

**Трофимчук О. М., д.т.н., член-кор. НАНУ, Яковлев Є. О., д.т.н., с.н.с., Анпілова Є. С., к.т.н., с.н.с.** (Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ)

## **ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ГІС ДЛЯ ОЦІНКИ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ЗМІН РІЧКОВИХ БАСЕЙНІВ В ЗОНАХ ВПЛИВУ ГІРНИЧОДОБУВНИХ РЕГІОНІВ**

**Автори підкреслюють важливість аналізу просторових даних та побудови моделей в ГІС для достовірної оцінки гідроекологічного стану річкових басейнів Карпатського (Солотвинські соляні шахти, Закарпатська область) та Донбаського регіонів. Метою аналізу було зіставлення швидкостей деформації ґрунту. Використання сучасних технологій для вимірювань поверхневих деформацій дає можливість оцінити небезпечні зміни геологічного середовища та поліпшити прогноз ризиків. Основним результатом є встановлення математичної кореляції між поверхневими осіданнями і площею їх поширення.**

**Ключові слова:** ГІС, інтерферометричний аналіз, воронка, колапс, осідання поверхні.

Гірничодобувні райони Карпатського та Донецького регіонів відрізняються найбільшим впливом на гідроекологічні параметри транскордонних річкових басейнів Тиси та Сіверського Донця [1-5].

Упродовж багатьох років Солотвинський рудник кам'яної солі був унікальним родовищем, пов'язаним з сольовим штоком, що обумовило підвищену чутливість сольового масиву до вилучення соляних мас та порушення рівноваги природного поля геомеханічних напружень. Його гірничі виробки комплексно використовувались як для видобутку мінеральної сировини, так і для лікування хворих на бронхіальну астму завдяки насиченості повітря лікувальними аерозолями солі та мікроелементами. Щорічно у підземних лікувальних камерах шахт на глибині 300 м лікувалися десятки тисяч хворих. Бальнеологічний потенціал лікувальних підземних камер Солотвинського родовища не має аналогів не тільки в Україні, а й у світі. Так, у підземних виробках соляних шахт № 8 та № 9 з 1968 р. діяли Українська алергологічна та Закарпатська обласна алергологічні лікарні, у яких щороку лікувалися майже 6,5 тис. хворих на бронхіальну астму.



За даними Міністерства охорони здоров'я України такого лікування потребують близько 2 млн осіб.

За часи активної та тривалої (більше 230 років) експлуатації Солотвинського родовища в межах соляного штоку на площі до 3 км<sup>2</sup> були збудовані та припинили своє існування внаслідок затоплення 9 шахт. З 1809 по 1955 рік експлуатувалася шахта № 7, що розташована у центральній частині куполу. Її затоплення під час повені 1966 р. (об'єм затоплених виробок складає 1,7 млн м<sup>3</sup>) можна вважати початком процесу зниження гідрогеомеханічної стійкості верхньої зони Солотвинського соляного штоку внаслідок його геомеханічного розвантаження та зростаючого зволоження.

В межах полів затоплених шахт активно розвиваються просідання денної поверхні, які мають довгостроковий характер в умовах зростаючих деформацій та зволожений соляного тіла (рис. 1).



Рис. 1. Провальні кратери шахт № 7 та № 8 [1]

В результаті затоплення шахт № 8 та № 9 відбувається активізація деформаційного поля техногенно-порушеної частини соляного штоку у напрямках Солотвинської агломерації та зсувного схилу г. Магура, яка активно забудовується, що збільшує еколого-техногенні загрози безпеки життєдіяльності населення та об'єктам критичної інфраструктури.

Також потрібно зазначити, що деформаційне поле суттєво впливає на зміну екологічного стану річкового басейну річки Тиси, що є найбільшою річкою Закарпатської області (починається з Білої і Чорної Тиси, загальна довжина в межах Закарпаття – 223 км). Через Тису територією області проходить і так званий транзитний стік, адже річка протікає в межах не тільки України, а й Угорщини, Сербії, частково по кордону між Україною і Румунією та Угорщиною. Відпо-

відно, наслідки щодо зміни хімічного складу р. Тиси матимуть транс-кордонний характер.

Використовуючи технології космічного моніторингу (інтерферометрії), польового магнітно-електричного обстеження та моделювання у ГІС, авторами було проведено аналіз просторово-часової структури та балансу осідань донної поверхні і розраховано розвиток карстової воронки, що відбувається в режимі площинно-радіального розвитку пружно-пластичних та пластично-текучих деформацій центральної частини соляного штоку і пов'язана з найбільшим карстовим провалом шахти № 7.

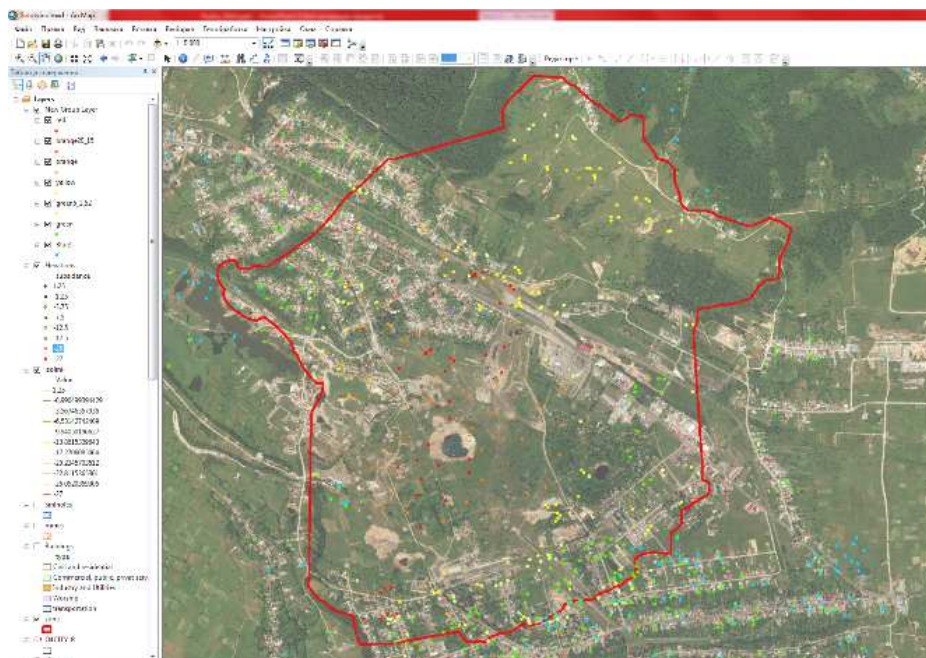


Рис. 2. Фрагмент робочого вікна ArcGIS з набором точок з показниками осідання земної поверхні в мм/рік

Вхідними даними слугували результати наземної радіолокаційної інтерферометрії для спостереження за змінами деформації земної поверхні, проведеної консультативною місією Євросоюзу в Україні (2016 р.), що відображені у звіті (рис. 2) [1].

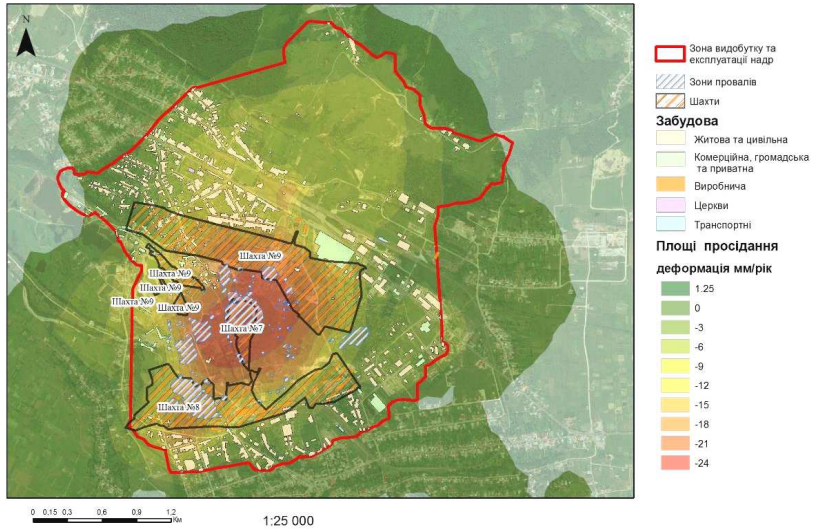


Рис. 3. Карта розвитку деформації донної поверхні шахтних полів Солотвинської агломерації

За результатами моделювання, виявлено закономірну залежність, що має лінійний характер та демонструє стійкий зв'язок між вертикальною (осідання) та горизонтальною (площа інтервалу осідань) деформаціями донної поверхні поля шахти № 7 (рис. 4) [4].

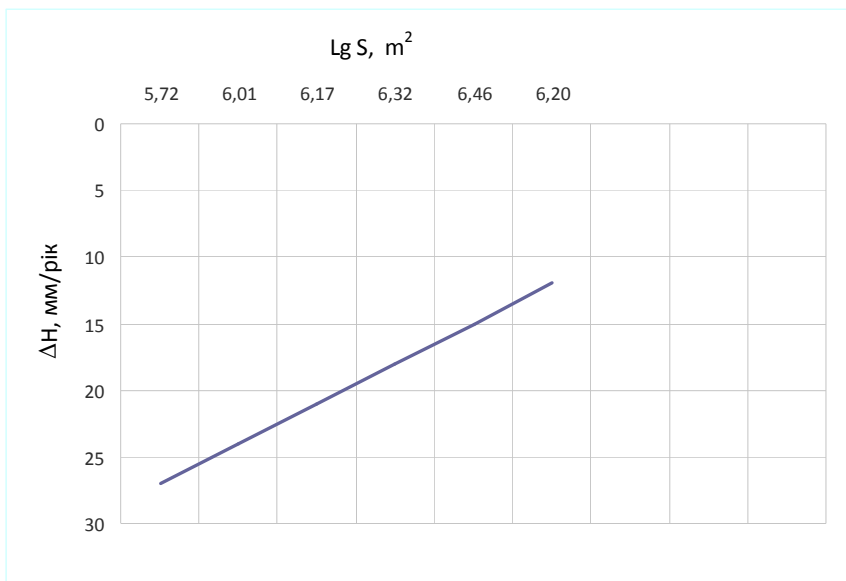


Рис. 4. Плоско-радіальний розвиток карстової деформації донної поверхні зони впливу поля шахти № 7

Відповідно, збільшення глибини карстоутворення та пластифікації сольового масиву в контурі гірничих виробок шахти № 7, що наближена до селища Солотвино, призведе до збільшення небезпечних деформацій донної поверхні та, як наслідок, додаткового руйнування житлових та промислових будівель, інженерних мереж та суттєвого підсилення загрози безпеки життєдіяльності населення.

Подальший розвиток пластифікації і деформацій північної приконтракної зони соляного штока (зона впливу деформацій поля шахти № 9) може призвести до формування мегазсувного тіла на схиловому комплексі г. Магура і руйнівних деформацій інженерної і транспортної інфраструктури. Крім того, це практично унеможливить безпечне і своєчасне виконання ліквідаційних заходів на об'єктах Солотвинського сольового рудника відповідно до ряду прийнятих законодавчих актів [6-8].

Також значним впливом гірничодобувних робіт на морфодинаміку водозбору відрізняється басейн р. Сіверський Донець на Донбасі [4; 5].

Зараз у південно-східному регіоні України точиться воєнний конфлікт, який охоплює найбільший в світі вуглевидобувний техногенно-насичений регіон, що є однією з найбільших і найнебезпечніших природно-техногенних геосистем з високою щільністю потенційно небезпечних об'єктів (більше 4000), площа якої складає до 20 тис. км<sup>2</sup>.

Багаторічна гірничодобувна діяльність в Донбасі вкрай негативно позначилася на якості поверхневих вод та режимі стоку поверхневих водотоків. Річки української частини Донбасу належать до трьох річкових басейнів – Сіверського Донця, Дніпра та Азовського моря. У природних умовах основне живлення річки Донбасу отримують за рахунок атмосферних опадів і насамперед за рахунок весняного танення снігів, яке забезпечує 40-80% їх стоку. Живлення з підземних вод є значним лише в межах Донецького кряжу, де за рахунок глибокого врізу долини річок дренують водоносні горизонти у кам'яновугільних і покривних відкладах.

Тому досить значну роль у живленні річкового стоку відіграють дренажні (шахтні) води. Загальна кількість скидів цих вод у поверхневі водотоки станом на 1995 р. складала біля 25 м<sup>3</sup>/с, а на сучасний період (за розрахунками авторів) – 15 м<sup>3</sup>/с, або 550 млн м<sup>3</sup>/год. При цьому для житлово-побутового і промислового використання з річок забирається за орієнтовними даними 2013 р. до 40 м<sup>3</sup>/с (140 тис. м<sup>3</sup>/год).

Зараз у системі водного стоку річкових басейнів та місцевих



басейнів підземних вод відбуваються комплексні зміни, які обумовлені зростанням розсередженого стоку забруднених вод із шахт, що затоплюються.

Визначення прогнозного впливу вугледобувних підприємств на формування поверхневого стоку, насамперед басейну р. Сіверський Донець, який зараз є джерелом питно-господарського водопостачання (ПГВ) для 90% селищ та міст Донецької та 60% Луганської областей, зараз ускладнено через зниження рівня регіонального водно-екологічного моніторингу, в т.ч.:

- відсутність багаторічних системних даних щодо обсягів скидів шахтних вод у річки;

- значну мінливість витрат річок Донбасу у різні періоди року, що збільшує відносну долю притоків шахтних вод і промислових стоків та підвищує рівень забруднення поверхневих водних ресурсів як джерел ПГВ;

- для річок Донбасу, особливо Приазов'я, характерний природний широкий діапазон вмісту розчинних солей. Мінералізація води в них змінюється від (0,2-0,3) г/дм<sup>3</sup> в період водопілля до (3,5-5,0) г/дм<sup>3</sup> в межень. При мінералізації шахтних вод переважно (2,0-4,0) г/дм<sup>3</sup> їх скид у поверхневі водотоки може мати переважно негативний ефект, враховуючи зменшений поверхневий стік у літньо-осінню та зимову межень;

- навіть за сучасних умов у Донбасі є велика кількість підприємств з водомісткими технологіями і значними обсягами скидів, що за орієнтовними оцінками може перевищувати обсяги скидів шахтних вод, що формує значні ризики надзвичайних ситуацій водно-екологічного походження.

За існуючими схемами водокористування після використання шахтні, промислові і побутові стічні води та їх незворотні технологічні втрати надходять у річки, цілком змінюючи ресурсні і гідрохімічні показники річкового стоку. На жаль, існуючі сучасні гідрологічні дані внаслідок руйнування системи моніторингу поверхневих і підземних вод не дозволяють вірогідно врахувати вплив цих факторів.

Зараз у регіоні Донбасу відбувається затоплення більше 100 шахт, що формує загрозу критичного збільшення витоків забруднених вод та погіршення якості стоку Сіверського Донця.

Для виконання своєчасних ліквідаційних та захисних заходів в зонах впливу затоплених шахт ДП «Солотвинський солерудник» та вугільних шахт Донбасу, згідно з рекомендаціями Дослідних Місій Євросоюзу (2016, 2017 рр.) необхідно провести:

- удосконалення моніторингу природно-техногенної системи

(ПТГС) на основі дистанційних даних, фізико-математичних моделей, геолого-геофізичного обстеження та впровадження програми з розробки експертизи з використанням матеріалів радіолокаційної інтерферометрії та магнітно-електричного обстеження (метод вимірів природних імпульсів електромагнітного поля Землі);

- розробку і впровадження першочергових захисних заходів;
- визначення гранично-припустимих змін геологічного середовища як головного елемента безпеки природно-техногенних геосистем (ПТГС) «техногенний об'єкт – навколишнє середовище»;
- систематичну оцінку ризику безпеки життєдіяльності.

**1.** Risk Assessment Report of Advisory Mission to Ukraine «Solotvyno salt mine area». Union Civil Protection Mechanism of EU. October 2016. 134 p.  
**2.** Інформатизація аерокосмічного землезнавства / С. О. Довгий, В. І. Лялько, О. М. Трофимчук, О. Д. Федоровський та ін. К. : Наукова думка, 2001. 607 с.  
**3.** Биченок М. М., Трофимчук О. М., Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні. К. : УІНСіР, 2002. 153 с.  
**4.** Яковлев Є. О., Анпілова Є. С. Аналіз розвитку поля карстово-провальних деформацій Солотвинського солерудника. *Інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: розробки та досягнення до 100-річчя Національної академії наук України* : колективна монографія за матеріалами XVII Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 25–26 вересня 2018 р.); за заг. ред. С. О. Довгого. К. : ТОВ «Видавництво «Юстон», 2018. С. 58–61 с.  
**5.** Анпілова Є. С. Інформаційні технології для управління екологічною безпекою поверхневих вод : монографія. К. : Азимут-Україна, 2013. 104 с.  
**6.** Про погодження пропозиції щодо ліквідації державного підприємства «Солотвинський солерудник» : розпорядження Кабінету Міністрів України від 4 березня 2013 р. № 107-р. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/107-2013-%D1%80> (дата звернення: 15.11.2018).  
**7.** Про схвалення техніко-економічного обґрунтування «Ліквідація та екологічна реабілітація території впливу гірничих робіт державного підприємства «Солотвинський солерудник» Тячівського району Закарпатської області» : розпорядження КМУ від 03.10.2012 року № 829-р. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/829-2012-%D1%80> (дата звернення: 15.11.2018).  
**8.** Доручення Президента України щодо врегулювання ситуації, що склалася на державному підприємстві «Солотвинський солерудник», збереження алергологічних лікарень, що функціонують у підземних виробках соляних шахт цього підприємства, та недопущення виникнення техногенної катастрофи у селищі Солотвино Тячівського району Закарпатської області. URL: <http://president.gov.ua/documents/12492.html> (дата звернення: 15.11.2018).





## REFERENCES:

1. Risk Assessment Report of Advisory Mission to Ukraine «Solotvyno salt mine area». Union Civil Protection Mechanism of EU. October 2016. 134 p.
2. Informatyzatsiia aerokosmichnoho zemleznavstva / S. O. Dovhyi, V. I. Lialko, O. M. Trofymchuk, O. D. Fedorovskyi ta in. K. : Naukova dumka, 2001. 607 s.
3. Bychenok M. M., Trofymchuk O. M., Problemy pryrodno-tekhnohennoi bezpeky v Ukraini. K. : UINSiR, 2002. 153 s.
4. Yakovliev Ye. O., Anpilova Ye. S. Analiz rozvytku polia karstovo-provalnykh deformatsii Solotvynskoho colerudnyka. *Informatsiini tekhnolohii upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu, pry-rodokorystuvanniam, zakhodamy v nadzvychainykh sytuatsiiakh: rozrobky ta dosiahnennia do 100-richchia Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy : kolektyvna monohrafiia za materialamy XVII Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (Kyiv, 25-26 veresnia 2018 r.) ; za zah. red. S. O. Dovhoho. K. : TOV «Vydavnytstvo «Iuston»», 2018. S. 58–61 s.*
5. Anpilova Ye. S. Informatsiini tekhnolohii dlia upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu poverkhnevyykh vod : monohrafiia. K. : Azymut-Ukraina, 2013. 104 s.
6. Pro pohodzhennia propozytsii shchodo likvidatsii derzhavnoho pidprijemstva «Solotvynskiy solerudnyk» : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 4 bereznia 2013 r. № 107-r. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/107-2013-%D1%80> (data zvernennia: 15.11.2018).
7. Pro skhvalennia tekhniko-ekonomichnoho obgruntuvannia «Likvidatsiia ta ekolohichna rehabilitatsiia terytorii vplyvu hirnychkykh robit derzhavnoho pidprijemstva «Solotvynskiy solerudnyk» Tiachivskoho raionu Zakarpatskoi oblasti» : rozporiadzhennia KМУ vid 03.10.2012 roku № 829-r. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/829-2012-%D1%80> (data zvernennia: 15.11.2018).
8. Doruchennia Prezydenta Ukrainy shchodo vrehuliuvannia sytuatsii, shcho sklalasia na derzhavnomu pidprijemstvi «Solotvynskiy solerudnyk», zberezhennia alerholohichnykh likaren, shcho funktsionuiut u pidzemnykh vyrobkakh solianykh shakht tsoho pidprijemstva, ta nedopushchennia vynyknennia tekhnohennoi katastrofy u selyshchi Solotvyno Tiachivskoho raionu Zakarpatskoi oblasti. URL: <http://president.gov.ua/documents/12492.html> (data zvernennia: 15.11.2018).

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М. М. (НУБГП)

---

**Trofymchuk O. M., Doctor of Engineering, Corresponding Member of the National Academy of Science of Ukraine, Yakovliev Ye. O., Doctor of Engineering, Senior Research Fellow, Anpilova Ye. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Research Fellow (Institute of Telecommunication and Global Information Space of National academy of Sciences of Ukraine, Kyiv)**



## **SPATIAL MODELING IN GIS FOR ASSESSMENT OF HYDROECOLOGICAL CHANGES ON THE RIVER BASINS IN ZONES OF MINING AREAS INFLUENCE**

**In this manuscript, authors emphasize the importance of using GIS for spatial data analyze for reliable evaluation of river basins hydroecological state within Carpathian (Solotvino salt mines, Zakarpatska oblast) and Donbas regions.**

**Aim of the analysis was mapping the ground deformation velocities. Velocity values was estimated for point and distributed targets, which present a similar scattering behaviour over time.**

**Using modern technologies measuring for surface deformations gives the ability to evaluate the dangerous changes of geological media and to improve the forecast of risks. Main methodological result is connecting with the establishing of mathematical correlation between of the surface subsidence and its squire.**

**Keywords: GIS, differential interferometric analysis, collapse, surface subsidence.**

---

**Трофимчук А. Н., д.т.н., член-корр. НАНУ, Яковлев Е. А., д.т.н., с.н.с., Анпилова Е. С., к.т.н., с.н.с. (Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киев)**

## **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГИС ДЛЯ ОЦЕНКИ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ**

**Авторы статьи подчеркивают важность ГИС анализа пространственных данных для достоверной оценки гидроэкологического состояния речных бассейнов Карпатского (Солотвинские соляные шахты, Закарпатская область) и Донбасского региона. Использование современных технологий для измерения поверхностных деформаций дает возможность оценить опасные изменения геологической среды и улучшить прогноз рисков.**

**Основной результат связан с установлением математической корреляции между поверхностными оседаниями и площадью их распространения.**

**Ключевые слова: ГИС, интерферометрия, воронка, провал, оседания земной поверхности.**

---