

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.284381>

УДК 528.952:553.3/4 (477)

E-mail: svilya@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0003-3936-9561>;
vnn@hneu.net,
<https://orcid.org/0000-0002-1354-4838>;
geology7@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0002-6430-4148>;
elena.titania2305@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-1955-1270>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
T.V. Okholina, svilya@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:
11.07.2023

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
30.08.2024

Accepted / Прийнята:
30.08.2024

Keywords: Ti-Zr placer; integral indicator; priority area; titanium; ilmenite; vertical reserve, ArcGIS.

Ключові слова: титано-цирконієвий розсип; інтегральний показник; пріоритетна ділянка; титан; ільменіт; вертикальний запас; ArcGIS.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Використання інтегрального показника для визначення пріоритетних ділянок титано-цирконієвих розсипів

Т.В. Охоліна^{1*}, Н.М. Внукова^{2,3}, Г.О. Кузьманенко¹, О.О. Ремезова^{1,4}

¹Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна; ²Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна; ³Науково-дослідний інститут правового забезпечення інноваційного розвитку Національної академії правових наук України, Харків, Україна; ⁴Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

Using the integral indicator to determine Ti-Zr priority areas of placers

T.V. Okholina^{1*}, N.M. Vnukova^{2,3}, H.O. Kuzmanenko¹, O.O. Remezova^{1,4}

¹Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine; ³Scientific and Research Institute of Providing Legal Framework for the Innovative Development of the National Academy of Law Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine; ⁴Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

The article presents the author's method of selection of priority areas of Ti-Zr placers using an integral indicator. As you know, the integral indicator is the ratio of the total beneficial effect from the development of the deposit to the total costs of operation, it is calculated as the difference between the value of conventional ilmenite (according to the US Geological Survey) (Mineral Commodity..., 2023) and the cost of obtaining overburden and processing the productive layer.

Based on the methodology developed and presented in the article, an experiment was conducted on the data of one of the placer deposits located within the Ukrainian placer sub-province. It is proposed to develop it in small blocks that ensure high productivity, minimal impact on the environment and allow replenishment the mineral and raw material base of the titanium industry of Ukraine.

This technique can be used at any deposit of titanium-zirconium ores both in Ukraine and abroad.

Цитування: Охоліна Т.В., Внукова Н.М., Кузьманенко Г.О., Ремезова О.О. Використання інтегрального показника для визначення пріоритетних ділянок титано-цирконієвих розсипів. *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 79–88. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.284381>

Citation: Okholina T.V., Vnukova N.M., Kuzmanenko H.O., Remezova O.O. 2024. Using the integral indicator to determine Ti-Zr priority areas of spreads. *Geologichnij zhurnal*, 3 (388): 79–88. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.284381>

Вступ

Руди титану, як зазначено у Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р. (Про затвердження..., 2011), віднесено до стратегічних видів мінеральної сировини. Військовий стан з 2022 р. суттєво вплинув на розвиток мінерально-сировинної бази України. Незважаючи на наявність потужної сировинної бази, титанова галузь перебуває у глибокій кризі.

Розвиток титанової промисловості є одним із шляхів повоєнного відновлення економіки України (Геєць, 2023; Шехунова, 2023). Ця стратегічно важлива галузь забезпечить створення конкурентоспроможної продукції, захоплення цільового сегменту на світовому ринку та визначатиме місце України в міжнародних рейтингах.

Ресурсна база титану України представлена корінними, залишковими і розсипними типами. Видобувні потужності титанової промисловості України пов'язані з розсипами, з яких видобувають ільменітові, рутилові та лейкоксенові руди. З огляду на те, що розсипи поступово виснажуються, нові детально не вивчені, а існуючі мають короткий термін експлуатації 10–15 років, об'єкти титанових руд потребують комплексного підходу до оцінки родовищ та їх розробки для забезпечення їх конкурентоспроможності та інвестиційної привабливості.

Мета роботи полягає у визначенні пріоритетних площ першочергового освоєння в межах титано-цирконієвих розсипів із застосуванням інтегрального показника.

Завданням дослідження є:

- розробка комплексного підходу до оцінки родовищ та їх освоєння з використанням системи Arc GIS для забезпечення їх конкурентоспроможності та інвестиційної привабливості;
- застосування геолого-структурного та геолого-економічного моделювання титан-цирконієвих розсипів для прогнозування та пошуків перспективних ділянок.

Аналіз попередніх досліджень

Засоби картування та просторового статистичного аналізу даних, зокрема такі як програмні продукти Esri, вже кілька десятиліть застосовуються при обробці масивів геологічної інформації для вирішення широкого спектру задач. Серед них побудова геологічних моделей осадових формацій та їх аналіз для визначення

ділянок з певним комплексом характеристик (до прикладу, Шехунова, Лобасов 2001; Гребеніков, Лобасов, 2003; Шехунова та ін., 2006, 2015; Костріков, 2009; Лобасов та ін., 2010; Сюмар, 2011 та ін.), прогнозування та оцінка ризиків проявів небезпечних геологічних процесів (Khadka et al., 2018; Kril, Shekhunova, 2019; Shekhunova et al., 2019, 2020, 2022; Lombardo et al., 2021 та ін.).

У багатьох наукових працях наведено приклади побудови моделей різних геологічних об'єктів з використанням програмного забезпечення на базі ArcGIS (Долинський, 2014; Ma, Fan, 2018; Chen, Hurter, 2019). У монографії (Хрущов та ін., 2017) подано методику побудови цифрових структурно-літологічних моделей з використанням ArcGIS, а також представлено моделі титанових і титано-цирконієвих розсипів України. Подальше моделювання титано-цирконієвих розсипів було зосереджено на виявленні закономірностей накопичення ільменіту та інших корисних мінералів, характеристик середовища, в якому відбувалося транспортування і перевідкладення мінералів, а також формування пасток. Дещо модифікований підхід до моделювання розсипних родовищ запропоновано в роботі (Remezova et al., 2021). Автори проаналізували особливості моделювання різних розсипних об'єктів: розсипів важких мінералів (ільменіту, каситериту, золота), мінералів рідкісних металів та бурштину. Методичний комплекс робіт розділений на два блоки: прогнозно-палеорекоструктивна ретроспективна статична модель та комплексна еколого-геологічна модель локального геологічного об'єкта. Остання включає субмоделі підпорядкованих рангів, зокрема структурно-літологічну субмодель. У монографії (Хрущов та ін., 2017) в методологію побудови таких моделей введено поняття системи формація-речовина розсипоутворення. На її основі розроблено схему осадконакопичення у басейні Субпаратетису у середньо-новопетрівський період (основний етап розсипоутворення).

В роботі (Крошко, 2016) враховано подібність геологічної будови та палеогеоморфологічних умов формування ільменітових розсипів нижньої крейди Іршанського та Новомиргородського розсипних полів. Зроблено висновок, що перспективними для подальшого розвитку є розсипи, пов'язані з Лебедин-Балакліївською палеодолиною. За допомогою ГІС-технологій побудовано структурно-літологічні цифрові моделі, які виявили зв'язок концентрацій ільменіту

з виділеними мікро- та літофаціями, які пов'язані з палеорельєфом, а також проаналізовано розподіл товщини ільменітвміщуючих відкладів у межах розсипів.

Іншим напрямом моделювання є розробка систем управління якістю ільменітової сировини, що включає такі аспекти: геолого-маркшейдерське забезпечення управління якістю руд; геолого-технологічне картування (геометризація) руд; рудопідготовка (просіювання, сортування та сепарація руд). Такий підхід запропоновано на Лемненському родовищі (Левицький, Чайковський, 2016).

Оскільки розсипні родовища мають нерівномірний розподіл корисних копалин, який залежить від багатьох факторів, невіршеним залишається питання виділення пріоритетних ділянок з найбільш сприятливими показниками для видобування корисних копалин. Подібний підхід до вибору найбільш привабливих ділянок на основі геолого-економічних показників застосований на родовищі ільменіту Gondicum в Австралії. Залежно від літологічних відмінностей порід і типу пасток виділені ділянки з різним вмістом ільменіту (Tear et al., 2014). Аналогічні дослідження проводилися в Туреччині, де вивчалися комплексні розсипи (аланіт, шевкініт, титаніт, бетафіт, циркон, магнетит), сформовані в результаті вивітрювання та ерозії туфів. Родовище Аксу-Діамас є типовим для інших родовищ рідкісноземельних елементів як з геологічної точки зору, так і щодо ймовірних методів видобування. Тому для моделі розробки цього родовища використані гірничотехнічні рішення для аналогічних розсипів, які відомі в Австралії. Ділянки обрано з різною кількістю ресурсів та геологічними умовами видобування (Sides, 2011).

Матеріали і методи досліджень

Враховуючи наявний міжнародний досвід побудови моделей родовищ та власний доробок авторів цього дослідження, методика побудови моделі розсипного родовища складається з кількох етапів.

На першому етапі нами обрано геологічний об'єкт шляхом рейтингової порівняльної геолого-економічної оцінки. Ранжування проведено за геологічними (товщина продуктивної товщі, коефіцієнт розкриття та складність геологічної будови), якісними (вміст ільменіту в пісках, шкідливі домішки і зміненість ільменіту) та економічними показниками (термін окупнос-

ті, коефіцієнт розкриття, складність геологічної будови, промислове значення об'єктів). Ця методика детально описана у роботі (Охолона, Кузьманенко, 2023). Використання бальної шкали дає змогу порівнювати об'єкти з різним ступенем вивченості і може застосовуватись для визначення перспективності будь-якого родовища серед низки об'єктів, навіть за обмеженої інформації.

Наступним етапом є визначення в обраному об'єкті ділянок першочергового освоєння. Авторами розроблено структуру бази даних по обраному родовищу та здійснено її наповнення необхідними для моделювання показниками. Вихідними матеріалами є результати геолого-розвідувального буріння, які включають дані випробування свердловин.

Проводилось коригування координат свердловин з метою достовірної оцінки параметрів родовища. На цій основі побудовано серію карт родовища за обраними показниками (ільменіт, рутит, циркон, дистен+силіманіт та ін.).

Важливим завданням для моделювання розсипів на цьому етапі є визначення певних критеріїв для відбору найбільш сприятливих ділянок. Для цього запропоновано інтегральний показник. Він розраховується як різниця між вартістю умовного ільменіту (за даними Геологічної служби США) (Mineral Commodity..., 2022) та вартістю виймання розкритих порід і переробки продуктивного пласта. Для побудови геолого-економічних моделей також запропоновано поняття «вертикальний запас», який характеризує багатство родовища на метал (у нашому випадку ільменіт, лейкоксен, рутит – мінерали титану) на окремих його ділянках. Середній вертикальний запас для будь-якої ділянки дорівнює загальній кількості видобутого з неї ільменіту, поділеній на площу. Являючи собою добуток потужності рудоносною товщі на вміст металу в ній, вертикальний запас враховує зміни обох величин (Билибин, 1955).

Алгоритм визначення першочергових ділянок для відпрацювання титано-цирконієвих розсипів надано в таблиці.

Аналогічну методологію використано для побудови геолого-економічної моделі Торчинського залишкового родовища ільменіту. Елементами моделі були карти вертикального розподілу запасів, товщини рудного пласта і розкритих порід, а також розподілу інтегрального показника. На основі аналізу моделі

Таблиця. Алгоритм визначення найбільш перспективних ділянок для відпрацювання титано-цирконієвих розсипів

Table. Algorithm for identifications of the most promising areas for the development of titanium-zirconium placers

Етап	Сутність дій	Результат
Перший	Вибір геологічного об'єкта за рейтинговою порівняльною геолого-економічною оцінкою	Обрання для оцінки (експерименту) геологічного об'єкта
Другий	Створення бази геологічних даних обраного об'єкта та перевірка даних у ГІС	Відображення фактичних параметрів родовища
Третій	Побудова картографічних шарів розподілу корисних компонентів у межах об'єкта по горизонтальних площинах	Візуалізація розподілу корисного компонента(ів) у межах об'єкта
Четвертий	Побудова електронних карт розподілу вертикального запасу та інтегрального показника корисних компонентів	Кarti вертикального запасу, який визначає просторовий розподіл корисної копалини, та карти інтегрального показника, який відповідає за фінансову частину в межах родовища
П'ятий	Побудова класифікацій значень основних параметрів для відображення їх розподілу по шарах карти	Класифікація для розподілу ділянок за перспективністю
Шостий	Виділення перспективних ділянок за класифікованими основними значеннями в межах родовища	Виділені в межах родовища перспективні ділянки
Сьомий	Виділення першочергових ділянок шляхом ранжування перспективних ділянок для встановлення послідовності розробки частин родовища	Обрання першочергових ділянок, відпрацювання яких є найбільш вигідним

родовище поділено на блоки залежно від рентабельності видобутку. Запропоновано послідовну розробку окремих відносно невеликих кар'єрів замість одного великого кар'єру, що оптимізує вплив на навколишнє середовище (Яременко, 2016).

Результати досліджень

Геологічна будова родовища. Умовне розсипне родовище ільменіт-рутил-цирконієвих руд розташоване в межах Української розсипної субпровінції, на північно-східному схилі Українського щита. Промислові концентрації титан-цирконієвих руд приурочені до піщаних відкладів новопетрівської світи міоцену. Продуктивний пласт має субширотне простягання довжиною до 25 км, шириною 10–12 км.

У розрізі розсип розділяється на два пласти, які в південно-західній частині зливаються в один, що робить це родовище складним за геологічною будовою. Верхній пласт є основним промисловим рудним тілом, у ньому зосереджено до 90 % мінералів важкої фракції. Товщина пласта коливається від 2,0 до 20,7 м, площа його поширення – 78,5 км². Товщина розкривних порід варіює від 1,5 до 52,4 м. Нижній пласт залягає глибше на 0,2–11,0 м від верхнього. Його товщина змінюється від 0,1 до 8 м (у середньому 5,69 м), а товщина проміжних розкривних порід – до 11,0 м.

Характер шаруватості, ступінь сортування й обкатаність зерен, присутність збагачених рудними мінералами шарів свідчать про накопичення товщі пісків у прибережній зоні. Піски середньої пачки новопетрівської світи поширені майже по всій площі її розвитку. Товщина їх становить 5,0–10,0 м, а місцями збільшується до 20,0–25,0 м.

Для обраного об'єкта створено просторову базу даних, в яку увійшли результати аналізів вмісту ільменіту, рутилу, циркону, дистен+силіманіту, ставроліту у породах пласта, параметри покладу корисної копалини (абсолютні відмітки поверхні та підшови, абсолютні відмітки устя свердловин, товщина покладу) тощо. Приклад бази геологічних даних зображено на рис. 1.

Наступним кроком була перевірка даних для відхилення свердловин, які були помилковими, або перевірка статистичних даних (див. рис. 1), для відображення фактичних параметрів родовища.

Після перевірки даних створено цифрові карти, що складаються з шарів за заданими параметрами. Якщо в межах об'єкта є тільки один корисний компонент, створюється один шар, а якщо їх декілька, то для кожного корисного компонента створюється окремий шар. На рис. 2 показано створення шарів одного з розсипних родовищ титано-цирконієвих руд, яке є комплексним, тобто в межах родовища присутні такі корисні компоненти, як ільменіт, рутил, циркон, дистен+силіманіт та ін.

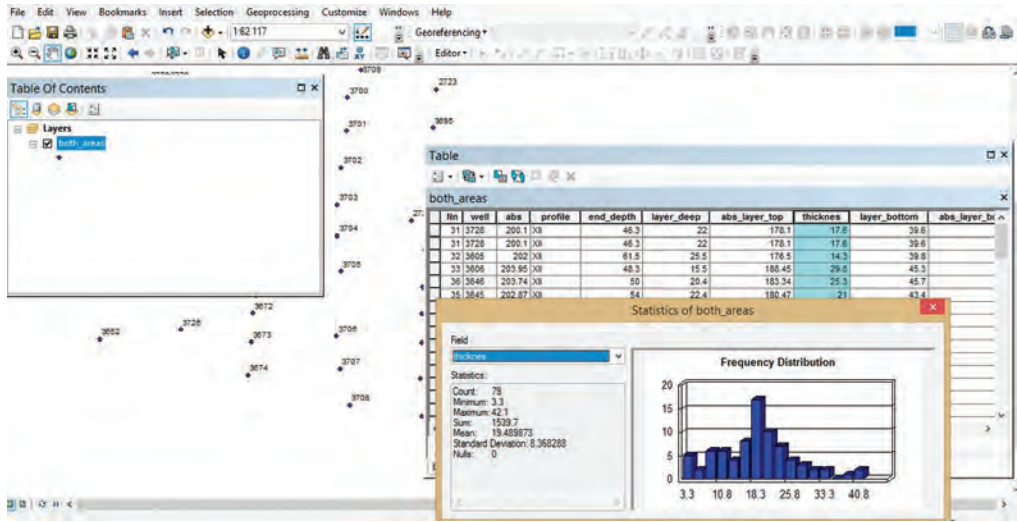


Рис. 1. Приклад бази геологічних даних обраного об'єкта та перевірки даних у програмному забезпеченні ArcGIS 10.2

Fig. 1. An example of the geological database of a selected object and data verification in ArcGIS 10.2 software

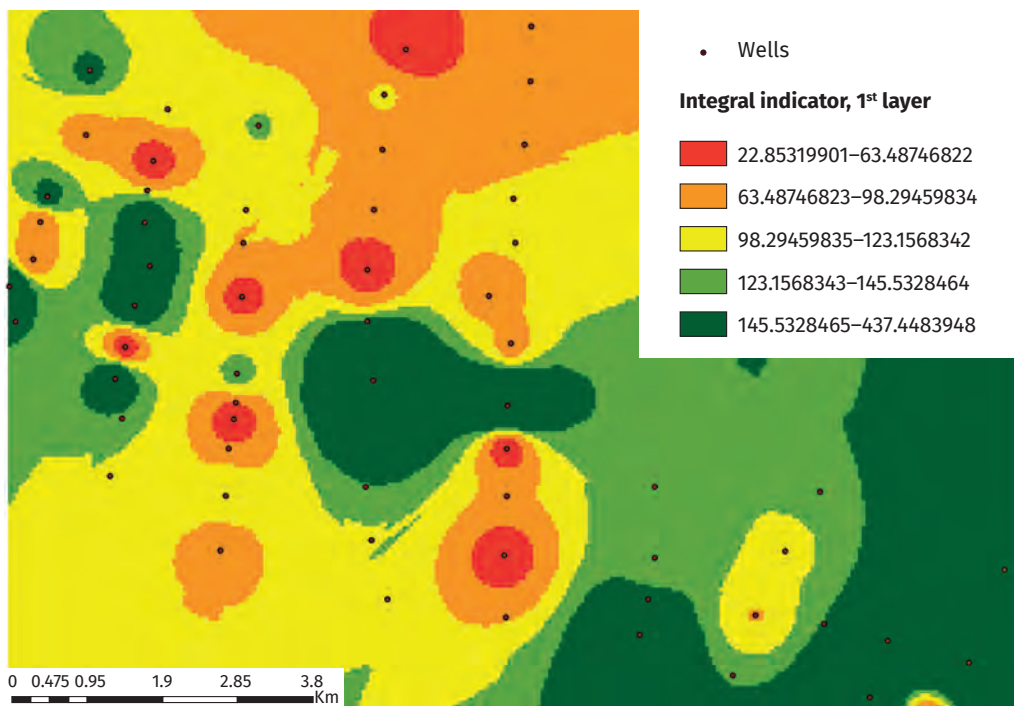


Рис. 2. Побудова шарів розподілу корисного навантаження. 2D вид

Fig. 2. Construction of payload distribution layers. 2D view

Для аналізу отриманих шарів обрано кольорову гаму, в якій зеленим кольором зображено найбільш перспективні ділянки, червоним – ділянки із найгіршими показниками. Такі ж кольори використано при створенні карт розподілу вертикального запасу та інтегрального показника. Приклад розрахунку вертикального запасу та інтегрального показника зображено на рис. 3.

Встановлення першочергових ділянок для відпрацювання з економічно обґрунтованими характеристиками здійснено шляхом побудови геоінформаційних моделей у програмному забезпеченні ArcGIS. Одним з елементів створеної нами моделі є розподіл значень вертикального запасу ільменіту на родовищі.

Система ArcGIS дає можливість візуалізувати об'єкт у 2D та 3D моделях. Спочатку отримуємо чорно-білий малюнок (рис. 4), який можна змінювати у будь-якій кольоровій градації. Як зазначалося вище, ми обираємо п'ять кольорів. Блоки з максимальною рентабельністю видобутку комплексних руд вказують на можливість отримання прибутку під час розробки у межах тієї чи іншої ділянки. На моделях вони зображені зеленим кольором. Найгірші показники відмічені червоним кольором, який показує від'ємний прибуток на даній ділянці родовища.

На горизонтальній осі показано значення в дол. США, а на вертикальній – кількість точок даних із цим значенням. Інтервали були розділені таким чином, щоб отримане зображення представляло дані якомога повніше.

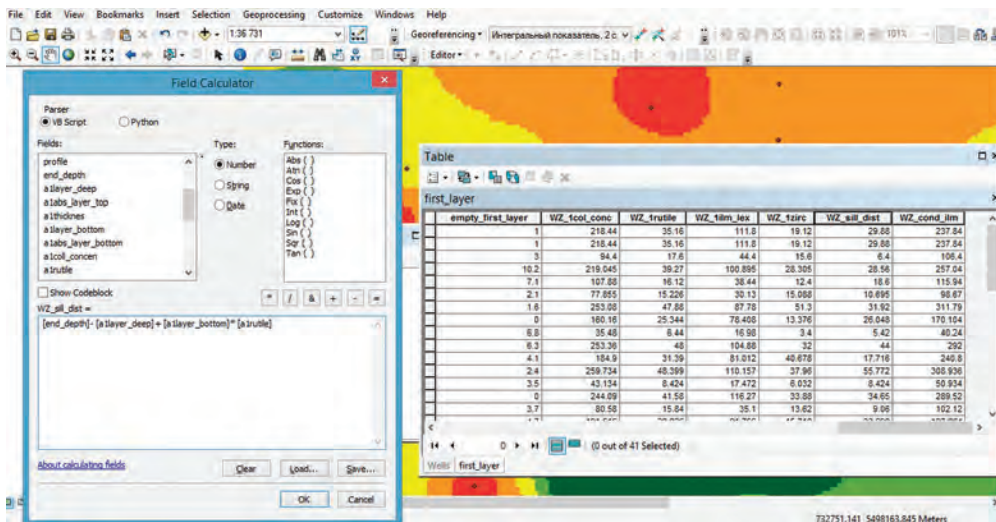


Рис. 3. Приклад розрахунку параметрів вертикального запасу та інтегрального показника. 2D вид

Fig. 3. An example of vertical stock parameters and integral indicator calculation. 2D view

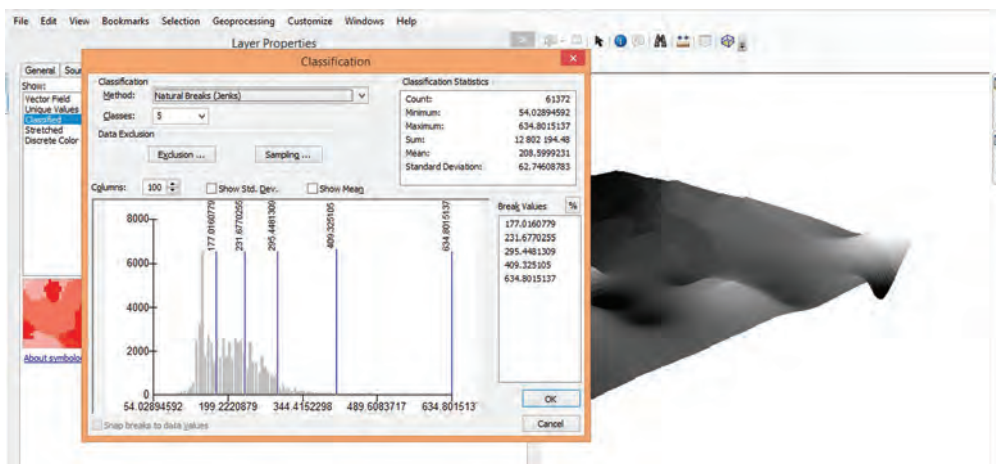


Рис. 4. Побудова класифікації для відображення шарів. 3D перегляд

Fig. 4. Construction of classifications for displaying layers. 3D viewing

Вертикальні лінії з цифрами позначають межі, які розбиті на зони так, щоб вони були максимально наближені до чисел, отриманих при розв'язанні задачі. Іншими словами, все це розподіляється навколо відбору найбільш перспективних, малоперспективних і неперспективних ділянок. На рис. 5 наведено приклад перспективної площі, яка візуалізована у зелених та салаткових кольорах.

На обраному об'єкті виділено три першочергові для відпрацювання площі (рис. 6). Перша перспективна площа розташована в північно-західній частині родовища і складається з двох ділянок. Друга перспективна ділянка знаходиться в центральній частині, а третя – в південно-східній.

На рис. 6 показано модель розподілу інтегрального показника обраного родовища (виражений в дол. США на сьогоднішній день), на якій виділено три першочергові площі для відпрацювання. Ділянки, зображені червоним кольором, мають низький прибуток, який складає еквівалент 54–134 дол. США із 1 м². Такі ділянки в межах родовища розташовані локально. Області по-

ранчевого кольору мають більший прибуток на 1 м², що дорівнює еквіваленту 134–174 дол. США. Така ділянка знаходиться на півночі родовища у вигляді суцільного шару.

У межах об'єкта виділено дві ділянки, які позначено жовтим кольором. Ця кольорова гама відображає ділянки із середнім прибутком, що складає 174–217 дол. США. Перша ділянка розташована в західній частині родовища та простягається майже суцільною смугою з півночі на південь, друга ділянка зосереджена в південно-східній частині родовища. Між цими двома ділянками знаходяться салатові та зелені ділянки. Всього цих ділянок у межах родовища три. Перша ділянка в крайній західній частині родовища, друга ділянка – в центральній частині, третя ділянка – в крайній східній частині родовища. Ділянки, позначені салатовим кольором, мають високі показники прибутковості в еквіваленті 217–242 дол. США на 1 м², а ділянки із темно-зеленим кольором – найвищий прибуток, який сягає в еквіваленті від 242 до 634 дол. США на 1 м².

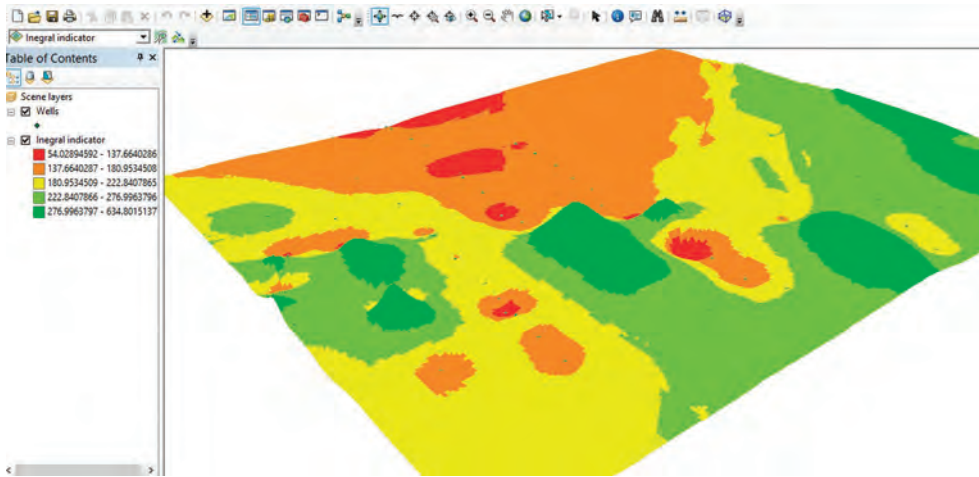


Рис. 5. Приклад перспективної площі. 3D перегляд
 Fig. 5. An example of a promising area. 3D viewing

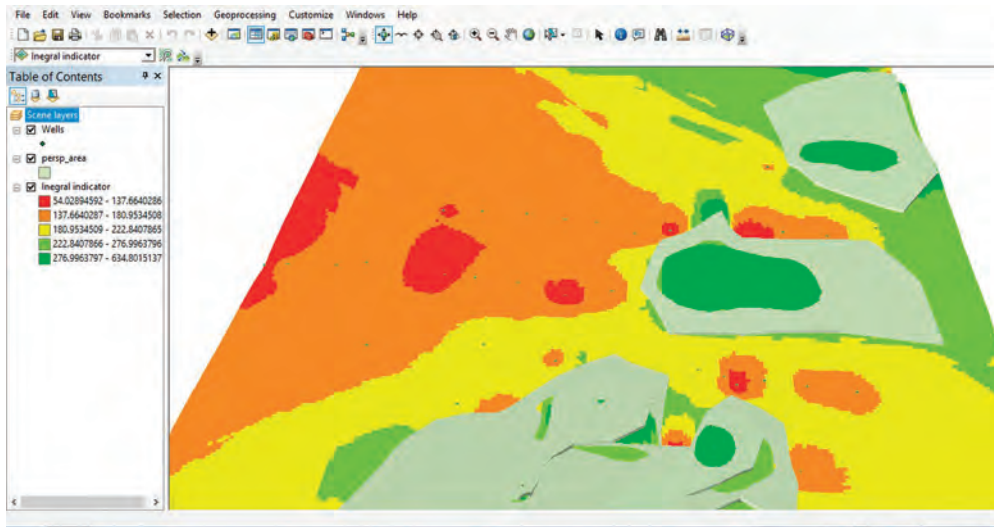


Рис. 6. Виділення перспективних ділянок на площі. 3D перегляд
 Fig. 6. Selection of promising sites in the area. 3D viewing

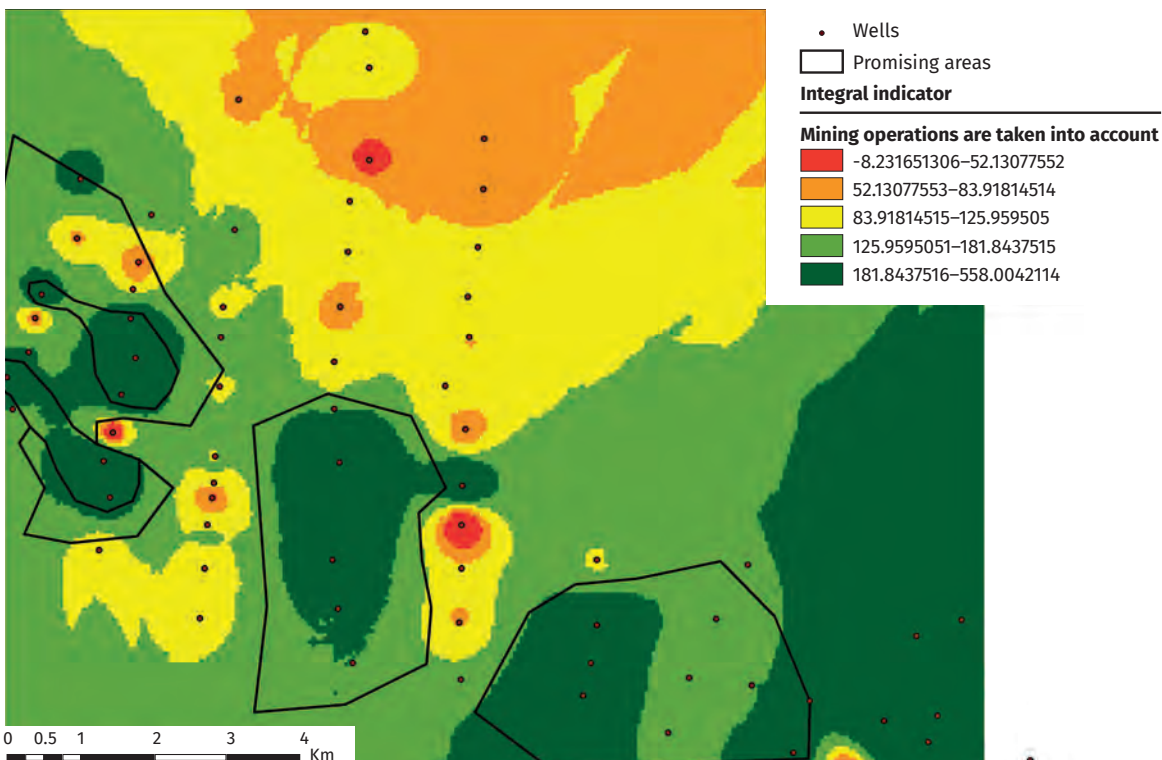


Рис. 7. Виділення першочергових ділянок для відпрацювання. 2D вид
 Fig. 7. Selection of priority sites for development. 2D view

На рис. 7 зображено контури першочергових ділянок для освоєння. Рекомендовані ділянки виділено із застосуванням інтегрального показника, який враховує такі геологічні та економічні параметри: коефіцієнт розкриття, середній вміст корисного компонента, потужність рудного пласта, вартість експлуатації цих ділянок, термін окупності кожної окремої ділянки тощо.

Висновки

Проведено оконтурення пріоритетних ділянок у межах умовного родовища з найбільш сприятливими показниками для видобування корисних копалин, оскільки розсіпні родовища мають нерівномірний розподіл корисного компонента. В результаті виділено три ділянки, які за економічними розрахунками є найбільш привабливими. Одна ділянка, що розташована в західній частині родовища, умовно поділена ще на дві підділянки. Друга ділянка знаходиться в центральній частині родовища, а третя ділянка – в південно-східній його частині. Кожна першочергова ділянка для відпрацювання має для зручності власну назву, щоб інвестор міг знати, які площі мають певні параметри.

Застосована методика дозволяє провести попередню оцінку родовища і площ в його межах без додаткових бурових робіт, що є економічно вигідним. Розробка родовища невеликими площами дозволяє оптимізувати вплив на навколишнє середовище за рахунок зменшення об'єму кар'єру, що зараз розробляється.

Запропонований підхід і проведені розрахунки щодо визначення першочергових ділянок для відпрацювання титано-цирконієвих розсіпів вимагають подальшого створення економічних передумов, особливо в умовах післявоєнної економіки, для пошуку шляхів їх реалізації, де інструментом технічної підтримки фахівці НБУ вважають фінансовий лізинг. Для технічного супроводження видобутку та інших робіт у добувній промисловості науковці теж пропонують розширити використання фінансового лізингу. В роботі (Vnukova et al., 2022) доводиться необхідність та доцільність використання фінансового лізингу підприємствами видобувної промисловості для мінімізації витрат на придбання, використання, обслуговування обладнання та збереження виробничих потужностей. Використання фінансового лізингу підприємствами добувної промисловості додатково дозволить розширити існуюче виробництво, запровадити новітні технології, зокрема у сфері нематеріальних активів, інтелектуальних систем.

Робота профінансована за програмою «Наукові та науково-технічні (експериментальні) роботи за пріоритетним напрямком «Технології пошуку, видобутку, переробки та використання критичних корисних копалин, проблеми оцінки, збереження та післявоєнного відновлення навколишнього середовища» на 2023–2024 роки «Стратегічні мінерально-сировинні ресурси для відновлення економіки України: аналіз ресурсів і запасів, розробка критеріїв пошуку для розширення їх мінерально-сировинної бази». Номер державної реєстрації 0123U100855.

Наведено авторську методику виділення пріоритетних площ титано-цирконієвих розсіпів із застосуванням інтегрального показника. Як відомо, інтегральний показник є відношенням сумарного корисного ефекту від розробки родовища до сумарних витрат на експлуатацію. Він розраховується як різниця між вартістю умовного ільменіту (за даними Геологічної служби США) (Mineral Commodity..., 2023) та вартістю виймання розкритих порід і переробки продуктивного пласта.

На основі розробленої та представленої в статті методики проведено експеримент за даними одного з розсіпних родовищ, розташованого в межах Української розсіпної субпровінції. Запропоновано розробляти його невеликими блоками, що забезпечить високу продуктивність, мінімальний вплив на навколишнє середовище і дозволить поповнити мінерально-сировинну базу титанової промисловості України.

Дана методика може бути використана на будь-якому родовищі титано-цирконієвих руд як в Україні, так і за кордоном.

Список літератури

- Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. Москва: Изд-во АН СССР, 1955.
- Геєць В.М. Формування профілю стратегічно важливих видів промислової діяльності в Україні (погляд на перспективу). *Економіка України*. 2023. № 9. С. 03–29. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2023.09.003>
- Гребенніков С.Є., Лобасов О.П. Моделювання будови басейнів в середовищі ArcView. *Мінер. ресурси України*. 2003. № 4. С. 25–31.
- Долинський І.П. Апробація комплексу програм 3D регіонального моделювання на прикладі геологічних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини. *Геоінформатика*. 2014. № 4. С. 37–47.
- Костріков С.В. Досвід ГІС-моделювання і візуалізації системи свердловин та геологічного середовища (на прикладі Грем'ячинського родовища калійних солей). *Геоінформатика*. 2009. № 2. С. 64–70.
- Крошко Ю.В. Цифрові структурно-літологічні моделі нижньокрейдяних континентальних розсипів ільменіту у верхній палеотечії Лебедин-Балакліївської палеодолини (центральна частина Українського щита). *Геоінформатика*. 2016. № 3. С. 49–57.
- Левицький В.Г., Чайковський Д.О. Геоінформаційні методи управління якістю ільменітової сировини на основі геометризації родовища. 2016. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/06/162-1.pdf>
- Лобасов О.П., Сюмар Н.П., Шехунова С.Б. Побудова та аналіз літологічної моделі нижньопермської соленосної формації Дніпровсько-Донецької западини засобами ГІС. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2010. № 3. С. 294–305. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.150809>
- Охоліна Т., Кузьманенко Г. Порівняльна геолого-економічна оцінка родовищ титану України на прикладі Новомиргородського розсипного району. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Геологія*. 2023. № 3 (102). С. 69–73.
- Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року: Закон України від 21 квітня 2011 року в редакції від 12.04.2024 р. № 3268-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>
- Сюмар Н.П. Методика застосування ArcView для побудови та аналізу соленосної формації галотектокінетичного типу. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2011. Вип. 4. С. 160–164. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2011.15>
- Хрущев Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А., Лаломов А.В., Цымбал С.Н., Бесевская Л.П., Лобасов А.П., Ганжа Е.А., Дудченко Ю.В., Крошко Ю.В. Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Изд. «Интерсервис», 2017.
- Шехунова С.Б., Алексеевкова М.В., Стадніченко С.М., Сюмар Н.П. Інтегральна геологічна модель Солотвинської структури як інструмент оцінки геокологічного стану Солотвинського родовища кам'яної солі. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2015. № 8. С. 233–250. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791>
- Шехунова С.Б. Критична та стратегічна мінеральна сировина для економічної безпеки та повоєнного розвитку України. *Вісник Національної академії наук України*. 2023. № 5. С. 25–30. <https://doi.org/10.15407/visn2023.05.025>
- Шехунова С.Б., Лобасов О.П. Просторовий статистичний аналіз систем тектонічних порушень Дніпровсько-Донецької западини та його застосування. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2001. № 1. С. 73–79.
- Шехунова С.Б., Лобасов О.П., Сухомлин Н.П. Побудова та аналіз літологічної моделі верхньоярської соленосної формації Переддобрудзького прогину засобами ГІС. Сучасні напрямки української геологічної науки. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2006. С. 62–72.
- Шехунова С.Б., Сюмар Н.П., Лобасов О.П., Стадніченко С.М. Аналіз просторових закономірностей поширення зсувів у межах Закарпатської області засобами ГІС. *Український географічний журнал*. 2022. № 1. С. 11–20. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011>
- Яременко О.В. Геологічні умови формування й комплексне освоєння Торчинського апатит-ільменітового родовища. *Мінер. ресурси України*. 2016. № 4. С. 20–24. <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/166>
- Chen G., Hurter S. (2019). Automatic 3D geological modeling with ArcGIS Engine: A new approach for surface and subsurface data integration. UQ Center for Natural Gas Annual Research Review. University of Queensland. [PDF]. URL: <https://natural-gas.centre.uq.edu.au/files/9691/Research%20Review%202019%20-%20Poster%20P%20-%20Chen%2C%20Guo%201.pdf> (accessed 22 December 2022).
- Khadka A., Dhakal S., Budha P. (2018). GIS Based Landslide Susceptibility Mapping along the Road Section from Bandeu to Barahabise, Sindhupal Chowk District of Nepal. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7, 465–471.
- Kril T., Shekhunova S. (2019). Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *3th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring*. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>
- Lombardo L., Tanyas H., Huser R., Guzzetti F., Castro-Camilo D. 2021. Landslide size matters: A new data-driven, spatial prototype. *Engineering Geology*. Vol. 293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106288>
- Mineral Commodity Summaries. (2022). URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (accessed February 20, 2023).
- Ma M., Fan S. 2018. Research on 3D Geological Modeling Based on ArcGIS and Borehole Data. *7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. Advances in Engineering Research*. Vol. 163. P. 487–491.
- Remezova O.O., Khrushchov D.P., Vasylenko S.P., Yaremenko O.V. (2021). Innovative approaches to information modeling of placer deposits. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics*. Vol. 2021. P. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
- Shekhunova S.B., Siumar S.P., Lobasov O.P., Yakovlev E.O., Meijer S., Stadnichenko S.M. (2019). GIS tools application for landslides formation factors analysis (Transcarpathian region). *First EAGE Workshop on assessment of landslide and debris flows hazards in the Carpathians*. 17–20 June 2019, Lviv, Ukraine. – L-05. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902160>
- Shekhunova S. B., Aleksieienkova M. V., Kril T. V., Stadnichenko S. M., & Siumar N.P. (2020). Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytisia interfluve (Transcarpathia, Ukraine) / *Second EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities, 8–9 September 2020, Kyiv, Ukraine*. L-2020-01-18. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055018>
- Sides E. Technical Report on the Aksu Diamas Rare Earth Element Project. *Isparta district, Turkey. NI 43-101 Technical Report*. Vancouver, AMR Mineral Metal Inc., 2011.
- Tear S., Lee G., Desoe Ch. Resource Estimation of the Goondicum Ilmenite Deposit. *SE Queensland, Australia*. H&S Consultants Pty. Ltd, 2014.
- Vnukova N., Tokhtamysh T., Hranko K., Sokol S. 2022. Financial leasing for the extractive industry: status and trends. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. Vol. 970(1). P. 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012036>

References

- Bilybyn Yu.A. 1955. Fundamentals of placer geology. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR (in Russian)
- Chen G., Hurter S. 2019. Automatic 3D geological modeling with ArcGIS Engine: A new approach for surface and subsurface data integration. UQ Center for Natural Gas Annual Research Review. University of Queensland. [PDF]. URL: <https://natural-gas.centre.uq.edu.au/files/9691/Research%20Review%202019%20-%20Poster%20P%20-%20Chen%2C%20Guoxu%201.pdf> (accessed 22 December 2022).
- Dolynskiy I.P. 2014. Approbation of a complex of 3D regional modeling programs on the example of geological objects of the Donetsk-Dnipro depression. *Geoinformatics*, 4: 37–47 (in Ukrainian).
- Geets V.M. 2023. Formation of the profile of strategically important types of industrial activity in Ukraine (perspective view). *Economy of Ukraine*, No. 9: 03–29. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2023.09.003> (in Ukrainian).
- Grebennikov S.E., Lobasov O.P. 2003. Modeling the structure of pools in the ArcView environment. *Miner. resources of Ukraine*, 4: 25–31 (in Ukrainian).
- Khadka A., Dhakal S., & Budha P. 2018. GIS Based Landslide Susceptibility Mapping along the Road Section from Bandeu to Barahabise, Sindhupal Chowk District of Nepal. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7: 465–471.
- Khrushchov D.P., Kovalchuk M.S., Remezova E.A., Lalomov A.V., Tsybal S.N., Bosevskaya L.P., Lobasov A.P., Ganja E.A., Dudchenko Yu.V., Kroshko Y.V. 2017. Structural and lithological modeling of sedimentary formations. Kyiv: Interservice (in Ukrainian).
- Kostrikov S.V. 2009. Experience of GIS modeling and visualization of the well system and geological environment (on the example of the Gremyachynske potassium salt deposit). *Geoinformatics*, 2: 64–70 (in Ukrainian).
- Kril T., Shekhunova S. 2019. Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *3th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring*, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>
- Kroshko Yu.V. 2016. Digital structural and lithological models of Lower Cretaceous continental ilmenite placers in the upper paleocurrent of the Lebedyn-Balakiiv paleovalley (central part of the Ukrainian Shield). *Geoinformatics*, 3: 49–57 (in Ukrainian).
- Levitsky V.G., Tchaikovskiy D.O. 2016. Geoinformation methods of ilmenite raw material quality management based on deposit geometrization. [PDF]. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/06/162-1.pdf> (accessed 2 February 2023) (in Ukrainian).
- Lobasov O.P., Siumar N.P., Shekhunova S.B. 2010. Developing and analysis of Dnipro-Donets depression Lower Permian salt formation lithological model by means of GIS. *Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, 3: 294–305. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.150809> (in Ukrainian).
- Lombardo L., Tanyas H., Huser R., Guzzetti F., Castro-Camilo D. 2021. Landslide size matters: A new data-driven, spatial prototype. *Engineering Geology*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.eng-geo.2021.106288>
- Mineral Commodity Summaries. 2022. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (accessed February 20, 2023).
- Ma M., Fan S. 2018. Research on 3D Geological Modeling Based on ArcGIS and Borehole Data. *7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. Advances in Engineering Research*, 163: 487–491.
- Okholina T., Kuzmanenko H. 2023. Comparative geological and economic assessment of the titanium deposits of Ukraine using the example of the Novomyrhorod placers district. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Series: Geology*. 3 (102): 69–73 (in Ukrainian).
- On the approval of the State-wide program for the development of the mineral and raw material base of Ukraine for the period until 2030: Law of Ukraine dated April 21, 2011, revised 12.04.2024. № 3268-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text> (in Ukrainian).
- Remezova O.O., Khrushchov D.P., Vasylenko S.P., Yaremenko O.V. 2021. Innovative approaches to information modeling of placer deposits. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, *Geoinformatics*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
- Shekhunova S.B. 2023. Critical and strategic mineral raw materials for the economic security and post-war development of Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5: 25–30. <https://doi.org/10.15407/visn2023.05.025> (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B. and Lobasov O.P. 2001. Spatial statistical analysis of the Dnipro-Donets Basin tectonic disturbances systems and their application. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 1: 73–79 (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Lobasov O.P., Sukhomlyn N.P. 2006. Upper Jurassic rock salt formation model in the Dobrogean foredeep: An analysis and interpretation using GIS technology. *Modern directions of Ukrainian geological science: Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine: Contemporary trends in Ukrainian geological science*, pp. 62–72 (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Siumar S.P., Lobasov O.P., Yakovlev E.O., Meijer S., Stadnichenko S.M. 2019. GIS tools application for landslides formation factors analysis (Transcarpathian region). *First EAGE Workshop on assessment of landslide and debris flows hazards in the Carpathians*, 17–20 June 2019, Lviv, Ukraine. – L-05. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902160>
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Kril T.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P. 2020. Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluvium (Transcarpathia, Ukraine) / Second EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities, 8–9 September 2020, Kyiv, Ukraine. L-2020-01-18. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055018>
- Shekhunova S.B., Siumar N.P., Lobasov O.P., & Stadnichenko S.M. 2022. Analysis of Spatial Patterns of Landslide Formation with GIS Tools (Zakarpatska Oblast). *Ukrainian Geographical Journal*, 1: 11–20. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011> (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P. 2015. The integrated geological model of Sotolvyno structure as a tool to assess geocological sustainability of Sotolvyno rock-salt deposit. *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, 8: 233–250. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791> (in Ukrainian).
- Sides E. 2011. Technical Report on the Aksu Diamas Rare Earth Element Project. Isparta district, Turkey. NI 43-101 *Technical Report*. Vancouver, AMR Mineral Metal Inc.
- Siumar N.P. 2011. GIS Methodology used for developing and analysis of the halotectokinetic type saliferous formations geological features. *Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*. 4: 160–164. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2011.153040> (in Ukrainian).
- Tear S., Lee G., Desoe Ch. 2014. Resource Estimation of the Goondicum Ilmenite Deposit. *SE Queensland, Australia. H&S Consultants Pty. Ltd*
- Vnuкова N., Tokhtamysh T., Hranko K., Sokol S. 2022. Financial leasing for the extractive industry: status and trends. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing*, 970 (1): 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012036>
- Yaremenko O.V. 2016. Geological conditions of the formation and complex development of the Torchynsky apatite-ilmenite deposit. *Miner. resources of Ukraine*, 4: 20–24. <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/166> (in Ukrainian).