

УДК 550.837

DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322568>

Дослідження еконебезпечних геологічних процесів методами електророзвідки

**О.Я. Сапужак, О.В. Сироєжко, С.А. Дешиця, О.І. Підвірний,
В.В. Коляденко, І.М. Мар'яш, Б.Я. Климкович, 2025**

Карпатське відділення Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна

Методи електророзвідки успішно застосовуються для вирішення завдань,
пов'язаних з екологічно небезпечними геологічними процесами. Проведено дослі-

Citation: Sapuzhak, O.Ya., Syroiezhko, O.V., Deshchytsya, S.A., Pidvirnyi, O.I., Kolyadenko, V.V., Maryash, I.M., & Klymkovych, B.Ya. (2025). Research of environmentally hazardous geological processes using electroprospecting methods. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 306—312. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322568>.

Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

дження з використанням методу зондувань становленням електромагнітного поля на різних об'єктах локального та регіонального значення. Виявлено аномалії питомого електричного опору, пов'язані із зонами розвитку небезпечних геологічних процесів: фільтраційно-суфозійних процесів та явищ просідання ґрунту — на території Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, сульфатний карст — на території школи у Бартатові Львівської області, на ділянках під забудову у Львові та вздовж колії залізниці у Чернівецькій області, соляний карст — на територіях Стебницького та Калусько-Голинського калійних родовищ. Отримані результати підтвердили на практиці ефективність вирішення геоелектричних завдань методом зондувань становленням електромагнітного поля.

Ключові слова: еконебезпека, геологічне середовище, карст, фільтраційно-суфозійні процеси, метод зондувань становленням електромагнітного поля.

Вступ. Розвиток екологічно небезпечних процесів у геологічному середовищі найчастіше відбувається на глибинах перших сотень метрів, що має значний вплив на умови життєдіяльності людини. На початковій стадії розвитку негативних процесів (карстових, фільтраційно-суфозійних, зсувних) відбуваються суттєві зміни фізичних характеристик (електропровідність, питомий електричний опір (ПЕО)) геологічних порід, що створює передумови для їх виявлення методами електророзвідки, зокрема, методом електрорезистивної томографії (ЕРТ), що широко застосовується закордонними дослідниками [Kiernan et al., 2021; Jendruś et al., 2023]. Ми ж у таких задачах використовуємо метод зондувань становленням електромагнітного поля (ЗС) [Deshchytsya et al., 2016], який має суттєву перевагу над ЕРТ у локальності спостережень. Наприклад, для досягнення глибинності 50 м у методі ЗС використовується генераторний контур $20 \times 20 \text{ м}^2$, а для ЕРТ необхідно рознести систему електродів щонайменше на 100 м. Тому мета роботи — вирішення завдань з виявлення зон розвитку еконебезпечних процесів у верхніх шарах геологічного середовища (перші сотні метрів) за допомогою електророзвідувального методу зондувань становленням електромагнітного поля.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктами досліджень були ділянки (рис. 1) розвитку негативних геологічних процесів: фільтраційно-суфозійні та просадні («ІФНТУНГ»), сульфатний карст («Бартатів», «Будова», «Залізниця»), соляний карст («Стебник», «Хотінь»), їх детальніший опис буде

надано далі разом з результатами досліджень. Крім поділу за видами процесів, можна класифікувати ділянки досліджень з огляду на можливі наслідки розвитку екологічно небезпечних процесів — локального («ІФНТУНГ», «Бартатів», «Будова») і регіонального («Залізниця», «Стебник», «Хотінь») масштабів.

Спостереження виконувались методом ЗС у модифікації «контур у контурі» (вимірювальний посеред генераторного), розміри яких залежать від діапазону необхідної глибини спостережень. Для глибин до 100 м використовувалися апаратура «Стадія» або «Стадія-М», розробки КВ ІГФ НАН України, а глибше — «Імпульс-3» (Росія).

Результати досліджень. Розглянемо методику проведення спостережень методом ЗС та їх інтерпретацію на прикладі ділянки «Бартатів» — території навчально-виховного комплексу в с. Бартатів Львівської області. Тут, поблизу розпочатого будівництва прибудови до основної споруди школи, утворилась карстова лійка діаметром близько 8–10 м. Пробурена поруч свердловина виявила у гіпсовому горизонті на глибині 42–44 м карстову порожнину. Завданням електророзвідувальних досліджень методом ЗС було встановлення зони поширення карсту, його потужності, визначення загроз для прибудови та будівлі школи.

За наявності свердловини на ділянці проводяться параметричні спостереження — виконується зондування максимально близько до свердловини і результати їхньої геоелектричної інтерпретації порівнюють-

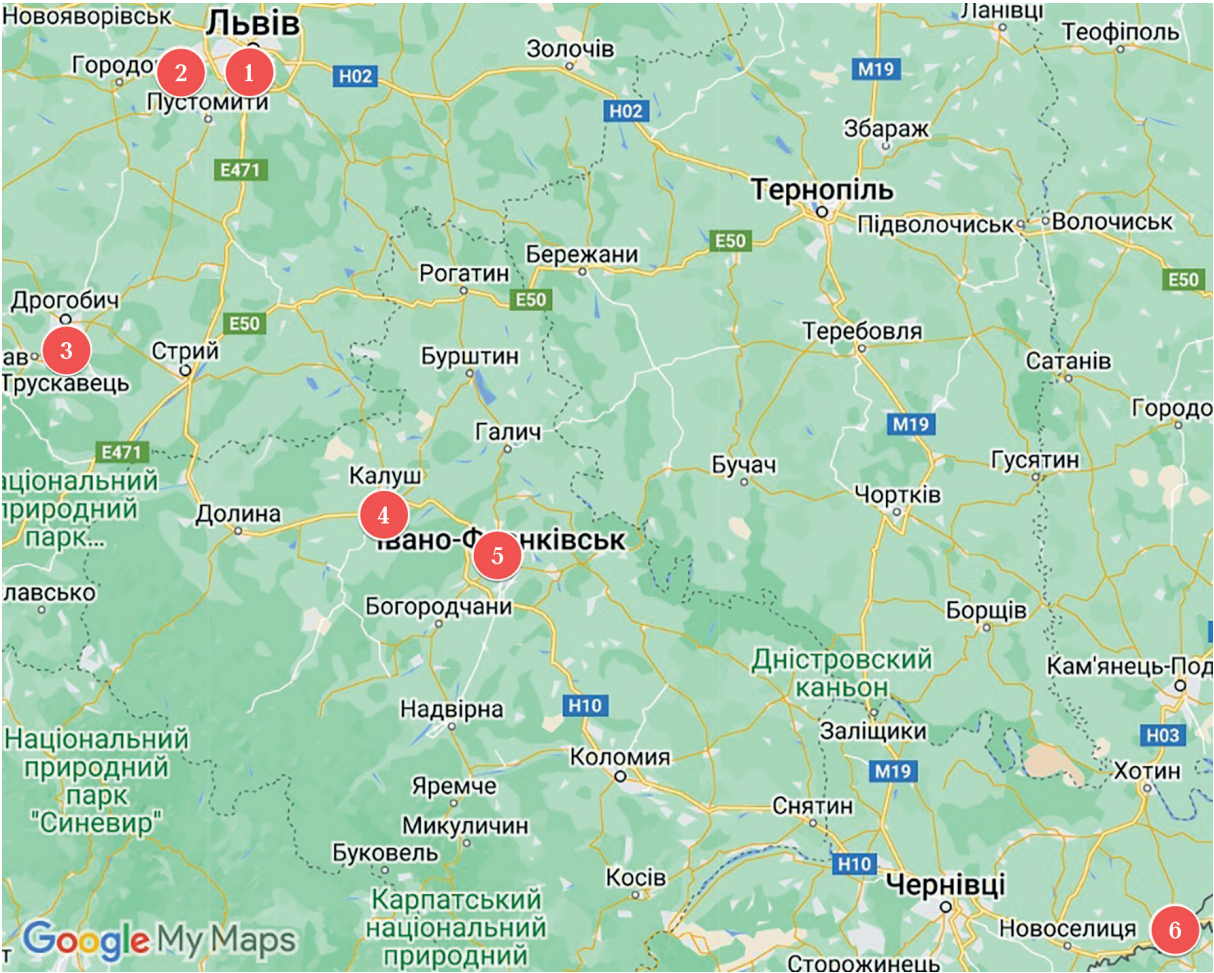


Рис. 1. Розташування ділянок дослідження негативних геологічних процесів (числа у червоних колах): 1 — «Будова», 2 — «Школа», 3 — «Стебник», 4 — «Хотінь», 5 — «ІФНТУНГ», 6 — «Залізниця».

Fig. 1. Location of the study areas of negative geological processes (numbers in red circles): 1 — «Construction», 2 — «School», 3 — «Stebnyk», 4 — «Khotyn», 5 — «IFNTUOG», 6 — «Railway».

Відповідність гірської породи та її питомого електричного опору

Гірська порода, св. 9	Питомий електричний опір, Ом·м, ПК20
Піски (водонасичені)	12—17
Суглинки	15—80
Глини	1—10
Гіпси:	
щільні	15—200
тріщинуваті, незначно закарстовані	6—15
закарстовані	1—6
Пісковики	понад 100

ся з геологічною колонкою за даними буріння для встановлення відповідності між

літологією порід, їх станом та ПЕО. Результати таких досліджень на ділянці «Бартатів» наведено у таблиці. Далі виконуються профільні спостереження, за результатами яких будуються геоелектричні розрізи ПЕО, а також за необхідності — їх площинні розподіли. Інтерпретацію результатів ЗС виконано програмним пакетом В.І. Мамонтова, що базується на алгоритмах обробки В.А. Сідорова. Електромагнітні зондування відпрацьовано апаратурою «Стадія» з розмірами контурів 20×20 м² (генераторний) та 10×10 м² (вимірювальний). Геоелектричний розріз VI з геологічною інтерпретацією наведено на рис. 2, а схему електророзвідувальних профілів — на рис. 3.

За значеннями ПЕО та їх відповідності

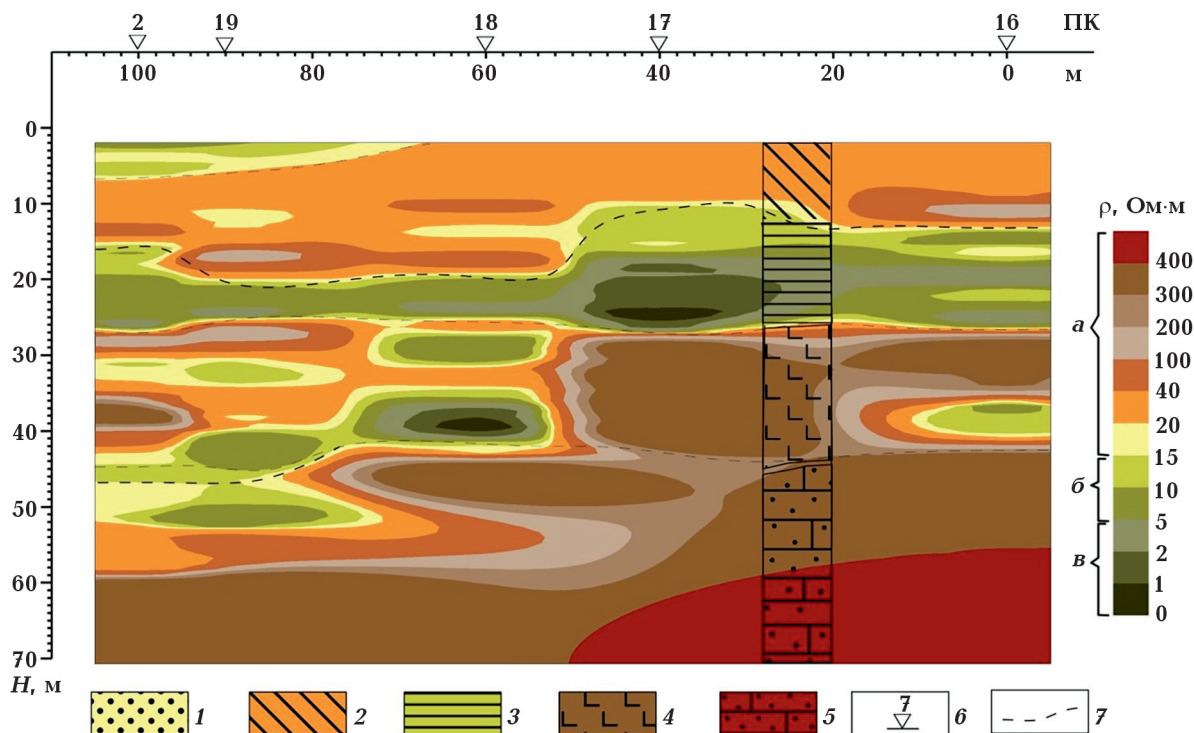


Рис. 2. Геоелектричний розріз VI з геологічною інтерпретацією: 1 — пісок, 2 — суглинки, 3 — глина, 4 — гіпс, 5 — пісковик, 6 — пікет ЗС та його номер, 7 — літологічна границя.

Fig. 2. Geoelectric section VI with geological interpretation: 1 — sand, 2 — loam, 3 — clay, 4 — gypsum, 5 — sandstone, 6 — TEM picket and its number, 7 — lithological boundary.

геологічним породам здійснюється геологічна інтерпретація геоелектричних розрізів, виділяються літологічні границі та шари. Зокрема, для профілю VI на глибинах 25—45 м виділено гіпсовий горизонт (див. рис. 2), у межах якого спостерігаються ПЕО від 1 до 300 Ом·м. Значення 5 Ом·м і менше практично вказують на наявність карсту, заповненого глино-гіпсо-водяною суспензією з низьким ПЕО. Виконавши такі побудови для всіх профілів, знаходимо мінімальні значення ПЕО для гіпсоангідритового шару. Площинна карта (див. рис. 3), побудованими за такими значеннями, дає змогу встановити ступінь закарстованості та окреслити небезпечну зону. Як бачимо, для основної будівлі школи гіпсовий горизонт є щільним і немає загрози провальних явищ. Проте поблизу новобудови, крім вже існуючого провалля, є зони сильної закарстованості, які надалі можуть призвести до утворення нових карстових лійок, що стане небезпечним для продовження будівництва.

На ділянці «ІФНТУНГ» необхідність проведення досліджень виникла у зв'язку із просіданнями 1-го навчального корпусу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та виникненням суттєвих тріщин у стінах. За результатами спостережень ЗС (прилад «Стадія») побудовано геоелектричні розрізи до 40 м і встановлено на глибинах 2—20 м аномалії ПЕО (менше 5 Ом·м), пов'язані з підвищеною фільтрацією води. Разом з особливостями геологічної будови, серед яких і наявність тут у минулому русел річок, це свідчить про фільтраційно-суфозійні процеси та можливі подальші нерівномірні просідання будівлі. Як запобіжний захід рекомендовано місця для перекриття руху підземних вод.

На ділянці під забудову у Львові («Будова») основним завданням досліджень методом ЗС було виявлення і визначення просторових характеристик карстових утворень з метою оцінювання можливості реалізації існуючого проєкту будівництва.



Рис. 3. Карта ізоліній розподілу мінімальних значень питомого електричного опору гіпсів на ділянці «Бартатив»: а — карст, б — тріщинуваті, в — щільні.

Fig. 3. Isoclines of the resistivity minimums resistivity of gypsum in the «Bartativ» plot: а — karst, б — fractured, в — dense.

Отримані результати ЗС дали змогу за значеннями ПЕО (менше 5 Ом·м) на глибинах 15—30 м локалізувати тріщинуваті та закарстовані зони гіпсоангідритового шару та рекомендувати внести зміни до проекту будівництва.

Об'єкт «Залізниця» (ділянка вздовж колії Чернівецької залізниці) загальною протяжністю 12 км проходить через карстонебезпечну територію, основним завданням тут було виявлення зон розвитку карстопровальних процесів та оцінювання ступеня небезпеки для залізничної колії. Спостереження ЗС виконано апаратурою «Стадія» і «Стадія-М», за результатами яких побудовано геоелектричні розрізи. За значеннями ПЕО встановлено границі гіпсоангідритового горизонту, на глибинах 25—45 м у ньому виявлено зони аномаль-

ного ПЕО (понад 400 Ом·м), пов'язані з карстовими утвореннями. На підставі цього побудовано карту ступеня небезпеки ділянки досліджень, причому зона високого ступеня знаходиться приблизно посередині ділянки та має довжину близько 1,8 км. Загалом карстові процеси охоплюють щонайменше 6,2 км, що становить більше половини загальної довжини ділянки.

Необхідність проведення досліджень на ділянці «Стебник» виникла у зв'язку з активізацією фільтраційно-суфозійних і карстових процесів над шахтними полями Стебницького калійного родовища з утворенням провалля діаметром близько 250 м і глибиною понад 30 м. Основними завданнями на цій ділянці були виявлення загроз руйнування автодороги між м. Трускавець та с. Солець, житлових та інших будівель у селах Модричі та Солець, а також об'єктів інфраструктури — газо- та водопроводів, високовольтних ліній електропередач тощо. Спостереження ЗС виконано апаратурою «Стадія» та «Імпульс-3», отримано розрізи глибиною до 400 м. За значеннями ПЕО (менше 5 Ом·м) встановлено аномальні зони, пов'язані з підвищеною фільтрацією підземних вод до шахтних виробок, активізацією карстового процесу та загрозою для цілісності автодороги поблизу села Солець. На території обох сіл не виявлено зон небезпечних процесів, здатних зруйнувати будівлі чи інфраструктуру.

На території проходження магістрального газопроводу у зоні впливу шахтного поля «Хотінь» Калусько-Голинського калійного родовища (ділянка «Хотінь») основним завданням електророзвідувальних досліджень було оцінювання стану видобувних камер і міжкамерних ціликів відпрацьованого гірничого масиву з огляду на можливі просідання поверхні та руйнування чи пошкодження магістрального газопроводу. Для спостережень ЗС використано апаратуру «Стадія» та «Імпульс-3», що дало змогу отримати геоелектричні розрізи глибиною до 300 м і встановити, що видобувні камери в центрі шахтного поля вже частково зруйновані та заповне-

ні гірськими породами верхніх горизонтів (однакові ПЕО, 10—20 Ом·м). Проникнення ґрунтових вод з вищезазначених горизонтів (аномалії ПЕО менше 5 Ом·м) у розташування відпрацьованих шахтних камер не виявлено, тому можна вважати, що стан геологічного середовища у зоні шахтного поля «Хотінь» є стабільним і не створює загрози цілісності магістрального газопроводу.

Висновки. Проведені дослідження вирішили завдання виділення зон розвитку еконебезпечних процесів (фільтраційно-суфозійних, карстових) локального («Бар-

татів», «Будова», «ІФНТУНГ») і регіонального («Залізниця», «Стебник», «Хотінь») масштабів за допомогою методу зондувань становленням електромагнітного поля. Можливості визначення границь літологічних шарів, оцінювання їх стану за питомим електричним опором, виявлення аномальних зон розвитку еконебезпечних геологічних процесів вказують на геологічну інформативність методу ЗС і перспективи його застосування для різноманітних завдань геоекологічного, інженерно-геологічного та гідрогеологічного спрямування.

Список літератури

- Deshchytsya, S.A., Pidvirnyj, O.I., Romanyuk, O.I., Sadovy, Yu.V., Kolyadenko, V.V., Savkiv, L.G., & Myshchyshyn, Yu.S. (2016). Evaluation of the state of the ecologically problematic mining and industrial objects in Kalush region by electromagnetic methods and their monitoring. *Science and Innovation*, 12(5), 41—51. <https://doi.org/10.15407/scine12.05.041>.
- Jendruś, R., Strozik, G., & Sowiński, D. (2023). Application of Electrical Resistivity Tomography for the Assessment of Sinkhole Hazard to Improve Public Health and Safety Conditions on Post-Mining Lands. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(4), 3627—3644. <https://doi.org/10.15244/pjoes/163440>.
- Kiernan, M., Jackson, D., Montgomery, J., Anderson, J.B., McDonald, B.W., & Davis, K.C. (2021). Characterization of a Karst Site using Electrical Resistivity Tomography and Seismic Full Waveform Inversion. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 26(1), 1943—2658. <https://doi.org/10.32389/jeeeg20-045>.

Research of environmentally hazardous geological processes using electroprospecting methods

O.Ya. Sapuzhak, O.V. Syroiezhko, S.A. Deshchytsya, O.I. Pidvirnyi, V.V. Kolyadenko, I.M. Maryash, B.Ya. Klymkovych, 2025

Carpathian Branch of the S. Subbotin Institute of Geophysics
of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Electroprospecting methods are successfully used to solve problems related to environmentally hazardous geological processes. The study was carried out using the time domain electromagnetic method at various objects of local and regional importance. We detected anomalies of apparent resistivity are connected with the zones of development of hazardous geological processes: filtration-suffusion and subsidence on the territory of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, sulfate karst on the territory of a school in the Bartativ, Lviv oblast, on a construction site in Lviv and along the railway track in Chernivtsi oblast; salt karst on the territories of the Stebnyk and Kalush-Holyn potash deposits. The results confirmed the effectiveness of solving geoeological problems using the time domain electromagnetic method.

Key words: environmental hazard, geological environment, karst, filtration-suffusion processes, time domain electromagnetic method.

References

- Deshchytsya, S.A., Pidvirnyj, O.I., Romanyuk, O.I., Sadovy, Yu.V., Kolyadenko, V.V., Savkiv, L.G., & Myshchyshyn, Yu.S. (2016). Evaluation of the state of the ecologically problematic mining and industrial objects in Kalush region by electromagnetic methods and their monitoring. *Science and Innovation*, 12(5), 41—51. <https://doi.org/10.15407/scine12.05.041>.
- Jendruś, R., Stozik, G., & Sowiński, D. (2023). Application of Electrical Resistivity Tomography for the Assessment of Sinkhole Hazard to Improve Public Health and Safety Conditions on Post-Mining Lands. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(4), 3627—3644. <https://doi.org/10.15244/pjoes/163440>.
- Kiernan, M., Jackson, D., Montgomery, J., Anderson, J.B., McDonald, B.W., & Davis, K.C. (2021). Characterization of a Karst Site using Electrical Resistivity Tomography and Seismic Full Waveform Inversion. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 26(1), 1943—2658. <https://doi.org/10.32389/jeeeg20-045>.