесення за межі ерозійного врізу розмитого матеріалу. Іншими словами, гідравлічний напір водного потоку повинен бути настільки потужним та мати такі швидкості руху, за яких не лише буде винесений уламковий матеріал, а й відбуватиметься поглиблення тальвігу. Саме це забезпечує динамічний розвиток лінійної ерозії та її поглиблення за глибокого розмиву ґрунтового масиву, в межах якого інстальовано сонячні панелі, іноді до досить значної глибини (рис. 9).



Рис. 9. Прояв глибокого яркового розмиву ґрунтового масиву, в межах якого інстальовано сонячні панелі, іноді до досить значної глибини

Ефект змін інженерно-геологічних умов полягає у тому, що за умов глибокого яркового розмиву ґрунтового масиву, в межах якого інстальовано сонячні панелі, після інтенсивних опадів можуть виникати аварійні ситуації, які призводять до радикальної зміни рельєфу під фундаментами, утворення водороїн специфічних форм та різних розмірів, що зумовлює втрату опорними несучої здатності (рис. 10).



Рис. 10. Ефект змін інженерно-геологічних умов за умов глибокого яркового розмиву ґрунтового масиву, що призводить до радикальної зміни рельєфу під фундаментами, утворення водороїн специфічних форм та різних розмірів, зумовлює втрату опорними несучої здатності

Висновки. Отримані результати досліджень дають можливість зробити такі висновки:

1. Території гірничо-хімічних підприємств на ділянках схилів бортів кар'єрів, поширення відвальних порід (зовнішні відвали у зоні впливу колишнього Яворівського ДГХП «Сірка») та намивних ґрунтів (гідровідвали та хвостосховища у зоні впливу Роздільського ДГХП «Сірка»), які розташовані поза межами населених пунктів, є землями несільськогосподарського призначення із підведеною енергетичною інфраструктурою – лінії електропередач, трансформаторні підстанції є сприятливими для облаштування об'єктів відновлюваної енергетики. Вже сьогодні тут працюють п'ять досить крупних сонячних електростанцій, які займають площі від 35 до 175 га.

2. Досвід будівництва та експлуатації у таких умовах сонячних електростанцій показав, що, порівняно з іншими локаціями, на територіях із нестійкими ґрунтами можуть бути проявлені специфічні ефекти «парасолі», концентрування зливових опадів, активізації ерозійних процесів та зміни інженерно-геологічних умов ґрунтів за експлуатації сонячних електростанцій, побудованих у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств. Важливо наголосити, що такі прояви можуть бути характерними не лише для описаних територій порушених земель у зонах впливу гірничо-хімічних підприємств, а й по суті для будь-яких ерозійно нестійких ландшафтів, у яких сонячні панелі слугуватимуть концентраторами зливових опадів, що активно сприяють розвитку процесів приповерхневої лінійної ерозії, особливо в умовах неврегульованого водовідведення та недотримання норм протиерозійного захисту.

3. Описані ефекти варто брати до уваги розробникам вихідних даних до проектування сонячних електростанцій, організаціям, які займаються інженерно-геологічними вишукуваннями під об'єкти відновлюваної енергетики, а також проектантам заходів протиерозійного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Dyakiv V., Pohrebennyk V., Mitryasova O., Shybanova A., Yaremovych M.* Actual state and prospects of using the territory of the Rozdil mining and chemical enterprise “Sirka” for the construction of renewable energy facilities // In book: *Climate change & sustainable development: new challenges of the century*. Ed. by Olena Mitryasova, Piotr Koszelnik. Mykolaiv–Rzeszow, 2021. P. 76–92.

2. *Dyakiv V., Pohrebennyk V., Mitryasova O., Shybanova A., Yaremovych M.* Prospects for the Development of Solar Energy in Ukraine // *Proceedings of the International Forum on Climate Change and Sustainable Development: New Challenges of the Century*. September 9–11, 2021. In terms of the Visegrad Project #22110149 Petro Mohyla Black Sea National University. Mykolaiv. P. 21.

3. *Barnard T., Agnaou M., Barbis J.* Two Dimensional Modeling to Simulate Stormwater Flows at Photovoltaic Solar Energy Sites // *Journal of Water Management Modeling*. 2017. Vol. 25. P. 1–9. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C428>

4. *Elamri Y., Cheviron B., Mange A., Dejean C., Liron F., Belaud G.* Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2018. Vol. 22. P. 1285–1298. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1285-2018>

*Стаття: надійшла до редакції 16.05.2022
прийнята до друку 20.05.2022*

FACTORS OF CATASTROPHIC ACTIVATION OF LINEAR EROSION AND ENGINEERING AND GEOLOGICAL PROBLEMS OF OPERATION SOLAR POWER PLANTS BUILT ON THE SLOPES AND ZONES OF INFLUENCE OF MINING AND CHEMICAL ENTERPRISES

Mykhailo Yaremovych¹, Vasyl Dyakiv², Elvira Jumelya³

¹ TzOV NVP "Geol-tech",
Levytskogo Str., 2, Lviv, Ukraine, 79000
e-mail: mishayaremovich@gmail.com;

² Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com;

³ Lviv Polytechnic National University,
Karpinsky Str., 2, Lviv, Ukraine, 79000
e-mail: elviradzhumelia@gmail.com

The results of monitoring studies on the state of solar power plants in the zones of influence of mining and chemical enterprises are presented. The experience of construction and operation of these facilities has shown that, in comparison with other locations, specific "umbrella" effects can be manifested in areas with unstable soils, concentration of heavy rainfall, activation of erosion processes and changes in the engineering and geological conditions of soils at operation of solar power plants built in the zones of influence of mining and chemical enterprises. The described effects may be characteristic, not only for the described territories of disturbed lands, but also for any erosionally unstable landscapes, in which solar panels will act as rainwater concentrators that actively contribute to the development of near-surface linear erosion processes, especially in conditions of unregulated drainage and non-compliance with anti-erosion protection norms.

Key words: engineering and geological conditions, solar power plants, assessment, analysis, forecast.