

Гістограма значень отриманого інтегрального показника зсувної небезпеки, розподіл імовірностей якого підпорядковується нормальному закону наведена, на рис.5.

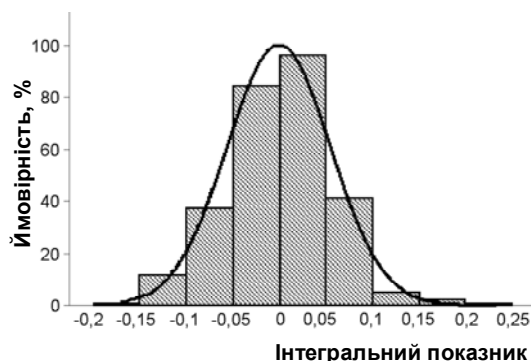


Рис. 5. Гістограма інтегрального показника утворення поверхневих карстопроявів, розрахованого з урахуванням всіх параметрів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності

Розподіл імовірності значень інтегрального показника вказує на високий ступінь його наближення до теоретичного нормального закону розподілу. Далі з використанням функції Лапласа розраховуються значення імовірності процесу розвитку карсту для території досліджень. Оптимальні умови для утворення поверхневих карстопроявів настають тоді, коли значення ймовірності розподілу комплексного інтегрального показника, що враховує вплив факторів різної природи, досягає свого максимуму. Карти розподілу ймовірності зазначеного показника слід розглядати як прогнози.

З наведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Значна ураженість території Західного регіону України проявами карсту, активізація якого часто може мати катастрофічні наслідки, свідчить про необхідність прогнозування розвитку цих процесів в просторі.

2. Дослідження просторової закономірності розвитку поверхневого карсту на регіональному рівні слід проводити з врахуванням сумарного впливу можливих факторів процесу карстоутворення. Для отримання достовірного результату відбираються ті фактори, які є значимими за характером впливу.

3. Кінцевим результатом виконаних досліджень є розрахунок інтегрального показника утворення поверхневих карстопроявів, який на кількісному ймовірнісному рівні враховує сумарну дію факторів карстоутворення. Просторовий прогноз поверхневих проявів карсту здійснюється шляхом побудови карт розподілу ймовірності зазначеного показника.

1. Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія: Підручник. – К., "Манускрипт". – 1998. 2. Гайдін А.М., Рудько Г.І. Сульфатний карст та його техногенна активізація (на прикладі Карпатського регіону України). – К.: "Знання" України, 1998. – 76 с. 3. Климчук А.Б. Роль спелеогенеза в формуванні серних месторождений Предкарпатья. – Симферополь: ДІАІПІ, 2008. – 64 с. 4. Кузьменко Е.Д., Крижанівський Є.І., Карпенко О.М., Журавель О.М. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійності експлуатації трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №4(17). – С. 24-35. 5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році. – К.: ДП "Агентство "Чорнобильінформ", 2006. – 242 с. 6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – К.: ДП "Агентство "Чорнобильінформ", 2007. – 236 с. 7. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 321 с. 8. Стахів Т., Павлюк В., Гаврилишин І. та ін. Узагальнення матеріалів по вивченню екогенних геологічних процесів по території діяльності підприємства та інженерно-геологічне довідчення території Львівської та частково Закарпатської областей з метою геологічного обґрунтування протизсувних заходів та геологічного забезпечення УІАС НС/ Звіт про науково-дослідну роботу. – Львів: ДП "Західукргеологія", 2006. – 299 с.

Надійшла до редколегії 12.04.08

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837:550.348

І. Крив'юк, асп.

ОСОБЛИВОСТІ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ СТІЙКОСТІ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ СХИЛІВ НА ДІЛЯНКАХ ГАЗОПРОВОДІВ

Розроблено та впроваджено комплексний підхід до розрахунку стійкості схилу з урахуванням геофізичних даних. Проаналізовано результати комплексного підходу до оцінки зсувної небезпеки на прикладі двох зсувних ділянок в районі газопроводів.

The complex approach to calculation of stability of a slope in view of geophysical data is developed and entered. Results of the complex approach to an estimation of sliding dangers on an example of two sliding sites in area of gas mains are analysed.

На даний час розроблено та впроваджено комплексний підхід до оцінки зсувної небезпеки, який передбачає поєднання послідовного вивчення зсувних ділянок геологічними, геофізичними та інженерно-геологічними методами, з розрахунком стійкості схилу та прогнозом можливості виникнення та активізації зсувів. Переваги такого комплексного підходу є наступними:

1) до недавня прогнозування активізації зсувних процесів проводилося на основі комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних з розрахунком функції комплексного показника та критерію ймовірності зсувних процесів, що дає можливість оцінити зсувонебезпечність на ймовірнісному рівні [1]. Подальший розрахунок стійкості схилу дає можливість на кількісному рівні оцінити небезпеку розвитку зсуву на схилі;

2) основними кількісними методами оцінки схилів і відповідно прогнозу зсувних процесів на них є розрахункові. Дані методи прийнято називати методами розрахунку

стійкості схилів. На даний час запропоновано декілька груп таких методів. Основою більшості з них є теорія рівноваги однорідного ізотропного середовища. Перевага розрахункових методів полягає в тому, що вони дають можливість як оцінити наявну ситуацію на досліджуваній ділянці, так і змодельовати ситуацію, враховуючи вплив різних можливих зсувоініціюючих факторів, і, аналізуючи отримані дані, вибрати найефективніші методи запобігання подальшого розвитку зсувного процесу;

3) геофізичні методи дослідження дають цінну та незамінну інформацію для подальшого розрахунку стійкості схилу – оконтурення зсувного тіла в просторі, і, що найважливіше, усувають основний недолік розрахункових методів – визначення гіпотетичної ймовірної поверхні ковзання [2]. За допомогою методу вертикального електричного зондування можна встановити як положення поверхні ковзання, так і її тип (круглоциліндрична чи плоско-ступінчаста).

Розрахунок стійкості схилу проводився за методикою, наведеною в [3; 4]. Загальна формула, за якою велись подальші розрахунки коефіцієнтів стійкості схилу, була наступною:

$$\eta = \frac{\sum N_i f + CL}{\sum T_i} \frac{n!}{r!(n-r)!}, \quad (1)$$

де η – розрахунковий коефіцієнт стійкості схилу; N_i – нормальна складова ваги P_i i -тої частини масиву; f – розрахунковий коефіцієнт внутрішнього тертя порід; C – розрахункове щеплення порід, що утворюють поверхню ковзання; L – довжина поверхні ковзання; T_i – складова сили тяжіння i -тої частини масиву.

Умова рівноваги схилу виконується при $\eta = 1$, відповідно схил є стійким (з деяким запасом) при $\eta > 1$ та зсувонебезпечним при $\eta < 1$ [5].

Комплексний підхід до розрахунку стійкості схилу з врахуванням геофізичних даних та формули (1) доцільно проводити за наступним алгоритмом:

- 1) оконтурення зсувонебезпечної ділянки геофізичними методами;
- 2) визначення положення поверхні ковзання за геофізичними даними та уточнення її типу;
- 3) визначення коефіцієнта внутрішнього тертя порід та розрахункового щеплення порід, що утворюють поверхню ковзання;
- 4) розрахунок η для різних варіантів положення поверхні ковзання;
- 5) аналіз одержаних розрахункових даних.

В зазначеному алгоритму додаткових пояснень потребує пункт 3. Як відомо, показники, що відповідають за опір порід зсуву (f і C), визначаються за допомогою польових і лабораторних досліджень [6]. При відсутності таких досліджень, дані показники слід вибирати з літературних даних для конкретних порід. Однак, при наявності зсуву на ділянці досліджень та відомостей про поверхню ковзання, по якій відбулося зсування порід, один з коефіцієнтів (f або C) можна вибрати з літературних даних, а інший розраховувати наступним чином. Коли відбувається зсув порід, то, очевидно, що й порушується умова рівноваги схилу. Досвід показує, що навіть при незначних відхиленнях значення η від 1 в сторону зменшення, відбувається зсування порід. З формули (1) випливає, що при умові $\eta = 1$:

$$f = \frac{\sum T_i - CL}{\sum N_i}, \text{ або } C = \frac{\sum T_i - \sum N_i f}{L}. \quad (2)$$

Отже, значення f або C , розраховане за формулою (2) з деяким заменшенням відповідає коефіцієнту внутрішнього тертя порід або розрахунковому щепленню порід, при якому можливий зсувний процес;

Проаналізуємо результати комплексного підходу до оцінки зсувної небезпеки на прикладі двох зсувних ділянок в районі газопроводів.

Ділянка в районі потічка Глинниця біля села Глинниця, Сторожинецького району, Чернівецької області, через яку проходить лінійна частина магістрального газопроводу [7].

Геофізичні дослідження на даній ділянці виконано з метою визначення розмірів зсувного тіла, а також причин та механізму зсувного процесу, в результаті чого повинні бути створені передумови та отримані необхідні дані для прийняття рішення щодо запобігання подальшого розвитку зсувного процесу або перенесення траси газопроводу.

Конкретними задачами геофізичних досліджень були:

- визначення розмірів зсувного тіла в плані;
- визначення положення поверхні ковзання зсуву;
- встановлення факту наявної розгрузки зсуву або подальшого його розвитку.

Геофізичні дослідження, що виконані на ділянці, включали комплекс наступних методів:

- вертикальне електричне зондування (ВЕЗ);
- метод природного електричного поля (ПЕП);
- метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ);
- газогеохімічна зйомка;
- метод біолокації.

Розташування точок геофізичних досліджень на ділянці зображено на рис. 1.

Біолокація виконувалась по тим самим точкам що і ПЕП.

В результаті комплексної інтерпретації узагальнено результати по всіх методах досліджень, а також проведено їх порівняння з метою виявлення потенційно зсувних зон, які були б відображені в даних декількох методів. Оскільки, найбільш виражені аномалії нам дали методи ПЕП та ПІЕМПЗ, тому за основу прийнято ці два методи. В таблиці 1 узагальнено результати інтерпретації по методах ПЕП та ПІЕМПЗ.

Таблиця 1

Узагальнення результатів інтерпретації по методах ПЕП та ПІЕМПЗ

Метод	Зсувна ознака	Аномалія поля	Застосування методу (профіль)	Місце знаходження аномалії (відстань по профілю, м)
ПЕП	Гідравлічний тиск, механічний тиск	Збільшення природного електричного потенціалу U	Профіль 1	0-25; 42-57; 95-106; 136-184
			Профіль 2	0-19; 72-85; 98-109; 120-135
ПІЕМПЗ	Деформація гірських порід	Зменшення коефіцієнта анізотропії χ	Профіль 1	12-26; 51-68; 88-94; 115-128; 143-157
			Профіль 2	47-54; 63-91; 108-131
			Профіль 3	46-63; 74-90

Аномальними зонами для методу ПЕП взято половини додатних піків на графіках зміни природного електричного потенціалу U по профілях, а для методу ПІЕМПЗ – половини від'ємних піків на графіках зміни коефіцієнта анізотропії χ по профілях.

На рис. 2 на карту коефіцієнта анізотропії χ нанесено аномальні зони по методах ПЕП та ПІЕМПЗ. Більшість аномалій узгоджуються між собою і попадають в аномальну зону з підвищеною зсувонебезпечністю, оконтуреною ізолінією 0.47. Цю зону, з деякими поправками, і слід вважати зоною зсуву.

За результатами кількісної інтерпретації даних ВЕЗ в розрізі виділено 6 шарів з різними електричними опорами. З точки зору зсувної небезпеки, поверхня ковзання може бути проведена по покрівлі 2-го, 4-го або 6-го шару з поглибленням від покрівлі на 0.5–1.5м (за досвідом досліджень) в кожний шар.

На основі результатів інтерпретації кривих ВЕЗ побудовано геологічний розріз по профілю 1, який представлено на рис. 3. На даний розріз нанесено ймовірні поверхні ковзання, враховуючи сходінковий характер розвитку досліджуваного зсуву, встановлений в процесі

аналізу одержаних даних геофізичних досліджень. Як видно з рисунка 3, до сходинки №1 відноситься поверх-

ня ковзання I-II-III, до сходинки №2 – II-IV-V, до сходинки №3 – IV-VI-VII, до сходинки №4 – VI-VIII.

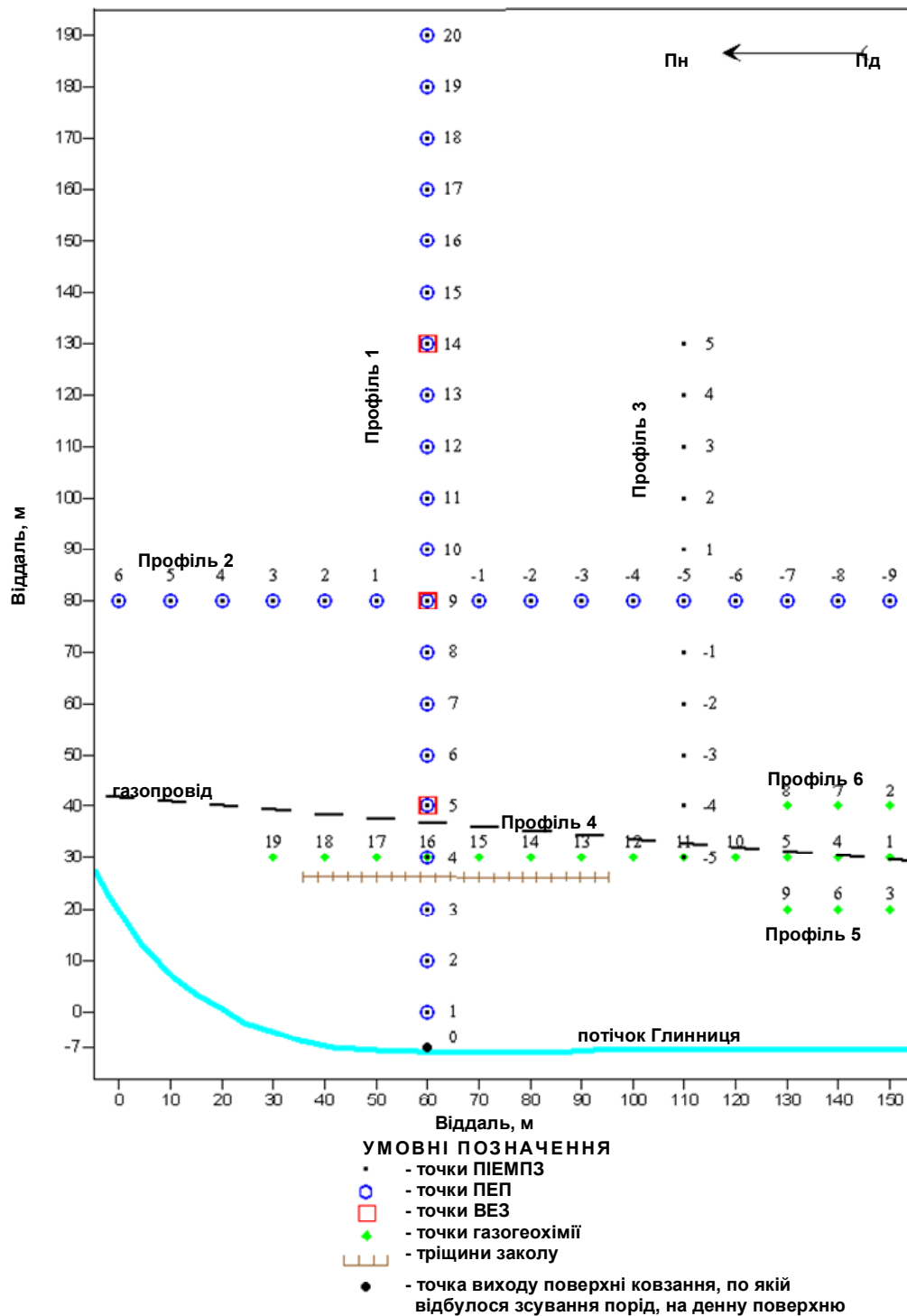


Рис. 1. Схема точок геофізичних спостережень

Послідовність розрахунку стійкості схилу була наступною:

1. Перш за все, обчислювався розрахунковий коефіцієнт внутрішнього тертя порід f для досліджуваної ділянки. В верхній частині сходинки №1 візуально спостерігалися тріщини відриву (пікет №4) – це вказує на те, що на даній сходинці вже відбулося зсування порід саме по поверхні ковзання I-III (пікет №0 – місце виходу порід на денну поверхню). Коефіцієнт f знаходився за формулою (2). Значення розрахункового щеплення порід, що утворюють поверхню ковзання вибиралось з [6]

2. Розрахунок коефіцієнта стійкості схилу для сходинки №1-4, взятих як одне ціле (поверхня ковзання I-VIII).

3. Розрахунок коефіцієнта стійкості схилу для сходинки №2-4 (поверхні ковзання II-V, IV-VII, VI-VIII відповідно).

Результати розрахунку коефіцієнтів стійкості схилу для різних поверхонь ковзання наведено в таблиці 2.

Як зазначалось вище, розрахунковий коефіцієнт стійкості повинен задовольняти наступну умову:

$$\eta \geq K_{\text{зап}} \quad (3)$$

Значення $K_{\text{зап}}$ при основних сполученнях навантажень для зсувних та зсувонебезпечних схилів захисних

споруд для першого ступеня відповідальності повинно дорівнювати 1.35 для зсувних ділянок та 1.25 для зсуво-небезпечних схилів, для другого – 1.3 та 1.2 відповідно [5].

Як бачимо з таблиці 2, розраховані значення коефіцієнта стійкості для поверхонь ковзання I-VIII та VI-VIII (η_{I-VIII} та $\eta_{VI-VIII}$) задовольняють умову (4) для першого

ступеня відповідальності, а коефіцієнти стійкості для поверхонь ковзання II-V та IV-VII (η_{II-V} та η_{IV-VII}) не задовольняє дану умову навіть для другого ступеня відповідальності.

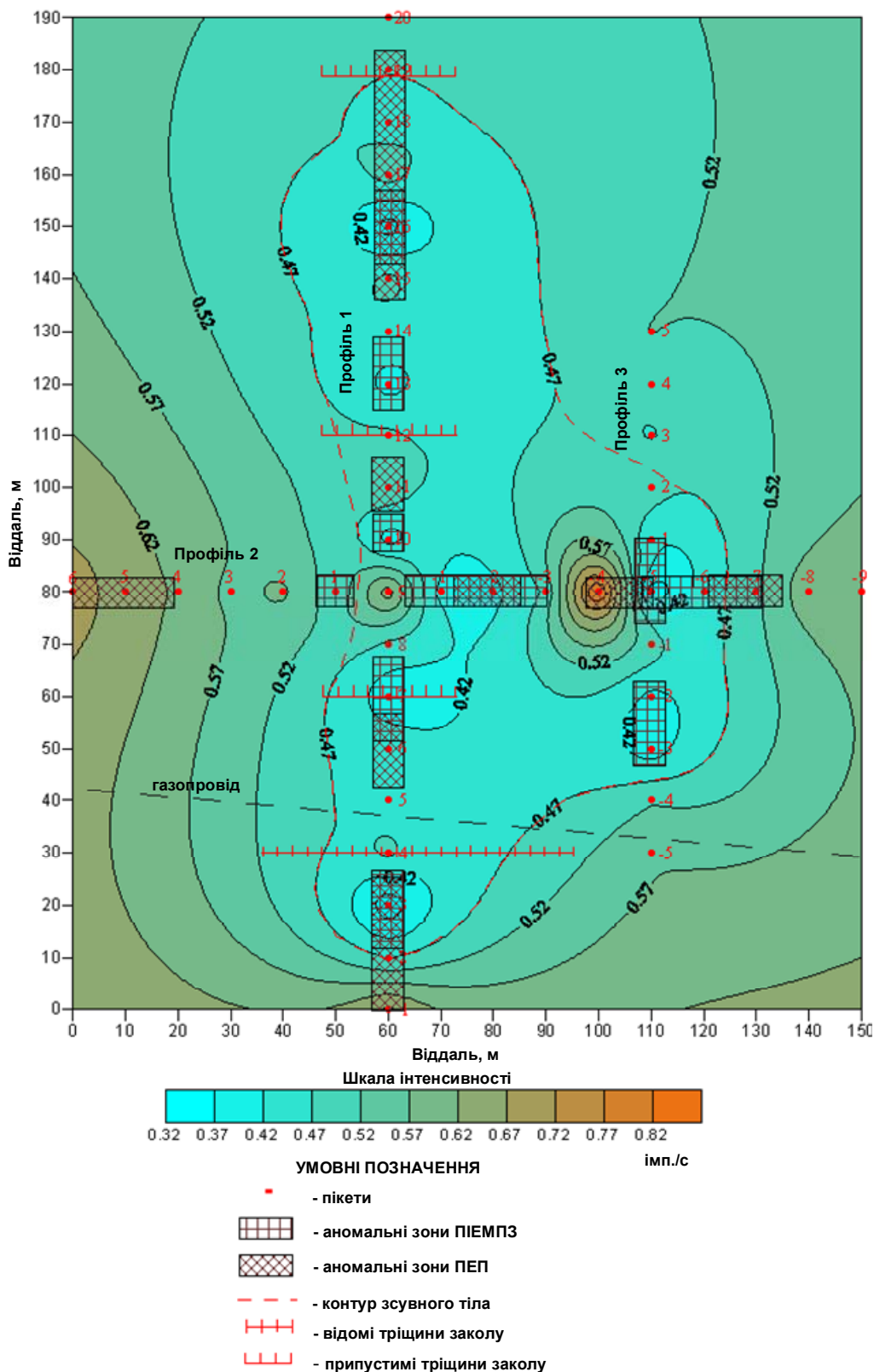


Рис. 2. Карта комплексної інтерпретації даних геофізичних досліджень

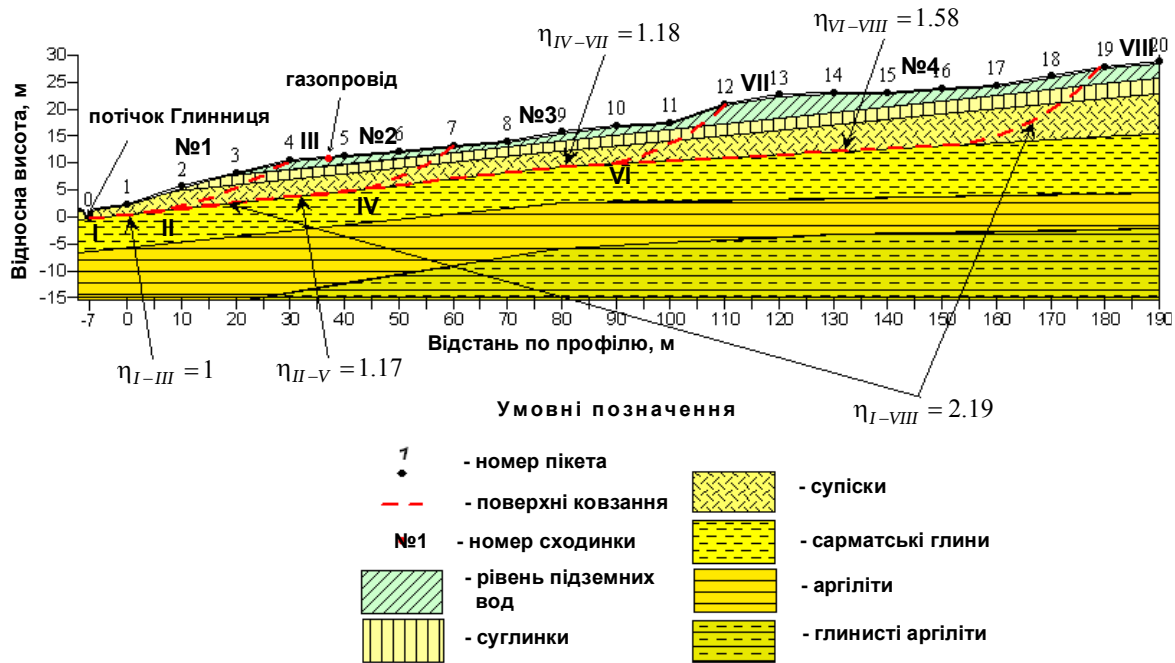


Рис. 3. Геологічний розріз через профіль 1 з нанесеними поверхніми ковзання

Таблиця 2

Узагальнена таблиця значення коефіцієнтів стійкості схилу

Поверхня ковзання	Фізичний зміст поверхні ковзання	Довжина поверхні ковзання, м	Форма поверхні ковзання	Максимальна глибина поверхні ковзання	Коефіцієнт стійкості η
I-III	Поверхня ковзання, по якій відбулося зсування порід (сходинка №1); взята для розрахунку коефіцієнта внутрішнього тертя порід f	37.4	круглоциліндрична	4	1
I-VIII	Загальна поверхня ковзання для сходинки №1-4, взятих як одне ціле	180	плоскоступінчаста	10	2.19
II-V	Поверхня ковзання для сходинки №2	55	плоскоступінчаста	7	1.17
IV-VII	Поверхня ковзання для сходинки №3	64	плоскоступінчаста	7	1.18
VI-VIII	Поверхня ковзання для сходинки №4	89	плоскоступінчаста	10	1.58

Оскільки, коефіцієнт стійкості для поверхні ковзання II-V (η_{II-V}) не задовольняє умову (3), то, можна стверджувати, що при сповзанні нижньої частина зсуву в потічок Глинниця по поверхні ковзання I-III внаслідок підмиву потічком берега, з часом може розвинути ще один зсув, по поверхні ковзання II-V, в зону дії якого попадає газопровід. Очевидно, щоб запобігти цьому, необхідно не дати сповзти нижній частині зсуву в потік. Для цього необхідно або укріпити берег потічка Глинниця, або підняти на певну висоту рівень його дна.

Ділянка на 1532-1535 км магістрального газопроводу "Союз" в районі річки Берестової біля села Леб'яже, Красноградського району, Харківської області [8].

Геофізичні дослідження виконано з метою визначення можливості розвитку зсуву на трасі переносу газопроводу, в разі наявності зсуву визначення розмірів зсувного тіла, а також причин та механізму зсувного процесу, в результаті чого мають бути створені передумови та отримані необхідні дані для прийняття рішення щодо переносу траси газопроводу "Союз".

Конкретними задачами геофізичних досліджень були:

- визначення ймовірності розвитку зсуву на схилі ділянки проектної траси газопроводу;
- визначення розмірів зсувного тіла в плані;

- визначення положення поверхні ковзання зсуву;
- встановлення факту наявності розгужки зсуву або подальшого його розвитку.

Польові роботи виконувались на схилі, через який планується прокладка нової траси газопроводу "Союз" в районі річки Берестової Харківської області Красноградського району с. Леб'яже, по п'яти профілях з кроком 25×25 м.

Геофізичні дослідження, що виконані на ділянці, включали комплекс наступних методів:

- вертикальне електричне зондування (ВЕЗ);
- метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ);
- метод природного електричного поля (ПЕП).

Метод ВЕЗ виконано з метою диференціації гірських порід по вертикалі за параметром електричного опору. Пласти, що мають низький електричний опір, звичайно представлені глинами, з ними пов'язані поверхні (дзеркала) ковзання.

На рис. 4 представлено літологічний розріз з нанесеними найбільш ймовірними поверхнями ковзання, в якому за основу взято результати буріння. Проте цей розріз скоректовано за даними ВЕЗ.

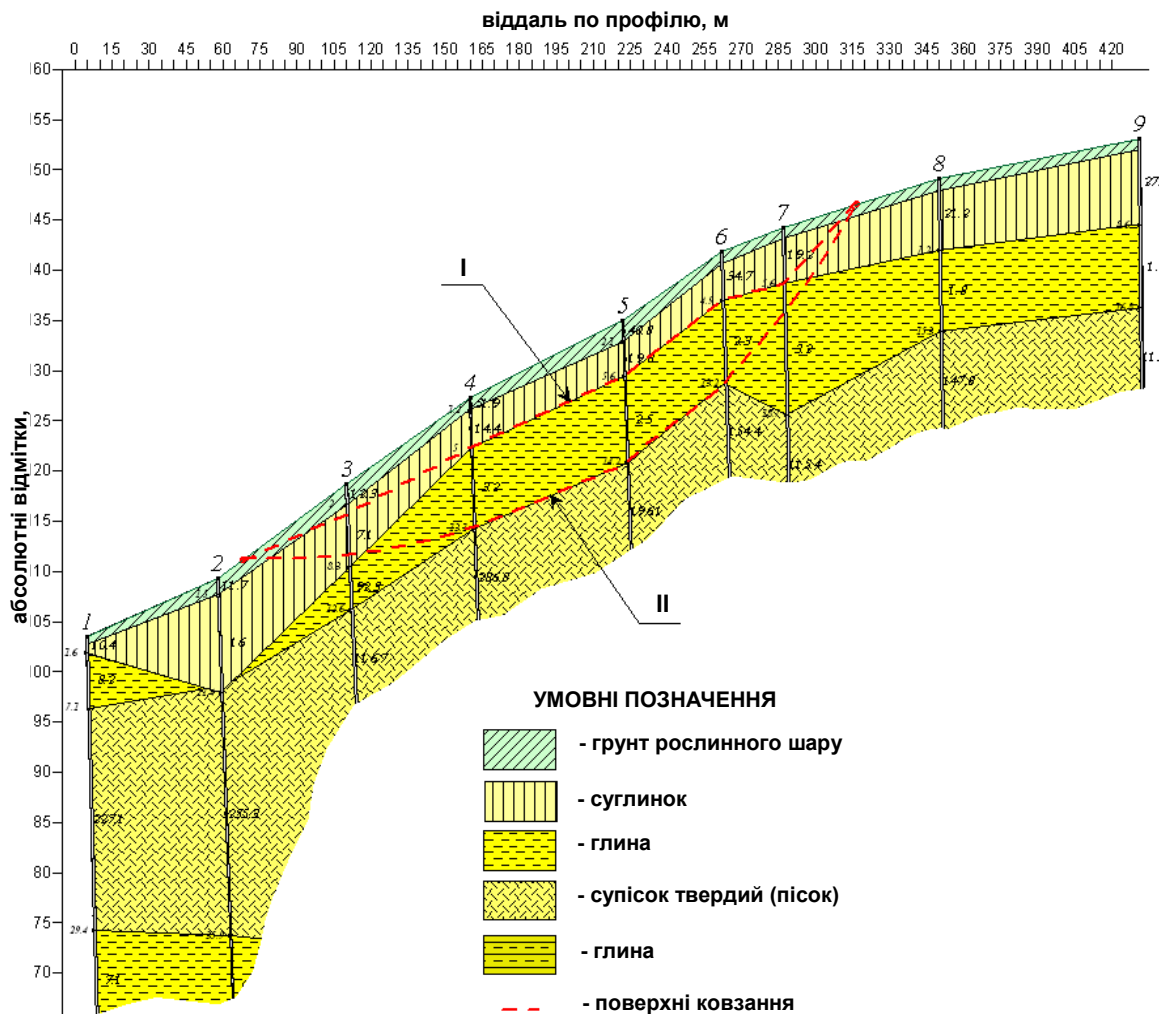


Рис. 4. Літологічний розріз за даними ВЕЗ

Аналіз ВЕЗ свідчить про те, що правильним є визначення типу зсуву та поверхні ковзання по покрівлі глин із зазначенням того, що дана поверхня може бути і вище (рис. 4). Проте, наявна ситуація, аналіз зсувних процесів на аналогічних за геологічною будовою територіях, а також аналіз інженерно-геологічних властивостей не дозволяє повністю виключити варіант наявності круглоциліндричної поверхні ковзання, яка розповсюджується в глини.

За даними ВЕЗ розріз слід розглядати наступний (зверху вниз): рослинний шар, суглинок, глина, супісок (або в окремих місцях пісок), глина. Поверхня ковзання зсуву можлива або по покрівлі глин, або по покрівлі супіска. Можливий складний зсув з двома поверхнями ковзання.

Аналіз карт інтенсивності ПІЕМПЗ свідчить про наявність розвантаженої зони в межах пікетів ПІЕМПЗ – 60÷320 по лінії проектної траси (пікет 50 по вісі абсцис). Ця зона розвантаження пов'язується, імовірно, із давнім або новим, таким, що породжується, зсувом. Слід відмітити, що границі цього зсувного тіла в межах точності спостереження (± 10 м) майже повністю співпадає з границями можливого зсувного тіла, які виділено на інженерно-геологічному розрізі. Таким чином, дані ПІЕМПЗ повністю узгоджуються з попередніми дослідженнями. Додатна аномалія в лівій нижній частині планшета тягнє до існуючого зсуву і свідчить про можливість його подальшого локального розвитку в цьому напрямку.

За даними ПЕП в суху погоду основний фільтраційний потік концентрується на флангах існуючого зсуву, а

при значному зволоженні – на схилі балки. Для проектно-ї ділянки підземні фільтраційні потоки не відмічено.

В результаті комплексної інтегрованої інтерпретації на території ділянки виділено п'ять аномалій (рис. 5).

Аномалії №1 та №3 зумовлені збільшенням значень поля ПЕП (10-20 мВ) та напруженості поля ПІЕМПЗ, виміряної вздовж схилу (2-2.6 імп/с), та невеликими значеннями опору (до 20 Ом·м). Рівень критерію зсуво-небезпечності P високий і дорівнює 0.7–0.9. Аномалії тяжіють до існуючого зсуву.

Аномалії №2, №4, №5 спровоковані, в основному, двома параметрами, а саме, потенціалом природного поля U (15-20 мВ) та питомим опором порід ρ (10-30 Ом·м). Максимальний рівень $P = 0.9$. Аномалія 2 локальна, тому не відіграє суттєвої ролі. Аномалії 4, 5 пов'язані одночасово із зміною U та ρ , тому пояснюються збільшенням зволоженості нижньої частини схилу, оберненою до балки.

За результатами комплексної інтерпретації імовірність розвитку зсуву на ділянці газопроводу (при його відсутності) є малою (до 0,3-0,4), тому з цієї точки зору схил є стійким.

Розрахунок стійкості схилу по трасі проектного газопроводу з урахуванням результатів геофізичних досліджень проведено для 6 варіантів з урахуванням наявності або відсутності на схилі труби при двох поверхнях ковзання: по покрівлі глин та по їх підшві (тобто по покрівлі супіску).

Результати розрахунку коефіцієнтів стійкості схилу наведено в таблиці 3.

Аналізуючи таблицю 3, можна зробити наступні висновки:

1) найменшим (1.7) є коефіцієнт стійкості при проведенні поверхні ковзання по покрівлі супіску, що підтверджує правильність розгляду цього варіанту.

2) в інших варіантах стійкість дуже велика: $\eta = 2.7 - 2.85$;

3) зважаючи на висновки 1) і 2), оптимальним слід вважати прийняте проектне рішення переносу траси газопроводу із плануванням поверхні (зняття рослинного шару та шару суглинку), що забезпечить необхідну стійкість схилу для будь-якого варіанту існування гіпотетичної поверхні ковзання.

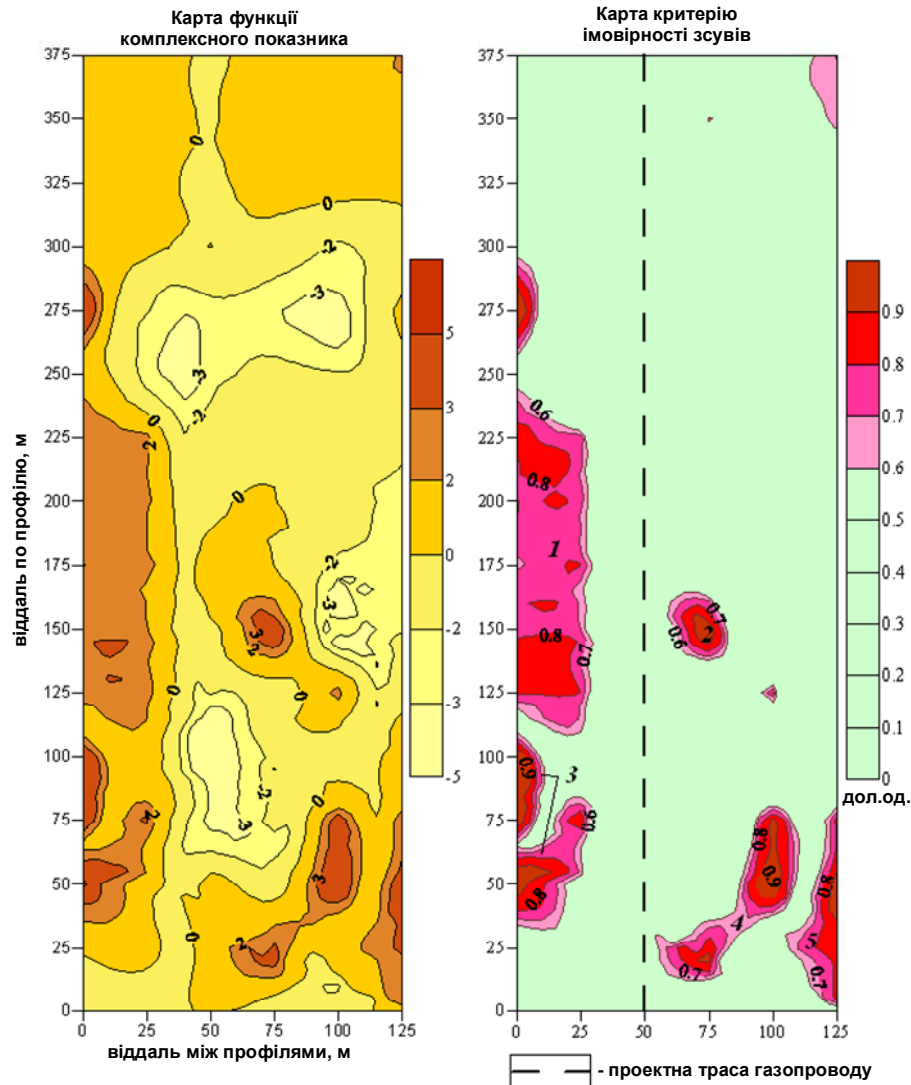


Рис. 5. Карті результатів комплексної інтегрованої обробки ефективних геофізичних параметрів

Таблиця 3

Узагальнена таблиця значення коефіцієнтів стійкості схилу

Варіант розрахунку	Фізичний зміст поверхні ковзання	Довжина поверхні ковзання, м	Форма поверхні ковзання	Максимальна глибина поверхні ковзання	Коефіцієнт стійкості η
I	Поверхня ковзання I проходить по покрівлі глини (рис. 4)	249	плоско-ступінчаста	5.6	2.8
II	Поверхня ковзання I проходить по покрівлі глини. Враховано вагу проектного газопроводу (рис. 4)	196	плоско-ступінчаста	5.6	2.77
III	Поверхня ковзання II проходить по покрівлі супіску (рис. 4)	217	кругло-циліндрична	14.2	1.72
IV	Поверхня ковзання II проходить по покрівлі супіску. Враховано вагу проектного газопроводу (рис. 4)	204.7	кругло-циліндрична	14.2	1.77
V	Поверхня ковзання II проходить по покрівлі супіску. Шар рослинного ґрунту та суглинку знято до глибини 7м (рис. 4)	159	кругло-циліндрична	7.5	2.85
VI	Поверхня ковзання II проходить по покрівлі супіску. Шар рослинного ґрунту та суглинку знято до глибини 7м. Враховано вагу проектного газопроводу (рис. 4)	159	кругло-циліндрична	7.5	2.7

1. Кузьменко Е.Д., Крив'юк І.В., Вдовина О.П. та ін. Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів/ Звіт про науково-дослідну роботу. – Івано-Франківськ: Ін-т проблем надійності газонафтопроводів, 2007. – 178 с. 2. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. – М.: Стройиздат, 1977. – 230 с. 3. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. – Л.: Недра, 1977. 4. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1982. 5. Ніщук В.С. Інженерний захист та освоєння території. Довідник. – К.: Основа, 2000. 6. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины. – К.: Наукова думка, 1992. 7. Кузьменко Е.Д., Пилипенко А.А.,

Крив'юк І.В. та ін. Моніторинг лінійної частини магістрального газопроводу на предмет ризику небезпечних геологічних процесів в межах Сторожинецької ділянки/ Звіт про науково-дослідну роботу. – Івано-Франківськ: НДІ гідрогеології, інженерної геології та екогеології, 2007. – 68 с. 8. Кузьменко Е.Д., Штогарин М.В., Крив'юк І.В. та ін. Винос магістрального газопроводу "Союз" зі зсувонебезпечної ділянки на кілометр 1532-1535. Геолого-геофізичне обстеження ділянки газопроводу в районі зсуву/ Звіт про науково-дослідну роботу. – Івано-Франківськ: ТЗОВ Нафтогазовий науково-технологічний парк, 2008. – 53 с.

Надійшла до редколегії 22.05.08

УДК 552.53-552.2

Ю. Онанко, асп.

АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ В КВАРЦИТІ КРИВОРІЗЬКОЇ НАДГЛИБОКОЇ СВЕРДЛОВИНИ ТА ПІСКОВИКУ ПРИ ТЕРМІЧНОМУ ВПЛИВІ

Досліджено ефекти акустичної емісії, що виникає під впливом термомеханічних напруг у кварциті. Виявлено імпульси пружних хвиль від мікротріщин-емітентів, які, вірогідно, зв'язані із існуванням пружної рівноваги в кварциті.

Effects of acoustic emission under thermal-mechanical strains in quartzite are investigated. Elastic waves pulses are discovered from micro fractures that of probably connected with elastic balance in quartzite.

Геологічна структура пісковику, особливості термічного ініціюючого впливу визначають динаміку процесу локальної перебудови і тип акустичної емісії (АЕ). Основними джерелами АЕ є залишкові механічні напруги на границях розділу, міжзернові процеси тертя, утворення тріщин, двійникування кристалічної решітки, фазові перетворення. Для виникнення АЕ потрібна ініціююча АЕ зовнішня сила, що за рахунок фізичних механізмів, призводить до надлишкових локальних деформацій гірської породи. Тензорні поля геофізичних параметрів геологічного середовища та характеристики його напружено-деформованого стану представляють собою випадкові поля. Структура гірської породи, її фізичні властивості, особливості термічного ініціюючого впливу визначають динаміку процесу локальної перебудови і тип АЕ – дискретна чи неперервна.

Дана робота присвячена вивченню динаміки неоднорідного термального впливу створеного потужним імпульсним наносекундним лазером у дисперсних твердих тілах, зокрема у кристалічних гірських породах – кварцитах Криворізької надглибокої свердловини (КНГС). В якості об'єкту досліджень обрані кварцити КНГС з глибини $h \approx 2300$ м, які зазнали інтенсивних динамометаморфізуючих процесів, що привело до утворення системи тріщин L-типу. В текстурному малюнку досліджуваного крупнозернистого пісковику спостерігається перехід від брекчіювання до часткової мілонітизації та філонітизації. Розмір пор у крупнозернистому пісковику був $d \approx 50$ мкм. Поверхня крупнозернистого пісковику була сильно неоднорідна за коефіцієнтом поглинання для випромінювання лазера.

Загальне підсилення реєструючої апаратури на основі спеціалізованого акустоемісійного приладу АФ-15

було 60-70 дБ. Потужність імпульсу рубінового лазера $I \approx 300$ МВт/см². Тривалість дії імпульсу рубінового лазера $t \approx 20$ нсек з довжиною хвилі $\lambda = 694$ нм. Площа лазерної плями була $S_0 \approx 1 \times 1$ мм².

Створений рубіновим лазером короточасний термічний вплив на пісковику призвів до локального розплаву поверхні. Після припинення дії лазерного випромінювання застигання розплаву почалося саме з поверхні (найтефективніший тепловідвід), а розширена (розплавлена) нижня частина кратеру створила додаткові стискаючі механічні напруги, що "втягують" центральну частину поверхні кратеру в глибину пісковику. При опроміненні протилежних сторін кварциту амплітуда акустичного відгуку значно відрізнялася, як наслідок тонкошаруватості текстури кварциту і наявності анізотропії пружних характеристик. Причинами цього могли бути значна анізотропність кварциту та крупнозернистого пісковику вздовж вісі лазерного променя.

На рис. 1а наведена фотографія акустичного відгуку при опроміненні рубіновим лазером інтенсивністю $I \approx 300$ МВт/см² в крупнозернистий пісковику № 27959, що супроводжувалося створенням неоднорідних термомеханічних напруг з проплавом кратеру та викидом на поверхню зразка розплаву. Співставлення акустичного відгуку в крупнозернистому пісковику, зображеному на рис. 1а, з часовим терміном дії імпульсу рубінового лазера інтенсивністю $I \approx 300$ МВт/см², зображеному на рис. 1б, та розмірами зразка вказують на формування 2-го та 3-го "максимумів" (накладених в часі імпульсів) через механізм АЕ, оскільки часові затримки їх появи та довжина кінцевого сформованого імпульсу не можуть бути пояснені в рамках фототермопружного механізму.

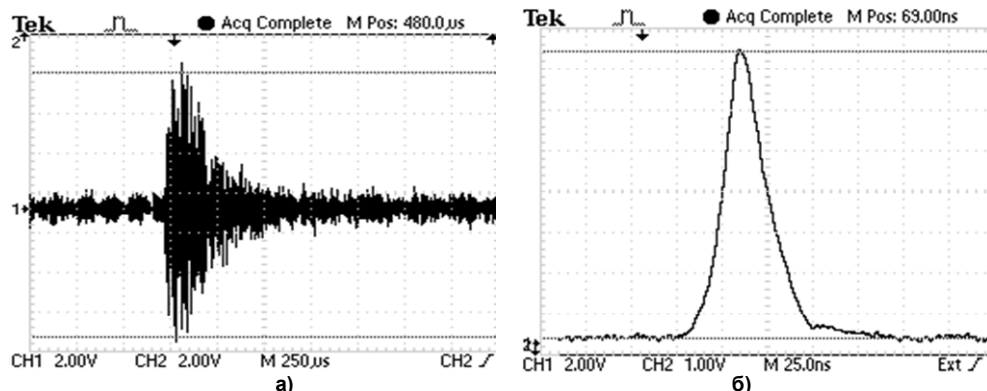


Рис. 1. а) Опромінення в крупнозернистий пісковику лазером інтенсивністю $I \approx 300$ МВт/см²; 2 В/под, 250 мкс/под; б) Тривалість дії імпульсу рубінового лазера $t \approx 20$ нс з довжиною хвилі $\lambda = 694$ нм