

УДК 504:574. 661.8:546.3

**Н. О. Д'яченко, Т. М. Яловчак, Д. Л. Касьяненко**

## **ОЦІНКА ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ (СОЛОТВИНО)**

Проведено аналіз існуючих сучасних екологічних проблем території смт. Солотвино, а саме: інтенсивний розвиток глибинного карсту; зміни гідрогеологічного режиму; порушення цілісності соляного масиву та його руйнувань з відповідними деформаціями надсолевих відкладів та рельєфу поверхні. Проаналізована динаміка провалоутворення земної поверхні в межах смт. Солотвино, динаміка розростання площі водойм. Розроблено методологічний аспект інструментарію оцінки інтегральної еколого-технологічної ситуації в межах території Солотвино. Розраховано показник трансформації в часі та просторі - індекс виявлення відносних змін довкілля стосовно розвитку суфозійно-карстових процесів, який необхідно враховувати при вирішенні питань екологічної небезпеки, та зроблене нормування показників забруднення поверхневих вод у вигляді індексу забруднення (І забр) за рахунок оцінки хімічних складових поверхневих вод досліджуваної території на базі методу нормування фактичних концентрацій моніторингових даних в розрахунку до ГДК. Створено просторово-часові карти рівнів індексів виявлення відносних змін довкілля (трансформації) у вигляді картограм з прив'язкою до місцевості. Запропоновано індекс виявлення відносних змін довкілля, визначати як відношення площі трансформації на декілька періодів часу, використовуючи технології космічного моніторингу (знімки супутників Landsat 7) та з виконанням розрахунків за допомогою програмних засобів Google Earth, ГІС-моделювання та статистичних розрахунків. Встановлено, що за рахунок спорудження ізольованих басейнів, які місцеві жителі наповнюють відкачуваною ропою із провалів над шахтами, посилюється комплекс суттєвих багаторічних незворотних змін у навколишньому середовищі (НС), що призводить до руйнування рівноваги у природно-техногенній системі та до значних негативних наслідків. Забір води в сучасні часи провокує активізацію суфозійно-карстових процесів за рахунок збільшення радіусу депресійної лійки «великого колодязя» та сприяє збільшенню площ водозборів. Зниження рівня стаціонарної поверхні води у озерах над шахтами за умови відкачок створюють умови додаткового припливу вод зони аерації та підземних вод у провали за рахунок встановлення рівня. Утворення на земній поверхні таких форм рельєфу як вирви, провальні воронки та воронки зрушення, що затоплені водою, не виглядають стабільними за період досліджень (2014-2020 рр.). За результатами моделювання індексу трансформації встановлено, що площі перерахованих форм рельєфу зросли майже в 15 разів. Встановлено, що найбільш високий показник І забр. на окремих ділянках, належить хлору (Cl). Тобто розчи-

нення солей продовжується.

**Ключові слова:** еколого-технологічна ситуація, надзвичайна ситуація, індекс виявлення відносних змін довкілля, Landsat 7, Google Earth, картограма.

### **Вступ.**

В останні роки пріоритети в природоохоронній політиці, що засновані на обліку ГДК та інших норм і нормативних впливів на природу, переглядаються. Причина: невисока ефективність нормативного підходу через можливість суб'єктивного підходу до «норми» та маніпулювання цим поняттям. У зв'язку з цим в основу державної екологічної політики в умовах прогресуючого забруднення поступово закладається концепція екологічного ризику. Чинник екологічного ризику існує на будь-яких виробництвах, незалежно від місць їх розташування. Однак існують регіони, де порівняно з екологічно благополучнішими районами, у багато разів перевищено ймовірність прояву негативних змін в екосистемах, а також ймовірність виснаження природно-ресурсного потенціалу і, як наслідок, великий ризик втрати здоров'я та життя для людини. Ці регіони отримали назва зони підвищеного екологічного ризику.

У межах регіонів підвищеного екологічного ризику виділяють зони:

1) хронічного забруднення довкілля; 2) підвищеної екологічної небезпеки; 3) надзвичайної екологічної ситуації; 4) екологічного лиха.

До зон надзвичайної екологічної ситуації відносять території, на яких внаслідок впливу негативних антропогенних факторів відбуваються стійкі негативні зміни довкілля, що загрожують здоров'ю населення, стану природних екосистем, генофондам рослин та тварин.

В Україні такою зоною на основі державної екологічної експертизи оголошена територія смт. Солотвино, на якій відбулися незворотні зміни навколишнього середовища, що спричинили руйнування природних екосистем.

В Солотвино (південно-східна частина Тячівського району Закарпатської області) розміщене Солотвинське родовище кам'яної солі, яке приурочене до Верхньотисенської (Солотвинської) западини Закарпатського прогину. Родовище є купольною структурою асиметричної форми з кутами падіння на крилах від 55° до 85°: падіння південно-західного крила крутіше, ніж північно-східного, витягнуте у ПнЗ-ПдС напрямку. Це класичний приклад соляного штока, що протікає за рахунок інверсії щільностей та гравітаційного спливання молоді породи крил. Під четвертинними відкладами шток має в плані грушоподібну форму завдовжки 1880 м і завширшки 760 м.

Після повеней у 1995-1996 років та пізніше, починаючи з 2001 року на Солотвинському родовищі кам'яної солі виникла надзвичайна екологічна

ситуація, результатом чого у 2011 році стала втрата діючих шахт, аварійна зупинка роботи державного підприємства солевидобування, виникнення нестабілізованого рельєфу та деградація ландшафту, розвиток величезних провалів по всій території шахт та за межами гірничих відводів, а також припинення функціонування унікального підземного відділення санаторію «Українська алергологічна лікарня», діяльність якого була безпосередньо пов'язана з гірничими виробками соляних шахт.

За 220 років експлуатації Солотвинського родовища кам'яної солі було збудовано 9 рудників. Перші шахти невеликих глибин закладалися у приповерхній частині соляного куполу (біля зони вилуговування). Згодом, глибина шахт збільшилась (глибина шахт №9 та №8 - 300 м). Розвиток соляного карсту призвів до обвалу солезавантажувального бункеру шахти №9 (воронка: діаметр 130 м, глибина більш 100 м) у 2008 р. Станом на 2020 р. провал над шахтою №7 мав діаметр на рівні денної поверхні - 260 м, карстове озеро у ньому мало діаметр на рівні водної поверхні - 185 м. Є озера, які утворилися над старими шахтами №1 та №6.

Оскільки проникаюча у шахти вода розчиняла сіль і перетворювалася в «ропу», останню багато років відкачували із гірничих виробок та скидали в озера Затону. Всі затоплені рудники завжди впливали на стан земної поверхні, оскільки їх існування сприяло порушенню природної ситуації за гідрогеологічними умовами та розвитку суфозійних процесів. Кількість та площа поверхневих провалів з кожним роком збільшувалися. Після затоплення усіх шахт, озера Затону та провалів почали живитися прісними дощовими водами. Встановився природній гідрогеологічний режим поверхневих вод.

На період до 2020 року за даними моніторингу процес провалоутворення продовжувався. Наприклад, провали в районі урочища "Чорний мочар", шахта № 7, 8 збільшувалися за площею та глибиною зі швидкістю 1-2 м/тиждень. Суфозійна порожнеча в районі шахти №7 лише протягом однієї години 6 березня 2015 року збільшилася діаметром на 50-70 метрів. Що найстрашніше – провали ширяться у бік житлового масиву, та з досягненням критичного рівня затоплення шахти № 9 ймовірність виникнення небезпечних та непрогнозованих підземних процесів стає критичною. На період 2021 року за даними моніторингу карстовий (суфозійний) процес у смт. Солотвино потрохи призупинився. Останнім часом нові провали не утворюються, але зовнішні межі старих воронко розширюються. Останні заповнені водою, обсипається порода по бортах. Вчені констатують, що великих провалів не з'являлося з 2015 року, але це не означає, що карстовий або суфозійний процес

припинився. За думкою дослідників, під землею він відбувається, тому нові обвали можуть бути непрогнозовані.

Геодезичний моніторинг земної поверхні, проведений ще у 2007-2010 рр. показав [1], що провал шахти № 8 за 3 роки збільшився від 400 тис.м<sup>3</sup> до 730 тис.м<sup>3</sup>, провал шахти № 7 – з 435 тис.м<sup>3</sup> до 1110 тис.м<sup>3</sup>. Осідання земної поверхні за той же період максимально склали 26 см (під'їзна колія до проммайданчика шахти № 9), мінімально 11 см, тобто у середньому 62 мм/рік. За даними [2] у 2019 р. осідання поверхні у зоні гірничих робіт складало від 21 до 24 мм/рік. Тобто за десять років цей процес сповільнився, але не зупинився (рис. 1). На період 2021 р. зафіксовано збільшення діаметру провалів, які заповнені водою.

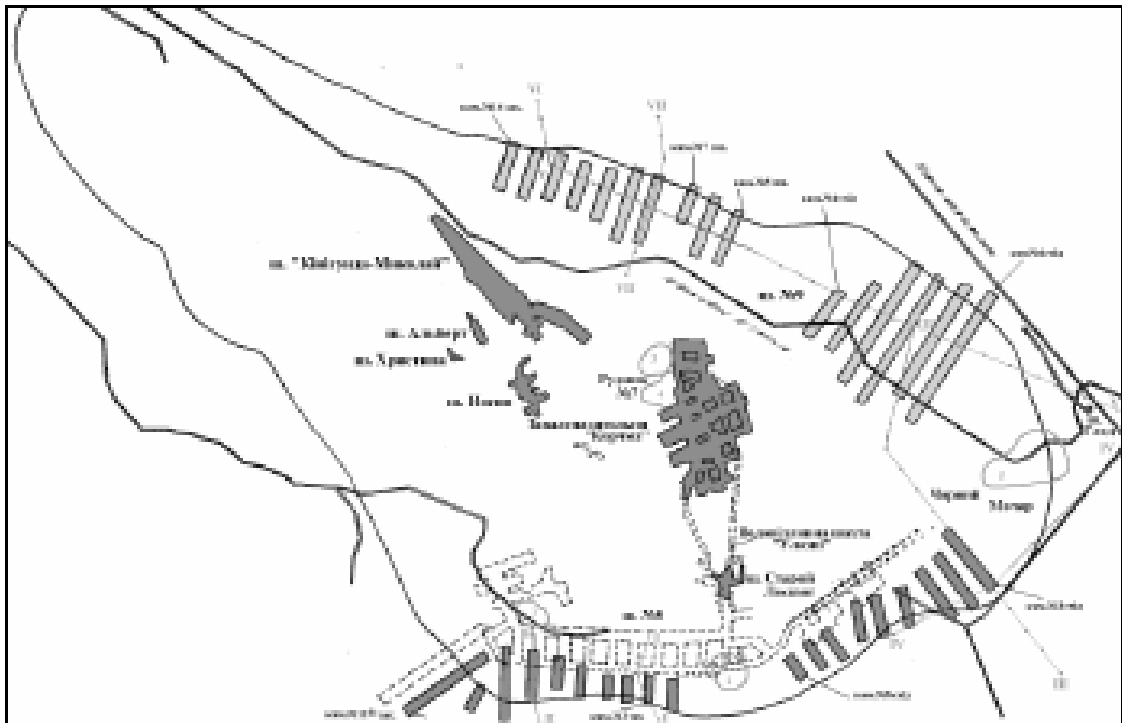


Рис. 1. Схема розташування гірничих виробок м. Солотвино з деталізацією найбільших карстових провалів [3].

Слід зауважити, що найбільші карстові провали Солотвинського солерудника, затоплені солоною та прісною водою у воронці на місці шахти №7 – «25-ій вирві». Офіційно – це заборонена зона, доступу сюди немає (Солотвино визнано зоною надзвичайної ситуації державного рівня). Втім, жителі не тільки мандрують цією територією, але довкола провалів із водою створюють купи сміття (несанкціоновані сміттєзвалища). З провалів, що затоплені солоною водою шлангами місцеві підприємці викачують воду до своїх солоних басейнів в будинках, що розташовані навколо провалів,

мешкають місцеві жителі, які не хочуть відселитися. В будинка за рахунок зсувів поверхні тріскаються стіни, завалюються дахи.

В той же час, великою сучасною проблемою карстових утворень на місці затоплених шахт Солотвинського солерудника є міграція солоної води - вона мігрує та потрапляє у річку Тиса. Аналіз екологічного стану р. Тиси за даними дослідників [4]: при злитті Білої та Чорної Тиси категорія якості води добра, а вже біля с. Великий Бичків вона змінюється на категорію 6 (погані). У точках відбору проб біля м. Солотвино категорія якості була 4 (задовільні). На наступному відрізку від Солотвино до Хуста категорія якості води в р. Тисі – 5 (посередні), а ближче до кордону з Угорщиною вона змінюється на 6, що характеризує стан води, як брудну. Тобто, процес засолювання за рахунок дренажу солоної води із затоплених шахт до р. Тиса, поступовий.

Після затоплення усіх шахт, озера Затону та провалів почали живитися прісними дощовими водами. Встановився природній гідрогеологічний режим поверхневих вод. Але така ситуація не влаштувала місцевих підприємців. Вони почали спорудження ізольованих басейнів, які наповнюють відкачуваною ропою (за допомогою встановлених на плавучих платформах насосів) із провалів над шахтами (№7, №9). Ці дії посилюють комплекс суттєвих багаторічних незворотних змін у навколишньому середовищі й призводять до руйнування рівноваги у природно-техногенній системі та до значних негативних наслідків.

Проведені в роботі [5] дослідження свідчать про те, що в сучасні часи забір води з озер та провалів над ГВ шахт провокує активізацію суфозійно-карстових процесів за рахунок збільшення радіусу депресійної лійки «великого колодязя» та сприяє збільшенню площ водозборів. За цих умов, відносно уповільнений рух розсолів підвищеної щільності компенсується збільшенням розміру провідних каналів за рахунок вилуговування солі. Зниження рівня стаціонарної поверхні води у озерах над шахтами за умови відкачок створюють умови додаткового припливу вод зони аерації та підземних вод у провали за рахунок встановлення рівня. Рух води до міста забору провокує додаткову руйнацію та солевинос. Площа та об'єм гірських порід, що залучаються до процесів вилуговування та винесення породного матеріалу за рахунок збільшення радіусу депресійної лійки, з кожним роком збільшуються. Виникають непрогнозовані ні за часом, ні за розташуванням додаткові зони карсту та пустоти. Головна особливість цього процесу полягає в тому, що початок руйнування протікає «знизу вгору», тобто починається у глибині масиву, потім його наслідки ми будемо спостерігати на ЗП у вигляді осідань, збільшення діаметрів «старих» провалів та утворення нових.

**Мета.** Оцінка інтегральної еколого-технологічної ситуації в межах території м. Солотвино.

**Об'єкт досліджень.** Об'єктом дослідження виступають природні і техногенні процеси екологічного стану й небезпеки м. Солотвино.

**Предмет досліджень.** Оцінка рівня трансформації екологічного стану за результатами розрахунку індексу виявлення відносних змін довкілля та аналізу процесів і явищ, які завдають або можуть завдати шкоду людині, суспільству та середовищу їх проживання.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети задіяні наступні методи досліджень: математично-статистичні, описові, графічні, методи 2-D моделювання, нормування та методи розрахунків в програмних засобах Google Earth, MS Excel та Surfer. Для деталізації площ трансформації з різним індексом використана методика «ковзного вікна» - розбивка площі на окремі квадрати та розрахунок індексу трансформації для кожного квадрату, з подальшою інтерполяцією отриманих даних.

#### **Аналіз попередніх досліджень.**

Багато фахівців різних наукових напрямків зосереджували свої дослідження на геологічних, гідрогеологічних, геодезичних, екологічних аспектах існуючої проблеми солерудників. Існує багато сучасних проектів вивчення екологічного стану досліджуваної території: проект ImProDiReT [6], проект EU Civil Protection Team Advisory Mission to Ukrain Solotvino Salt Mine Frea [7], Проект REVITAL I [8]. Дослідження були спрямовані на наступні об'єкти: картографування основних ризиків стихійних лих та вдосконалення стратегії їх попередження та усунення; польові експедиційні дослідження для вирішення еколого-геологічних та водно-екологічних проблем некерованого (автореабілітаційного) затоплення шахт; екологічна оцінка можливостей відновлення природних ресурсів у Солотвині з метою запобігання подальшому забрудненню басейну Верхньої Тиси.

Аналіз існуючих сучасних досліджень в рамках вищенаведених проектів показав, що:

1. Найбільша екологічна проблема або потенційний ризик для здоров'я населення та навколишнього середовища пов'язані з провалоутвореннями, карсто-суфозійними процесами.

2. Значний рівень надходження солі з оцінюваної території в річку Тиса, після завершення гірничих робіт у 2010 році не виявлено, тому потрапляння ропи в поверхневі води р. Тиси не є загрозою для закарпатців та для країн Дунайського басейну.

3. Відсутність у дослідженнях кількісних показників трансформації ландшафтів (зміни площі провалів або збільшення площі озер з солоною водою, збільшення площі відвалів відходів, тощо) у просторі та часі не дало якісно оцінити інтегральні екологічні зміни, що трапилися за останні 10-12 років (з моменту затоплення шахт).

4. Згідно з проектами, планувалося вивчити проблеми у селищі з наступним начерком напрямів порятунку та можливим відновленням не лише баз відпочинку та лікарні, а й навіть видобутку солі. Однак практичних дій у Солотвино так і не відбулося.

За умови перерахованих недоліків у сучасних дослідженнях, в роботі запропонований зовсім інший підхід – розрахунок індексу виявлення відносних змін довкілля, тобто трансформації, наприклад, земної поверхні, як основи розрахунку інтегральних екологічних змін.

### **Виклад результатів дослідження.**

Різні методи виявлення змін мають як переваги, так й недоліки. Жоден підхід не може застосовуватися до всіх випадків та не є оптимальним, але на практиці різні методи порівнюються, щоб знайти кращі результати виявлення змін. Сучасні методи необхідні для ефективного використання складних дистанційно відстежуваних даних, які нам доступні. Саме тому, в дослідженнях ми використали метод виявлення відносних змін довкілля за космічними знімками Землі, які допомогли нам визначити місця змін як за часом, так й за площею. Використовуючи технології космічного моніторингу та з виконанням ГІС-моделювання та статистичних розрахунків було проведено аналіз динаміки провалоутворення земної поверхні в межах м. Солотвино, динаміки розростання площі водойм та площі зайнятої під відходи.

Для дослідження в роботі ми використовували знімки супутників Landsat 7, програмне забезпечення Google Earth. Нами відібрано період з 2012 (2014) по 2020 роки, знімки яких мають гарну роздільну здатність. Ці знімки (рис. 2-4) були використані у вигляді основи для розрахунку та виявлення змін довкілля у вигляді індексу відносних змін довкілля (трансформації).

Індекс виявлення відносних змін довкілля за одним показником, визначався як відношення площі на останній період часу до попередньої площі (першого другого або третього знімків).

Результат оконтурювання площ водойм та провалів на період 2014 року (білий контур) та 2020 року (червоний контур) для порівняння та подальших розрахунків представлено на рис. 5.

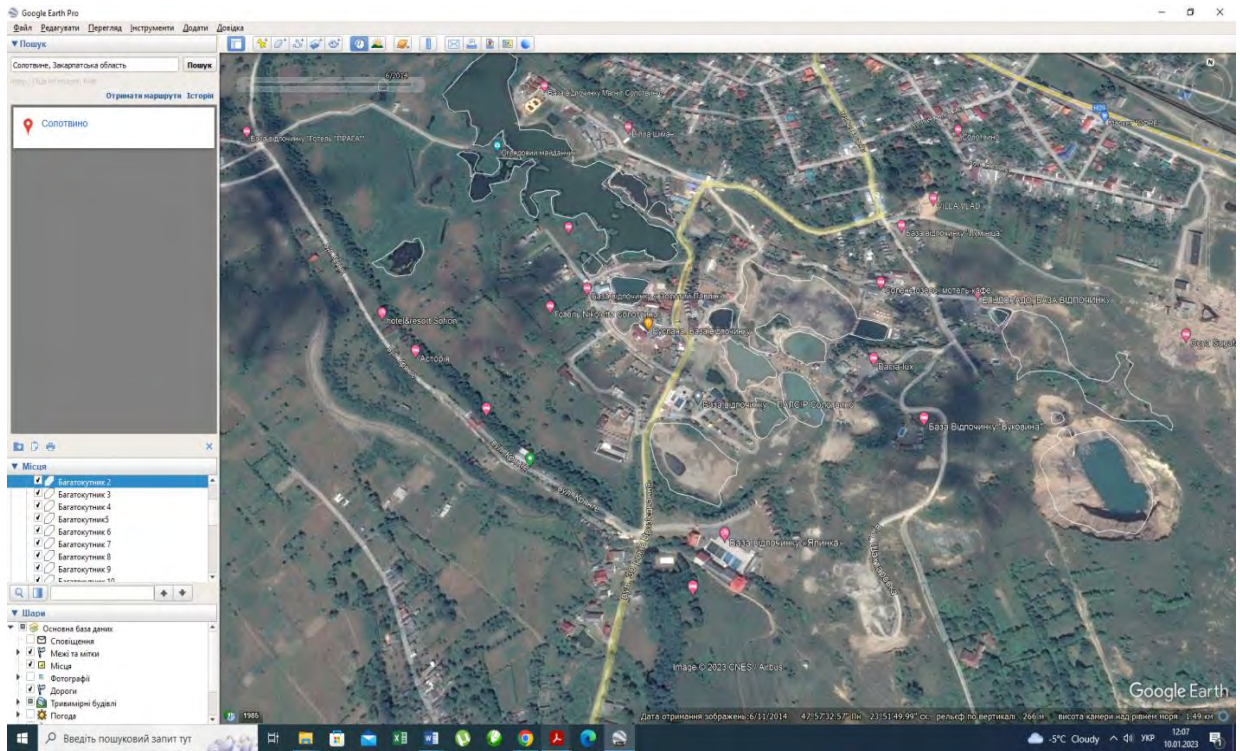


Рис. 2. Космічний знімок 2014 року.

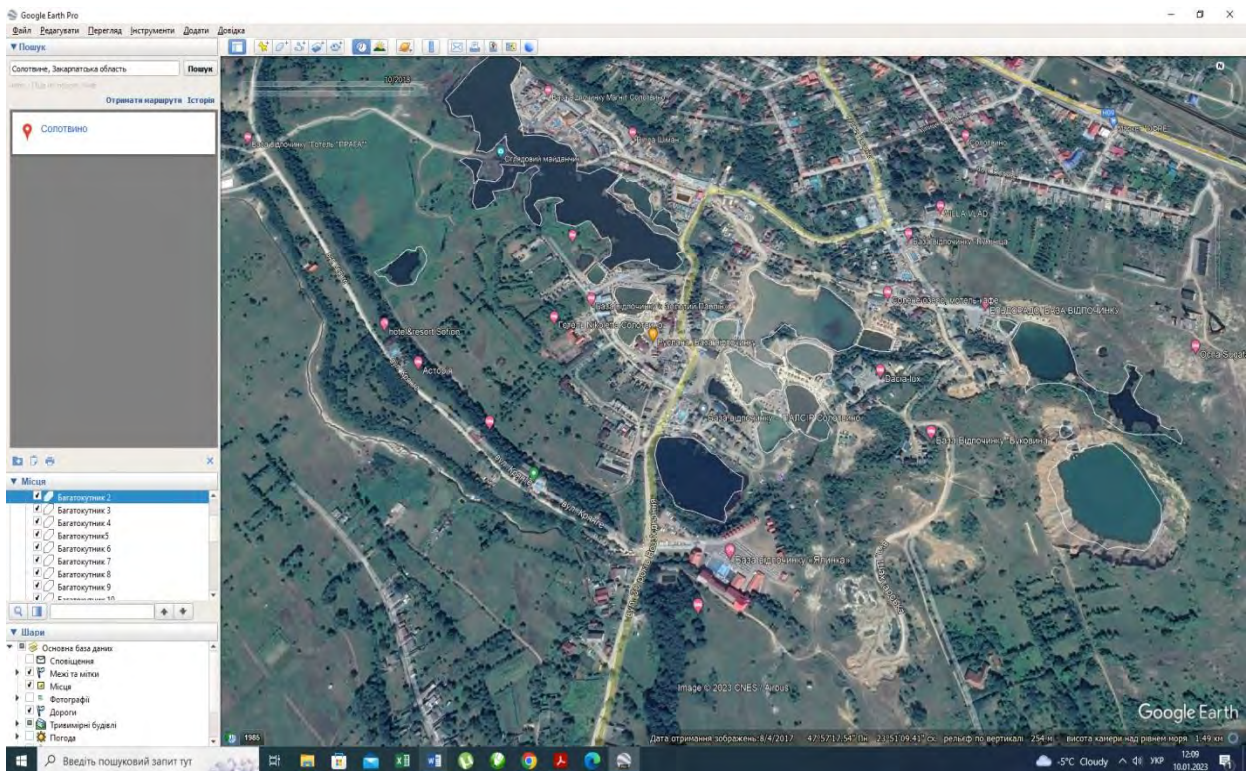


Рис. 3. Космічний знімок 2018 року.



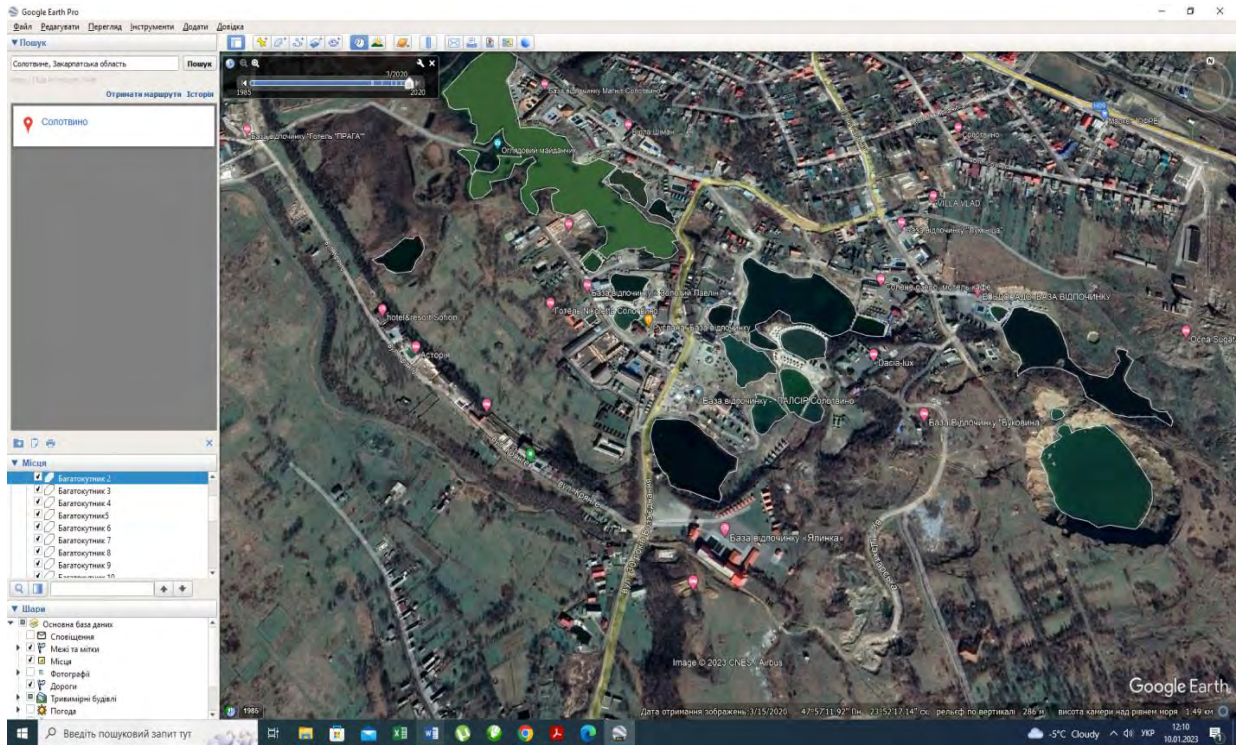


Рис. 4. Космічний знімок 2020 року.

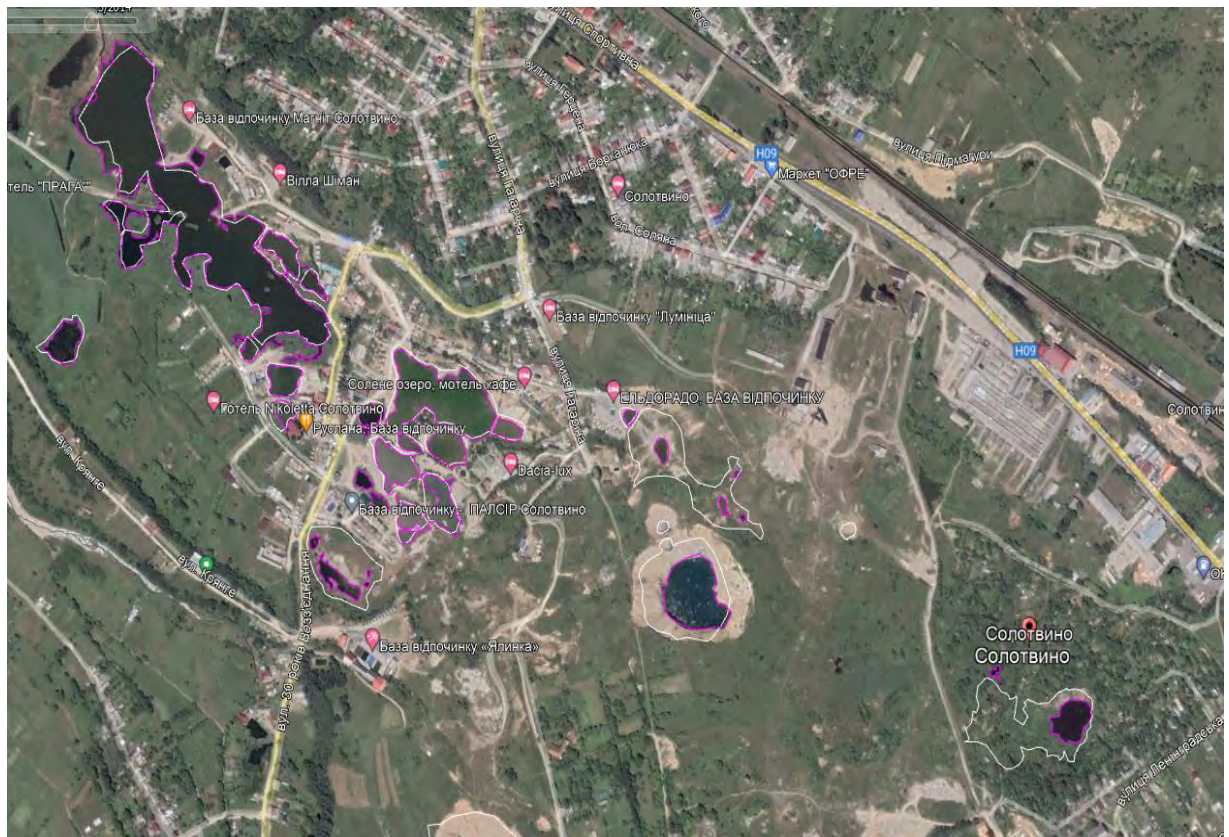


Рис. 5. Результат оконтурювання площ водойм та провалів на період 2014 року (білий контур) та 2020 року (червоний контур)

Індекс виявлення відносних змін довкілля за умови провалоутворення та затоплювання останніх водою, тобто збільшення / або зменшення площі розрахований за формулою:

$$I = \frac{\sum S_1 + S_2 + \dots S_n}{L_{2014}} / \frac{\sum S_1 + S_2 + \dots S_n}{L_{2020}}$$

де: I - індекс виявлення відносних змін довкілля за умови провалоутворення та затоплювання останніх водою, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>n</sub> – площі окремих утворювань на 2014 рік (L<sub>2014</sub>), та аналогічне – на 2020 рік (L<sub>2020</sub>) – табл. 1

Таблиця 1.

Інформативні показники для розрахунку індексу виявлення відносних змін довкілля

Провал/ суфозія № контур	рік, S. м <sup>2</sup>		Σ S окремих ділянок	I (Σ S 2020/2014)
	2020, S	2014. S		
1	18645	3265	3461	5,387171
2	20762	196		
3	3406	9761		2,06444
4	4494	1158		
5	4338	785		
6	2421	98,4	1328,4	12,27266
7	11540	343		
8	1535	102		
9	3000	450		
10	1297	1896		
11	2873	290	2303,9	5,008898
12	1415	60,3		
13	900	57,6		
14	62038	642		
15	1013	556		
16	3925	3825		
17	32244	1463		
18	3745	5698		
19	16303	709		
20	610	3039		
21	523	15796		
22	20151	1332		
23	322	284		
24		2990		
25		1247		
26		2628		
27		68668		
28		3932		
29		532		
Всього	217500	131803,3		1,650186

*Примітка:* жовтим, синім, червоним, зеленим кольорами виділено однотипні площі (їх зміни) на різні роки та розрахунковий показник I в межах цих площ.

Тобто, по окремих ділянках відношення площі 2020 року до площі 2014 року перевищує у 2-12 разів. Середня трансформаційне перетворення у бік деструктивних змін складає 1,65 (показник I). Тобто, провальні площі з роками не тільки змінили свій контур, а й площі.

Для деталізації площ трансформації з різним індексом розіб'ємо всю площу на квадрати і додаємо кожному номер (табл. 2, рис.6, а). Для кожного квадрата розрахуємо індекс трансформації, попередньо розрахувавши площі провалів та соляних озер для 92 квадратів (табл. 2). Оцифрувавши вихідні дані, побудуємо 2-D модель зміни індексу за площею, надавши центру кожного квадрата координати X, Y, де Z- кількісний показник індексу. Застосувавши функцію інтерполяції, отримаємо картограму зміни індексу за площею за період 2014 – 2020 років. Максимальний індекс становить 15, мінімальний 0,1 (рис. 6., б).

Таблиця 2.

## Розрахунок індексу трансформації

№ кв-ту	координата X	координата Y	площа, 2020р	площа, 2014р	Ін-кс транс-ції, I
2	359,7149	1912,026	2,7432	3,2067	0,855459
3	531,8415	1918,174	0,1054	0,1282	0,822153
7	357,6659	1748,096	4,7897	5,401	0,886817
6	136,3603	1750,145	0,0531	0,3408	0,15581
8	529,7925	1752,194	0,8191	1,0318	0,793855
12	355,6169	1578,019	1,4913	1,7728	0,841212
13	535,9396	1561,625	4,9044	5,0577	0,96969
14	703,9682	1559,576	1,9201	1,6664	1,152244
16	150,7039	1391,548	0,1074	1	0,1074
17	359,7149	1401,793	0,4169	0,5429	0,767913
18	535,9396	1403,843	1,3811	1,1039	1,25111
19	714,2138	1399,744	4,1633	3,8225	1,089156
20	867,8982	1401,793	1,5069	1,2825	1,174971
21	160,9495	1198,93	1,6994	1,2156	1,397993
24	693,7226	1213,274	1,5254	1,5886	0,960217
25	884,2914	1215,323	1,7094	1,9383	0,881907
26	1048,221	1221,471	1,134	0,6904	1,642526
28	1406,819	1213,274	0,1413	0,0593	2,382799
37	701,9192	1022,705	0,4301	0,1773	2,425832
38	884,2914	1022,705	0,2692	0,3493	0,770684
39	1085,106	1018,607	3,2794	2,4885	1,317822

40	1228,545	1026,803	4,1123	3,84	1,070911
41	1400,671	1032,951	1,6815	1,2828	1,310804
43	1763,367	1035	3,289	0,6245	5,266613
44	1919,1	1037,049	0,6681	1	0,6681
47	878,1438	877,217	0,5847	0,618	0,946117
48	1056,418	873,119	2,255	1,7257	1,306716
52	1736,728	873,119	0,9106	1	0,9106
53	1929,346	883,3646	2,8259	0,2034	13,89331
54	2091,227	875,168	0,4494	0,0434	10,35484
55	2292,042	885,4136	0,3278	1	0,3278
58	863,8002	688,6977	2,4662	0,9682	2,547201
59	1046,172	686,6482	2,1132	0,2989	7,069923
63	1732,63	686,6482	2,6054	0,4889	5,329106
64	1921,15	700,9923	4,2826	2,7943	1,53262
69	1738,778	498,1289	0,7411	0,0613	12,08972
70	1904,757	500,1779	1,5315	0,8852	1,730117
74	2613,754	518,6201	0,1902	0,1597	1,190983
79	2640,393	342,3949	2,4642	1	2,4642
80	2789,979	340,3459	4,8145	0,5155	9,339476
81	2982,597	346,4935	1,8222	1,0446	1,7444
84	2615,804	155,9247	0,0332	1	0,0332
85	2818,667	157,9737	0,2393	1	0,2393
86	2964,155	164,1213	0,0235	1	0,0235

Наступний етап досліджень - розрахунок нормованих показників хімічного складу поверхневих вод (індекс забруднення води). Використання цільових показників якості води викликане необхідністю його визначення у водних об'єктах, які в результаті техногенної діяльності зазнали фізичних змін, що призвели до суттєвої зміни їх основних характеристик (гідрологічних, морфометричних, гідрохімічних та ін.), та відновлення вихідного природного стану яких, зазвичай, неможливе. Системи оцінки якості води за великою кількістю окремих характеристик її складу та властивостей дуже громіздкі. Виконання робіт з усього річкового басейну тягне у себе створення великого масиву даних, важко піддається подальшій статистичній обробці.

Європейська Комісія та Координаційний центр реагування на надзвичайні ситуації (ERCC) створили вимірювання та відбір проб у важкодоступних місцях навколо Солотвино та поблизу р. Тиси для проведення ізотопного та хімічного аналізів. У дослідженні використані дані, які були опубліковані з дозволу Британської геологічної служби [9].

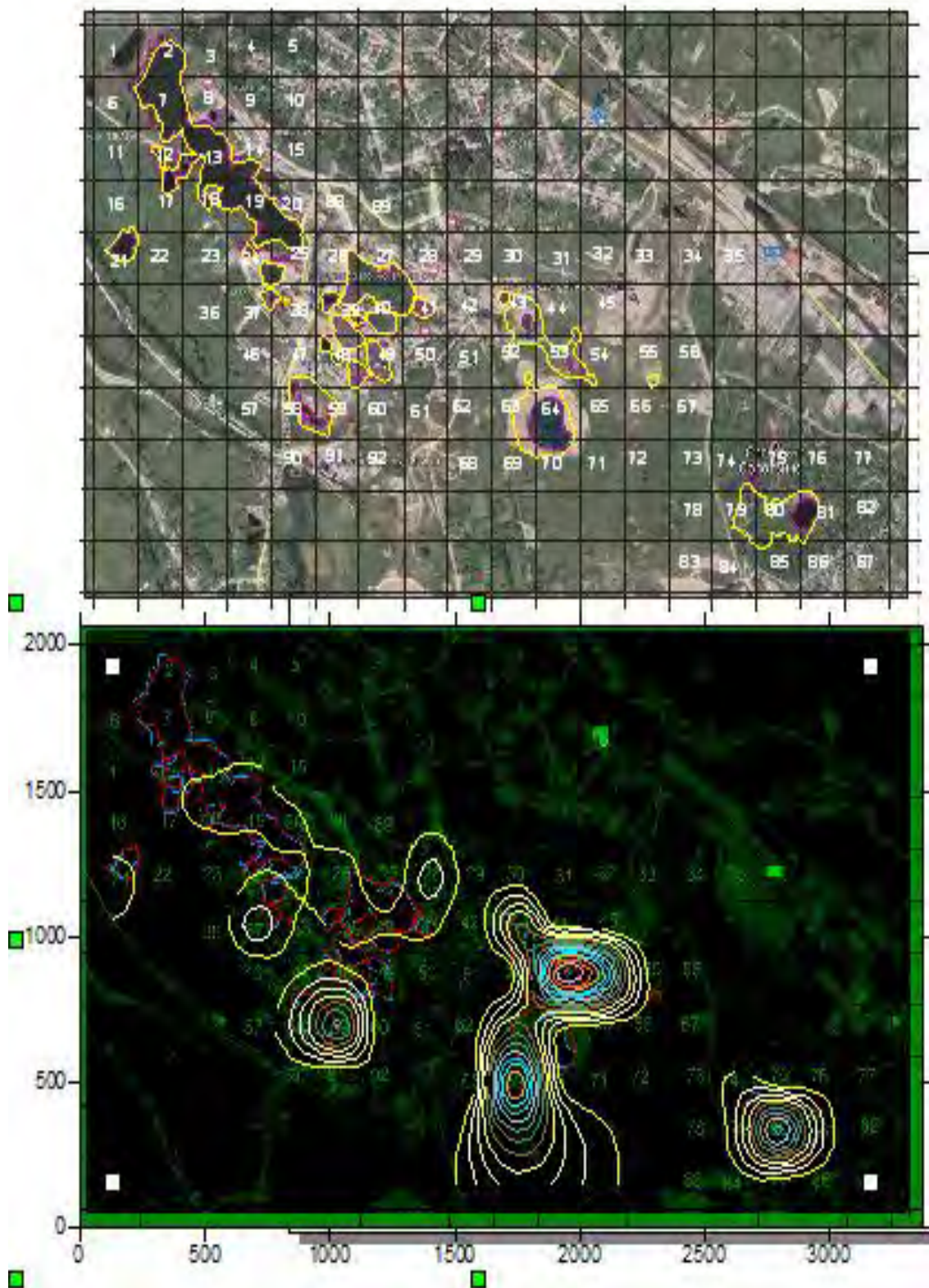


Рис. 6. Результати деталізації площ трансформації (а) та моделювання індексу трансформації за площею (б).

На рисунку 7 додана кольорова шкала змін  $I$  від 1 до 15.

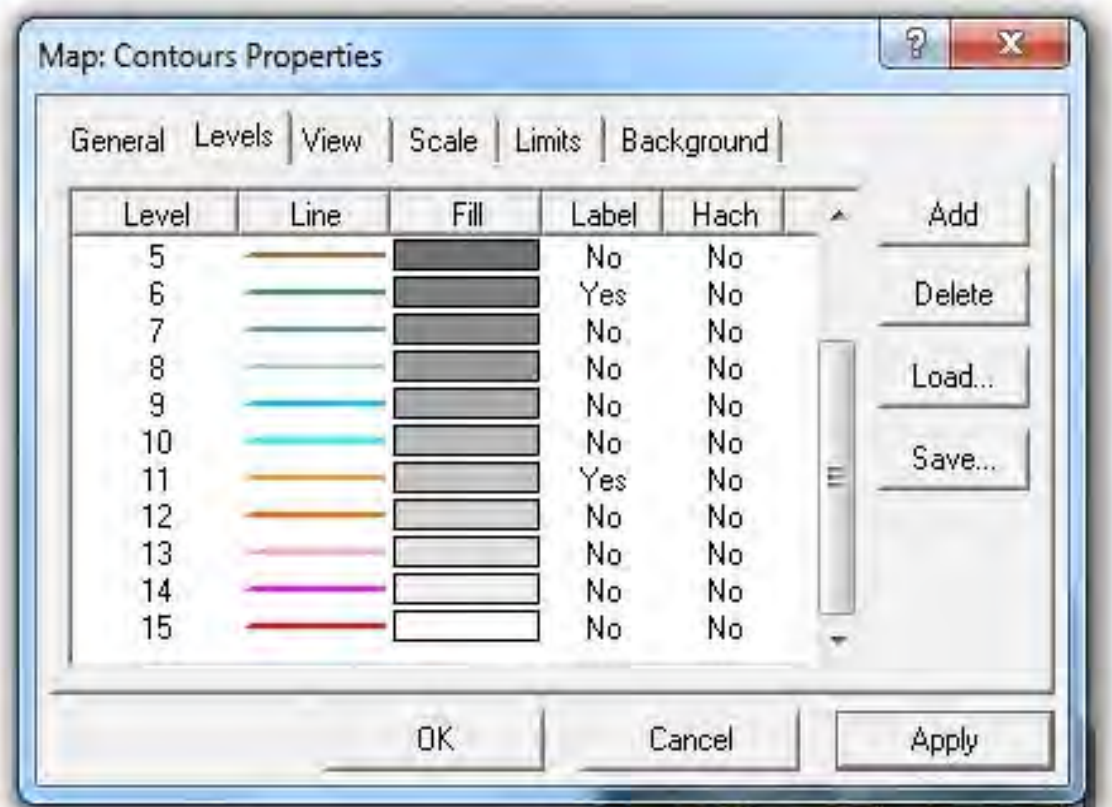


Рис. 7. Кольорова шкала змін І від 1 до 15

З ціллю виявлення хімічних аномалій за рахунок створення просторових 2 D моделей методом інтерполяції, зроблена координатна прив'язка точок відбору проб до місцевості (табл. 3) та використовуючи нормативні документи характеристики якості води (ГДК), перераховані все геохімічні показники оперативного моніторингу в нормовані показники І забр (індекс забруднення) за формулою:

$$I_{\text{забр}} = C_{\text{факт}} / \text{ГДК}$$

де  $C_{\text{факт}}$  – фактична концентрація речовини

ГДК - гранично допустима концентрація речовини.

Нормовані характеристики забруднення вод зазвичай називають індексом забруднення, його розрахунки наведено у таблиці 3.

Таблиця 3.

## Нормовані характеристики забруднення

Rp	широта, м	довгота, м	I забр Cl	Cl, мг/л	I забр SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> , мг/л	I забр Mn	Mn, мг/л	I забр NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> , мг/л
1	47,97024	23,8763	0,026286	9,2	0,008	4,41	0,62	0,31	0,043	0,13
2	47,97384	23,86119	0,029143	10,2	0,017	8,87	0,02	0,01	0,01	0,03
5	47,95131	23,86049	0,095714	33,5	0,102	51,1	0,02	0,01	0,01	0,03

7	47,94422	23,8443	0,008486	2,97	0,038	19,2	0,02	0,01	0,01	0,03
9	47,95622	23,8776	0,591429	207	0,159	79,8	4,32	2,16	0,01	0,03
10	47,94392	23,88144	0,021	7,35	0,0001	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
11	47,94291	23,88	0,016229	5,68	0,0001	0,03	2,66	1,33	0,01	0,03
12	47,96202	23,85678	0,096	33,6	0,0001	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
13	47,95466	23,87884	0,928571	325	0,1524	76,2	0,02	0,01	0,2266	0,68
14	47,95451	23,87856	0,922857	323	0,154	77	0,02	0,01	0,2867	0,86
15	47,95451	23,87856	0,928571	325	0,304	152	7,02	3,51	2,26	6,78
16	47,95451	23,87856	1,271429	445	0,324	162	11,66	5,83	0,0667	0,2
19	47,95575	23,8695	537,1429	188000	4,86	2430	16,2	8,1	1	3
21	47,95575	23,8695	530,8571	185800	4,56	2280	16,8	8,4	1	3
22	47,95788	23,8698	72,17143	25260	0,874	437	9,6	4,8	1	3
23	47,9602	23,87362	0,191143	66,9	0,0556	27,8	0,04	0,02	0,01	0,03
24	47,9602	23,87362	0,187429	65,6	0,0554	27,7	0,02	0,01	0,01	0,03
25	47,9602	23,87362	1,551429	543	0,0704	35,2	0,02	0,01	0,01	0,03
26	47,95093	23,87051	218,8857	76610	2,1	1050	13,2	6,6	1	3
27	47,95093	23,87051	67,57143	23650	0,6	300	10,4	5,2	1	3
29	47,98646	23,67225	0,036286	12,7	0,0462	23,1	0,02	0,01	0,01	0,03
30	47,966	23,83589	0,038571	13,5	0,0446	22,3	0,02	0,01	0,01	0,03
31	47,96665	23,83714	10,53429	3687	0,1312	65,6	0,02	0,01	0,1167	0,35
37	47,97079	23,85831	0,000143	0,05	0,0024	1,19	0,02	0,01	0,01	0,03
38	47,97079	23,85831	0,000143	0,05	0,0002	0,09	0,02	0,01	0,0133	0,04
ГДК, мг/л				350		500		0,5		3

Розуміємо, що підняття глибоких, забруднених сіллю підземних вод може відбуватися через тріщини, розломи або розриви в корінних відкладах, але під час паводків та підняття рівня ґрунтових вод, може відбуватися розбавлення, яке ймовірно замаскує будь-який вплив.

Оцінка просторової забрудненості з використанням **I забр** була виконана в ПЗ Surfer для Cl (рис. 8), SO<sub>4</sub> (рис. 9), Mn (рис. 10), NO<sub>2</sub> (рис. 11) методом інтерполяції та у вигляді картограм індексу забруднення. Найбільш високий показник **I забр** на окремих ділянках належить Cl (до 537), далі - Mn (до 16,8), SO<sub>4</sub>(до 4,86), NO<sub>2</sub>(до 2,26).

Найбільш високий показник **I забр** на окремих ділянках належить Cl (до 537). Ця аномалія приурочена до ділянок шахт № 7, 9, 8. Тобто розчинення солей подовжується, вода, що заповнює кратери провалів за складом – це ропа з великою кількістю солі. Але за межами цих озер, засолення практично відсутнє. Тобто, надходження сольових розчинів у р. Тиса не спостерігається.

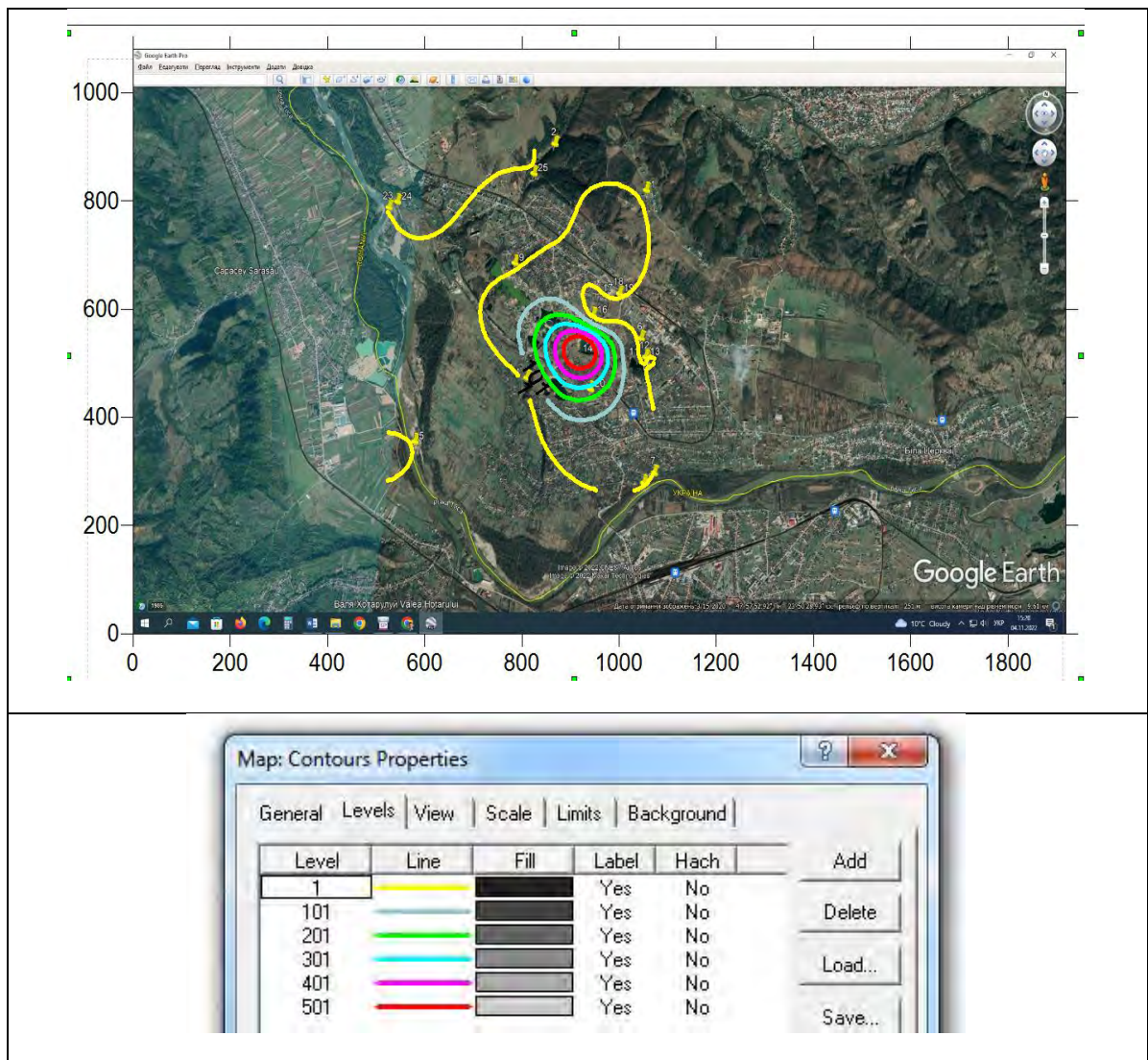


Рис. 8. Картограма просторової забрудненості **I забр Cl** (а) та шкала умовних позначень (б).

Інший показник, який має перевищення на окремих ділянках – це **Mn, I забр** по ньому досягає до 16,8. Цей ореол також розповсюджений на теренах шахт 7, 9, 8, з максимальним значенням в районі шахти № 7. Наявність марганцю у воді обумовлено розчинністю утворених ним сполук. При рН 4-7,5 у воді домінують іони  $Mn^{2+}$ . Кам'яна сіль містить мікроелементи – залізо, марганець, хром.

Показник **I забр**, який має перевищення на окремих ділянках до 4,86 – це  $SO_4$ . Допустима кількість сульфатів у воді повинна перебувати в межах 100-150 мг/л і не повинна перевищувати 500 мг/л. Найпоширенішими солями, які можна зустріти у воді, є сульфати натрію, калію, магнію. Локальна аномалія приурочена до території навколо соляного озера шахти № 7.





Рис. 9. Картограма просторової забрудненості I забр SO<sub>4</sub> (а) та шкала умовних позначень (б)

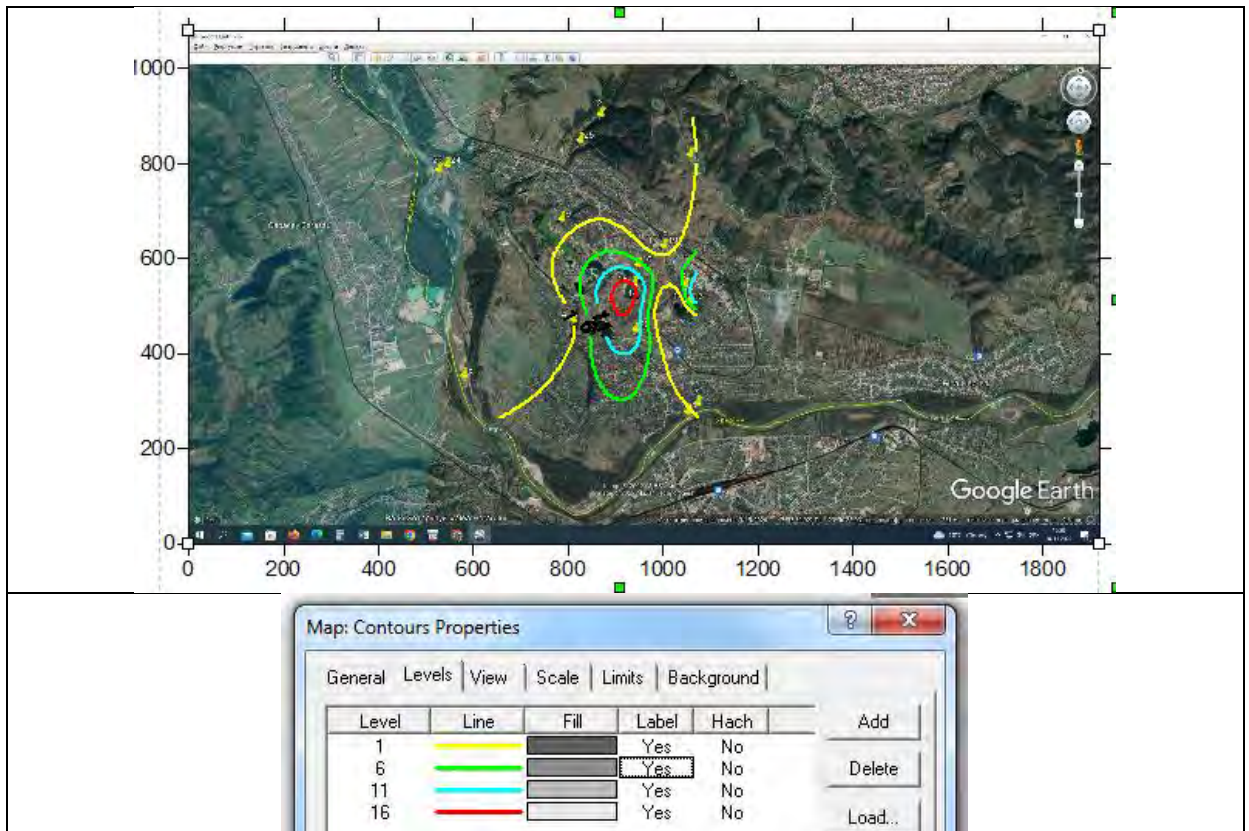


Рис. 10. Картограма просторової забрудненості I забр Mn (а) та шкала умовних позначень (б)

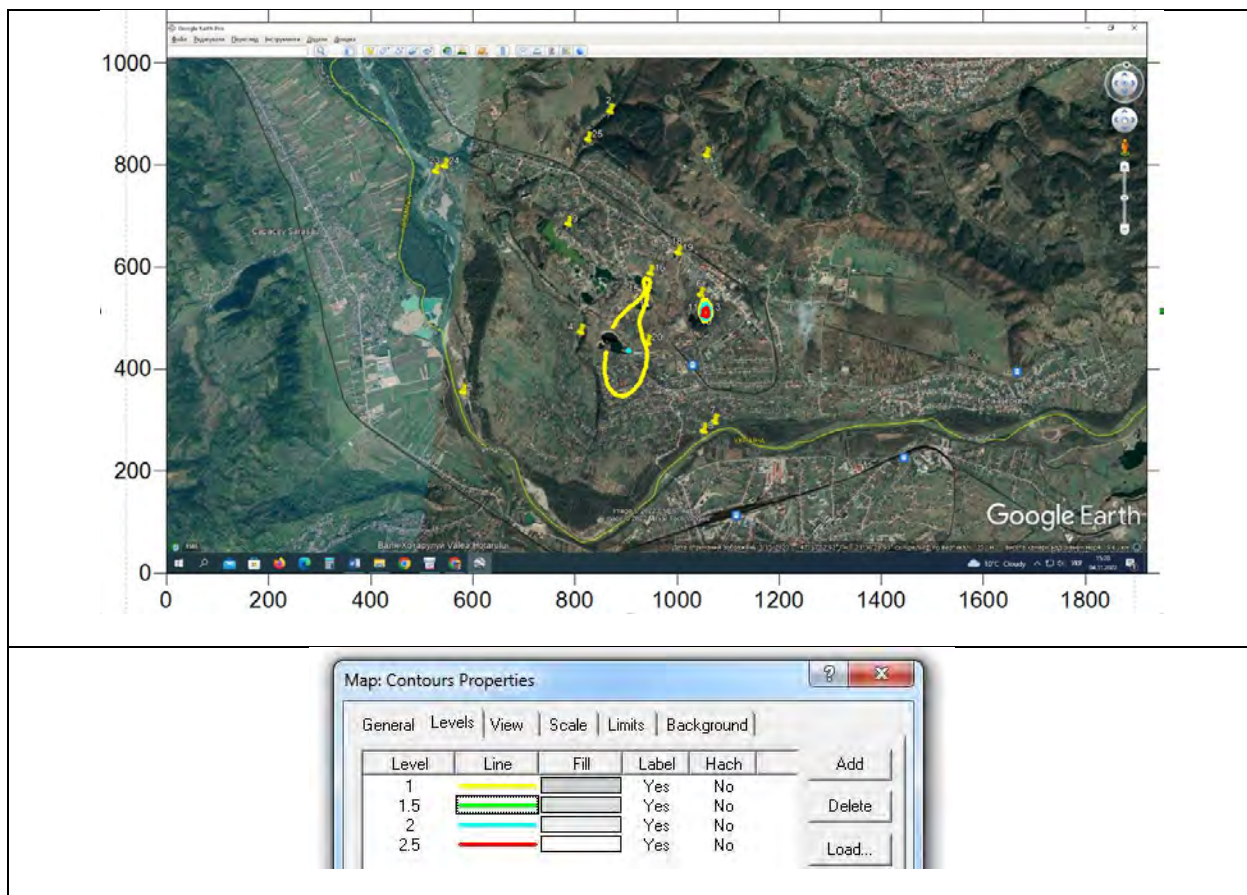


Рис. 11. Картограма просторової забрудненості I забр NO<sub>2</sub> та шкала умовних позначень (б)

Останній проаналізований показник – це I забр NO<sub>2</sub>, він має максимальне значення 2,26. Нітрит (NO<sub>2</sub>) – високотоксична забруднювальна речовина. У ґрунті, поверхневих і ґрунтових водах нітрити та нітрати є завжди. Це обумовлено як природними процесами кругообігу азоту в природі, так і техногенним впливом. Максимальні показники тяжіють до території навколо Чорного Мочару.

Що стосується нітритів, вони завжди говорять про мікробіологічне забруднення води господарсько-побутовими стічними водами, стоками сільськогосподарських підприємств. За цим треба вести постійний моніторинг, мабуть саме туди зливаються господарсько-побутові стічні води.

Підсумовуючи, робимо висновок, що ризик забруднення річки Тиса солями від покинутих Солотвинських шахт на цей час вважається низьким. Але перевищення концентрації багатьох хімічних елементів у воді призводить до ризиків: ризик зниження імунітету, ризик розвитку хвороб крові, ризик розвитку хвороб шкіри та випадання волосся.

Саме тому, догляд за хімічним складом поверхневих вод потрібний, особливо при встановленні будь-яких нових моніторингових та дослідницьких свердловин або відкачуванні ропи з солених озер, що може призвести до небажаних наслідків з можливістю формування нових гідрологічних вікон і потенційних шляхів течії, яка веде до контакту прісної води зі соляним куполом та провокує наступні процеси розчинення.

### **Висновки.**

Проведений у роботі ефективний аналіз показав, що:

1. За рахунок спорудження ізольованих басейнів, які місцеві жителі наповнюють відкачуваною ропою (за допомогою встановлених на плавучих платформах насосів) із провалів над шахтами (№7, №9), посилюється комплекс суттєвих багаторічних незворотних змін у НС, що призводить до руйнування рівноваги у природно-техногенній системі та до значних негативних наслідків.

2. Утворення на земній поверхні таких форм рельєфу як вирви, провальні воронки та воронки зрушення, що затоплені водою не виглядають стабільними за період досліджень (2014-2020 рр.). Згідно отриманих нами розрахунків та результатів моделювання індексу трансформації за площею на окремих ділянках (шахти № 7, 8, № 9) площі перерахованих форм рельєфу зросли майже в 15 разів.

3. Найбільш високий показник І забр на окремих ділянках належить СІ (до 537). Ця аномалія приурочена до ділянок шахт № 7, 9, 8. Тобто розчинення солей продовжується. Але за межами цих озер, засолення практично відсутнє. Тобто, надходження селевого розчину у р. Тиса поки не спостерігається.

4. Результати вказують на необхідність постійного моніторингу за денною поверхнею в межах зон максимальних показників І трансформації. Це може бути виконано, як геодезичними методами (геодезичне нівелювання), так й за допомогою різночасових мультиспектральних космічних знімків Землі.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Анпілова Є.С., Трофимчук О. М., Яковлев Є.О. Використання даних ДЗЗ та ГІС для оцінки впливу затоплення шахт Солотвино на водні ресурси. Збірник наукових праць «Проблеми екологічної безпеки», Кременчук, 2019. С. 135-136.
2. Артеменко П.Г., Педченко С.В., Ягмур А.Б. Оцінка впливу ліквідації шахти № 8 Солотвинського родовища кам'яної соли методом затоплення. Наукові праці Укр НДМІ НАН України, № 9 (Ч I). – 2011. – С. 89 – 102.

3. Босевська Л. П., Хрущов Д. П. Надзвичайна екологічна ситуація в Солотвино: геологічні причини і стратегія розв'язання проблеми. Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Геологія. Географія. - 2011. - Т. 19, вип. 13. - С. 80-90. - URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdugg\\_2011\\_19\\_13\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdugg_2011_19_13_19)
4. Міщенко Л.В. Геоінформаційне моделювання систем екологічної безпеки на прикладі територій Закарпаття. Екологічна безпека, 2012, № 2 (14). - С. 19-24. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2012\\_2\(14\)/Pdf/19.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2(14)/Pdf/19.pdf)
5. Risk Assessment Report: Solotvyno Salt Mine Area. Union Civil Protection Mechanism. 2016. 7 с. URL: [https://waterquality.danube-region.eu/wp-content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/Solotvyno\\_Scoping-Mission\\_Sept-2017\\_Executive-Summary-Final\\_New-1.pdf](https://waterquality.danube-region.eu/wp-content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/Solotvyno_Scoping-Mission_Sept-2017_Executive-Summary-Final_New-1.pdf)
6. Солотвинська селищна рада Тячівського району, Закарпатської області. [Транскордонні проекти](#). Список транскордонних проектів Солотвинської селищної ради <https://solotvino-rada.gov.ua/news/1605619886/>
7. Stoeckla L., Banks V., Shekhunova S., Yakovlev Y. The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies* V 30 August 2020, 100701
8. Shehunova S. B., Alekseenkova M. V., Stadnychenko S. M. (2019). Monitoring of hazardous geological processes as a tool for minimizing risks in post-geological areas in Solotvyno (Zakarpatskaya Oblast, Ukraine). *Monitoring 2019. European Association of Geoscientists & Engineers*. No. 1. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214–4609.201901734.
9. Яловчак Т.М., Д'яченко Н.О, Нікітіна А.О. Зміни водообміну та активізація провальних карстових процесів (м. Солотвино) Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції молодих учених “Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства 08 грудня 2022 року, м. Київ, 2022. С. 56-57. DOI: <https://doi.org/10.31073/mi03>

## REFERENCES

1. Anpilova E.S., Trofymchuk O.M., Yakovlev E.O. 2019. Using DZZ and GIS data to assess the impact of the flooding of the Solotvyno mines on water resources. *Collection of scientific works "Problems of ecological security"*, Kremenchuk, P. 135-136. – in Ukrainian
2. Artemenko P.G., Pedchenko S.V., Yagmur A.B. 2011. Assessment of the impact of the liquidation of mine No. 8 of the Solotvyno rock salt deposit by flooding. *Scientific works of the UkrNDMI of the National Academy of Sciences of Ukraine*, No. 9 (Part I). P. 89 – 102. URI: – in Ukrainian
3. Bosevska L. P., Khrushchev D. P. 2011. Emergency ecological situation in Solotvyno: geological causes and strategy for solving the problem. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series: Geology. Geography*. Volume 19, issue 13. P. 80-90. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdugg\\_2011\\_19\\_13\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdugg_2011_19_13_19) – in Ukrainian
4. Mishchenko L.V. 2012. Geoinformational modeling of environmental security systems on the example of the territories of Transcarpathia. *Environmental safety*, No. 2 (14). P. 19-24. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2012\\_2\(14\)/Pdf/19.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2(14)/Pdf/19.pdf) – in Ukrainian
5. Risk Assessment Report: Solotvyno Salt Mine Area. Union Civil Protection Mechanism. 2016. 7 p. URL: <https://waterquality.danube-region.eu/wp->

[content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/Solotvino\\_Scoping-Mission\\_Sept-2017\\_Executive-Summary-Final\\_New-1.pdf](https://content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/Solotvino_Scoping-Mission_Sept-2017_Executive-Summary-Final_New-1.pdf)

6. Solotvyn settlement council of Tyachiv district, Zakarpattia region. *Cross-border projects*. List of cross-border projects of the Solotvyn settlement council. URL: <https://solotvino-rada.gov.ua/news/1605619886/> – in Ukrainian
7. Stoeckla L., Banksb V., Shekhunova S., Yakovlevc Y. 2020. The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. V 30, 100701
8. Shehunova S. B., Alekseenkova M. V., Stadnychenko S. M. 2019.. Monitoring of hazardous geological processes as a tool for minimizing risks in post-geological areas in Solotvino (Zakarpatskaya Oblast, Ukraine). *Monitoring 2019. European Association of Geoscientists & Engineers*. No. 1. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214–4609.201901734.
9. Yalovchak T.M., Diachenko N.O, Nikitina A.O. (2022). Changes in water exchange and activation of sinkhole-karst processes (Solotvyno). *Materials of the 5th international scientific and practical conference of young scientists "The role of reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture*. Kyiv. P. 56-57. DOI: <https://doi.org/10.31073/mi03> – in Ukrainian

**N. O. Diachenko, T. N. Yalovchak, D. L. Kasyanenko**

## **ASSESSMENT OF THE INTEGRATED ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL SITUATION (SOLOTVYNO)**

An analysis of existing modern ecological problems of the territory of the village was carried Solotvyno, namely: intensive development of deep karst; changes in the hydrogeological regime; violation of the integrity of the salt massif and its destruction with corresponding deformations of suprasalt deposits and surface relief. Analyzed the dynamics of depression formation on the earth's surface within the township. Solotvyno, the dynamics of the expansion of the reservoir area. The methodological aspect of the assessment toolkit of the integrated ecological and technological situation within the Solotvyno territory has been developed. The indicator of transformation in time and space, the index of detection of relative changes in the environment in relation to the development of suffusion-karst processes, which must be taken into account when solving issues of ecological danger, and the normalization of indicators of surface water pollution in the form of a pollution index (I zabr) was made due to the assessment of the chemical components of surface waters of the studied area based on the method of normalization of actual concentrations of monitoring data in the calculation to the MPC. Spatio-temporal maps of the levels of indices of detection of relative changes in the environment (transformation) have been created in the form of cartograms with reference to the area. The index of detection of relative changes in the environment is proposed to be defined as the ratio of the area of transformation for several periods of time, using space monitoring technologies (Landsat 7 satellite images) and performing calculations with the help of Google Earth software, GIS

modeling and statistical calculations. It has been established that due to the construction of isolated basins, which local residents fill with oil pumped from the pits above the mines, the complex of significant long-term irreversible changes in the environment increases, which leads to the destruction of the balance in the natural and man-made system and to significant negative consequences. Water withdrawal in modern times provokes the activation of suffusion-karst processes due to the increase in the radius of the depression funnel of the "big well" and contributes to the increase in the area of water catchments. A decrease in the level of the stationary water surface in the lakes above the mines under the condition of pumping creates the conditions for an additional inflow of water from the aeration zone and groundwater into the sinkholes due to the establishment of the level. The formation on the earth's surface of such forms of relief as gouges, sinkholes and displacement funnels flooded with water do not look stable during the period of research (2014-2020). According to the results of modeling the transformation index, it was established that the areas of the listed landforms have increased almost 15 times. It was established that the highest indicator of the first in some areas belongs to chlorine (Cl). That is, the dissolution of salts is prolonged.

**Key words:** ecological and technological situation, emergency situation, index of detection of relative environmental changes, Landsat 7, Google Earth, cartogram.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ,  
Україна

Наталія Д'яченко,

кандидат геологічних наук, доцент,

e-mail: natalidyachenko1969@gmail.com,

<https://orcid/0000-0002-4852-0203>

Тетяна Яловчак

магістр

Дмитро Касьяненко

аспірант

Стаття надійшла: 15.02.2023.