

О. А. Кравченко, аспірант,

Д. П. Хрущов, д-р геол.-мінерал. наук, професор, старший науковий співробітник
(Інститут геологічних наук НАН України)

МОДЕЛЮВАННЯ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОЗСИПІВ НА ПРИКЛАДІ КРАСНОКУТСЬКОГО РОДОВИЩА

Актуальність статті пов'язано з необхідністю створювати сучасні технології інформаційного забезпечення геологічної діяльності, що спрямована на освоєння перспективних родовищ титан-цирконієвих елементів через їх стратегічну значущість. Як така технологія пропонується цифрове структурно-літологічне моделювання, що адаптоване для умов розсіпів важких мінералів. Мета роботи – продемонструвати результати, можливості та перспективи моделювання для вирішення завдань, пов'язаних з освоєнням титан-цирконієвих розсіпів на прикладі Краснокутського родовища. Викладено методологію та методи досліджень. Продемонстровано найбільш показові похідні (візуалізації) цифрової структурно-літологічної моделі об'єкта та результати їх інтерпретації. Окреслено можливості й перспективи розвитку цього напрямку.

Ключові слова: титан-цирконієві розсіпи, важкі мінерали, розсіпні родовища, цифрова структурно-літологічна модель, інформаційні технології, експлуатація та пошуки родовищ.

Вступ

Через збільшення попиту на титан-цирконієву сировину й вичерпність наявних запасів, виникає необхідність освоювати нові та економічно й ефективно відпрацьовувати старі родовища. Саме це зумовлює доцільність упровадити сучасні технології інформаційного забезпечення щодо всіх заходів, що стосуються розвитку сировинної бази титану й цирконію як елементів стратегічної значущості.

Цільовий науково-технічний колектив Інституту геологічних наук НАН України та інші науково-дослідні й проектні організації розробили методіку цифрового структурно-літологічного моделювання (ЦСЛМ) осадових формацій, що відзначається високою інформаційною й прогнозною здатністю. Ця методіка адаптована для умов розсіпів важких мінералів, зокрема титан-цирконієвих руд.

Мета цієї публікації – продемонструвати результати, можливості й перспективи

цільового ЦСЛМ для вирішення завдань, спрямованих на освоєння розсіпних родовищ титан-цирконієвих руд на прикладі Краснокутського родовища.

Поставлена мета включає такі завдання:

- стислий виклад методології й методів розробки;
- демонстрація похідних ЦСЛМ Краснокутського родовища та результатів їх інтерпретації;
- визначення можливостей і перспектив моделювання.

Комп'ютеризацію ЦСЛМ здійснив кандидат геологічних наук О. П. Лобасов. Виконані дослідження провели за фінансування спільного наукового проекту НАН України та Російського фонду фундаментальних досліджень 2014–2015 рр. “Розробка інформаційно-прогнозних ретроспективно-статичних моделей розсіпів важких мінералів Східноєвропейської платформи (території Російської Федерації та України)”.

Ретроспективний огляд, постановка проблеми, методологія та методи

Ретроспективний огляд. Структурно-літологічне моделювання осадових формацій як самостійний напрям геологічного моделювання розвивалося в ІГН НАН України з 80-х років ХХ ст. [10]. Нині розвиток цього напрямку виразився в розробці прогностичного ЦСЛМ, що впроваджується на прикладах геологічних об'єктів соленосних, червоноколірних теригенних і розсіпних (титан-цирконієвих, золотоносних та каситеритових) формацій [13 та ін.].

Одні з найбільших компаній, що займаються моделюванням родовищ будь-якого типу із застосуванням сучасних комп'ютерних програм, моделюванням родовищ на різних стадіях розробки (від геологорозвідувальних робіт до стадії ТЕО), а також розробкою програмного забезпечення для моделювання є SRK Consulting, Simmakers Ltd та ін. Існує низка програмних засобів, таких як Datamine, Gemcom, Vulcan, Surpac, Minex, Micromine, Leapfrog, MINEFRAME, Geomodeller, IRAP RMS ROXAR та ін., які використовують під час цифрового моделювання різних геологічних об'єктів.

Із переліку зарубіжних робіт приклади ефективного моделювання осадових товщ, які здійснюються на рівні комп'ютерних технологій останніх років, – це є роботи Д. М. Левіна (2012 р.), Б. Костича, М. Зюсса та Т. Ейгнера (2007 р.), М. В. Перепечкіна (2007 р.), Г. Граммера, П. Харріса й Г. Еберлі (2004 р.), К. Мак-Кормака, К. Мак-Лехлеіна та К. Сілса (2005 р.), А. В. Жардецького (2000 р.).

У вітчизняній практиці приклади цифрового моделювання геологічних об'єктів висвітлено в низці публікацій, переважно в тематичних збірках Української асоціації геоінформатики “Теоретичні й прикладні аспекти геоінформатики” (2004–2010 рр.), де значну частину робіт присвячено вирішенню завдань нафтової геології. Досить результативні розробки Криворізького територіального відділення Міжнародної академії комп'ютерних наук та систем

(КРТВ МАКНС) з геоінформаційної системи “К-MINE”, яка спрямована переважно на забезпечення гірничодобувної галузі, досить ефективна також система моделювання “Коммодор”.

Наведені відомості свідчать про інтенсивний та результативний розвиток цього напрямку геоінформатики й досить високий рівень напрацювань при вузькій їх цільовій направленості, фрагментарності та недостатності методологічної основи.

Прямої аналогії структурно-літологічного моделювання геологічних об'єктів осадових формацій не існує. Теоретичні засади його почали формуватися ще з кінця ХХ ст. в ІГН НАН України [10], а цільова методологія була розроблена й почала запроваджуватися вже з початку ХХІ ст. [13, 14, 16]. Протягом наступних років ця розробка розвивалася та вдосконалювалася, що висвітлено в низці публікацій і монографій [5, 11, 12].

В основі ідеї цифрового структурно-літологічного моделювання лежать принципи структурно-системного аналізу геологічних систем, найчіткіше представлені Ю. М. Карагодіним та відображені в ряді праць А. Д. Арманд, О. Є. Лукіна, В. А. Садового, О. М. Дмитрієвського, Ю. А. Косигіна, В. О. Соловійова та ін. Структурний аспект формаційного аналізу, який є базовою складовою представленої розробки, висвітлюється в роботах Д. В. Наливкіна, М. С. Шатського, М. П. Хераскова, Л. Б. Рухіна та ін. В основу математичного й комп'ютерного моделювання геологічної будови та речовинного складу осадових утворень покладено методи варіаційних розрахунків, геостатистики (В. І. Аронов, А. І. Вістеліус, А. М. Волков, В. А. Волков, Ф. А. Грейбілл, Дж. К. Гріффітс, У. Крамбейн та ін.) та просторово-статистичного аналізу, який є основним компонентом новітніх геоінформаційних технологій.

На сьогодні отримано низку похідних моделей по Злобицькому, Мотронівсько-Аннівському [1, 15] та Краснокутському родовищах. Для демонстрації повної картини можливостей ЦСЛМ ми взяли за

приклад Краснокутське родовище титан-цирконієвих руд.

Методологія структурно-літологічного моделювання ґрунтується на розвитку трьох наукових дисциплін: формаційного аналізу [7–9 та ін.], структурно-літологічного розчленування осадових геологічних тіл з використанням системного підходу, а також математичного та комп'ютерного моделювання [3, 4 та ін.].

Цільова база даних, що являє собою основу для цифрового моделювання, базується на авторських прийомах розчленування опорних розрізів геологічного об'єкта.

Особливості складання бази даних для розсіпів полягають у наборі критеріїв розчленування розрізів об'єкта. Найбільш результативним критерієм є виділення літофацій і фацій. Виділення літофацій здійснюється за загальноприйнятими правилами. Визначення фацій, а тим більше мікрофацій і генетичних типів, відзначається суб'єктивною неоднозначністю, тому основним принципом розчленування розрізів є виокремлення літофацій і літо-типів. Визначення двокомпонентних порід проводиться за звичайними номенклатурними правилами, для трикомпонентних порід точна ідентифікація здійснюється на основі трикутних діаграм. Як основний елемент розчленування визначається рудна мінералізація. Фіксуються якісні (за речовинним складом) і кількісні (за вмістом компонентів речовинного складу) характеристики.

Процедура побудови моделі передбачає виконання таких етапних завдань: розробка схеми ієрархічної структури об'єкта; визначення літологічного наповнення структурних елементів; розробка двовимірного макета моделі; розробка цифрової об'ємної моделі; верифікація. Після цього можливе її використання (одержання похідних, або візуалізацій, моделі у двовимірній формі).

Отримана комп'ютерна модель є віртуальне об'ємне багатостороннє відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні та якісні характеристики.

Принципова її відміна від традиційних двовимірних графічних матеріалів – також властивість безперервності.

З трьох намічених рівнів масштабності моделювання – регіонального, зонального (дрібний, середній масштаби) та локального (великий масштаб, умовна межа – від 1:50 000 і більше) – моделі двох останніх належать до типу цільових. Моделі цільового типу, призначені для розв'язання конкретних завдань прогнозування, пошуків, розвідки та експлуатації розсіпів важких мінералів, відповідно будуються на основі введення даних, що являють собою предмет моделювання. Моделі окремих розсіпів здебільшого відповідають останньому з цих рівнів – локальному.

Програмне забезпечення й формати даних. Числові моделі структурних і літологічних параметрів зберігаються у вигляді бінарних файлів у структурі картографічної бази програмного комплексу “Geomapping”. У цій системі передбачається візуалізація побудов та експорт результату до формату точкової системи ГІС ArcView, ґрида ГІС ArcView чи широко запровадженого комплексу Surfer. Вхідна інформація системи “Geomapping” подається у форматі shp ГІС ArcView.

Цифрова структурно-літологічна модель Краснокутського родовища

Краснокутське родовище титан-цирконієвих руд розміщене на північно-східному схилі Дніпровсько-Донецької западини й належить до Краснокутського розсіпного поля Харківського розсіпного району Харківсько-Сумської розсіпної зони [2].

Родовище відкрили геологи Київського геологорозвідувального тресту в 1956 році. З 1957 по 1961 роки проводилася попередня розвідка родовища, що завершилася його оцінкою з підрахунком запасів за категоріями C_1 та C_2 .

Краснокутське родовище титан-цирконієвих руд з погляду моделювання являє собою зразок об'єкта порівняно простої геологічної структури (як приклад розсіпу прибережного геолого-генетичного типу), однак з досить складним розподі-

лом рудних тіл і технологічних властивостей, що підтверджується результатами моделювання.

Для побудови ЦСЛМ створено цільову базу даних, що включає розрізи 878 свердловин розвідувального буріння, яка використовувалася з урахуванням первинних геологічних профілів, а також результатів власних польових досліджень.

Виконано дослідження за двома напрямками: цифрове структурно-літологічне моделювання й палеофаціальні реконструкції.

Цифрова структурно-літологічна модель. Згідно зі складом вихідних даних як структурно-літологічні елементи бралися: гранулометричні характеристики, типи порід (літофаціальна підмодель), генотипи (фаціальна підмодель), уміст рудного матеріалу та структурні границі рудовмісної товщі (рудна підмодель).

Унаслідок побудови ЦСЛМ отримано похідні, які відображають структурні й речовинні характеристики рудної товщі в трьох формах представлення: площинні – карти, вертикальні – профілі, кількісно-якісні – підрахунок запасів рудних мінералів.

Продемонстровано найбільш наочні приклади з отриманих похідних зі стислими коментарями.

Літофаціальна підмодель. Дослідження літологічних характеристик вмісної товщі дозволяє зрозуміти умови утворення родовища та його технологічні властивості. Для Краснокутського родовища рудоносним горизонтом була товща порівняно монотонних і переважно піщаних порід середньоновопетрівської підсвіти.

Нижче наведено літофаціальні та гранулометричні характеристики в розрізі середньоновопетрівської підсвіти (рис. 1).

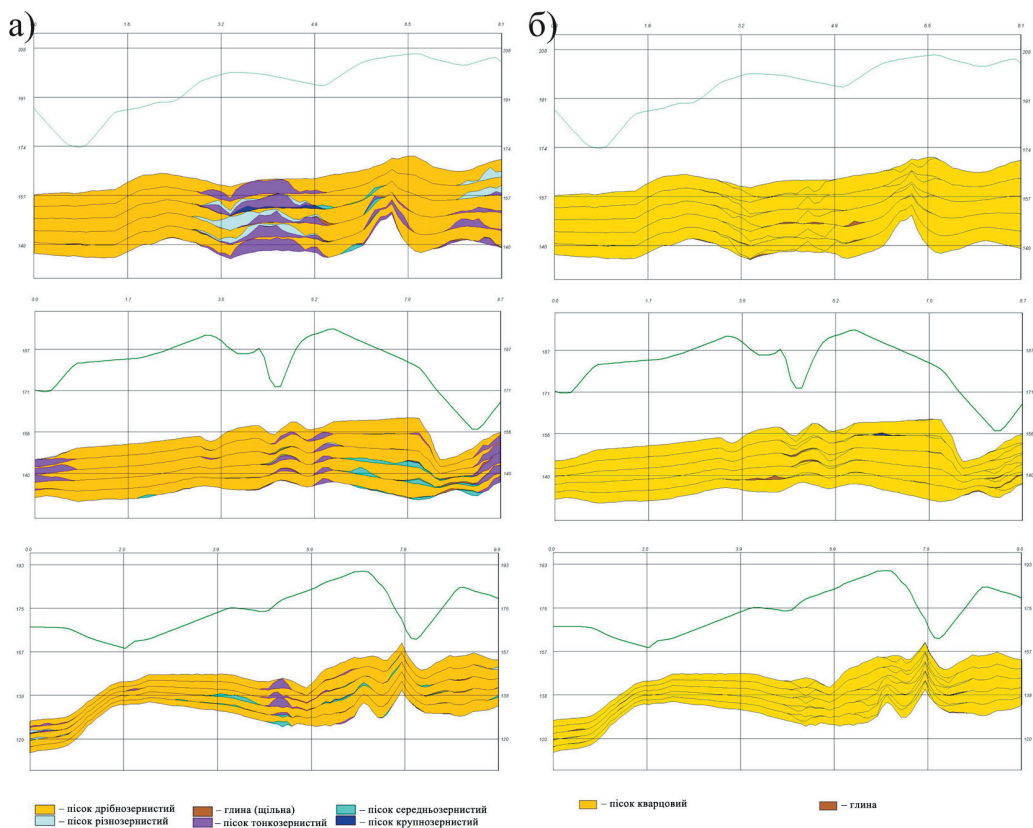


Рис. 1. Похідна ЦСЛМ Краснокутського родовища. Гранулометричні (а) та літофаціальні (б) профілі по товщі середньоновопетрівської підсвіти

За отриманими похідними моделювання чітко простежується, що середньоновопетрівська підвіта майже повністю складена монотонною товщею кварцових дрібно- та тонкозернистих пісків. Подекуди з'являються лінзи різно- й середньозернистих пісків і глин.

Досліджуваній товщі притаманний згладжений слабо похилений рельєф з невеликим нахилом, який характеризує схил басейну. Нахил орієнтований перпендикулярно береговій лінії басейну, яка простягалася з північного заходу на північний схід.

Рудна характеристика (підмодель). Краснокутське родовище розміщене

на правому березі р. Мерла у смузі завширшки 3–4 км та завдовжки 16 км, що витягнута з південного заходу на північний схід. У межах родовища І. С. Романов виділив вісім розсіпів, які локалізуються на чотирьох ділянках: Центральній, Степанівській, Південній та Козіївській [6].

Нижче розглянуто похідні ЦСЛМ, що характеризують розподіл рудного матеріалу в гірському масиві родовища у двох вимірах: площовому й профільному.

Розподіл рудного матеріалу в плані демонструють карти усереднених по розрізу вмістів колективного концентрату й окремих корисних мінералів (рис. 2).

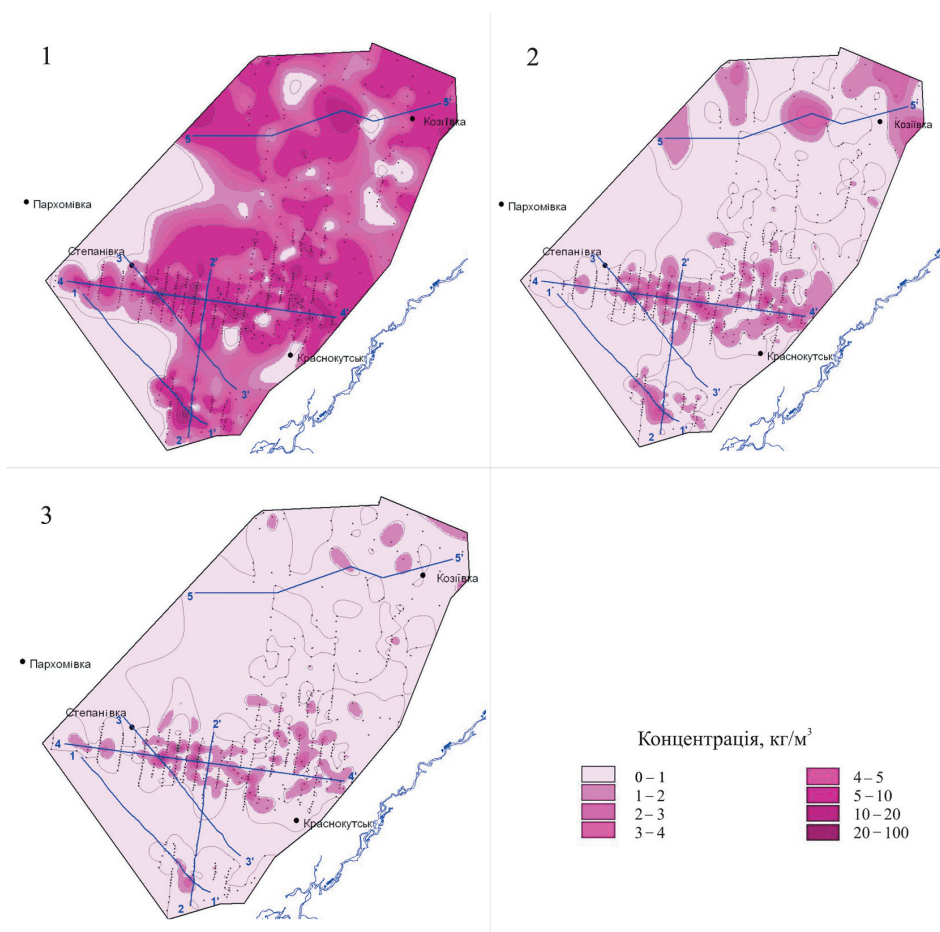


Рис. 2. Похідна ЦСЛМ. Розподіл умістів корисних компонентів по площі Краснокутського родовища:

1 – колективного концентрату; 2 – ільменіту; 3 – циркону

На всіх модельних картах виділено три смуги підвищених концентрацій: середню з максимальними вмістами, що відповідає Центральній і Степанівській ділянкам, північну (Козіївська ділянка) й південну (однойменна ділянка). Ці смуги мають субширотний напрямок, що загалом збігається з простяганням берегової лінії. По виділеній рудній товщі концентрації ільменіту коливаються від 1–8 до 180 кг/м³, уміст циркону в рудній товщі змінюється від 0,5 до 19 кг/м³. Усі модельні відображення по розподілу рудних мінералів легко зіставляються, що підтверджує достовірність отриманих результатів.

Розсипи Краснокутського родовища первісно являли собою більш суцільні рудні поля, але наступні розмиви зумовили їх складну конфігурацію, поділ на окремі дрібні ділянки. Найявність безрудних “вікон” і виклинювання рудних тіл у горизонтальному напрямку є первинно-седиментаційне явище.

Для деталізації об’ємного уявлення щодо розподілу рудного матеріалу в гірському масиві середньоновопетрівської підсвіти наведено відповідні похідні профілі (рис. 3).

У вертикальному розрізі розсипища являють собою багаторазове чергування тонких піщаних прошарків з різним ступенем збагачення рудними мінералами. За ритмічністю чергування шарів і характером шаруватості виділяють серії прошарків, що розділені більш-менш різко вираженими поверхнями вирівнювання. Потужність окремих серій – від декількох сантиметрів до метра. У розрізі розсипів серії, які сильно збагачені рудними мінералами, чергуються із серіями пісків менш збагачених або майже безрудних.

За розрізом спостерігається розміщення найбільш багатих рудних тіл у верхній, частково – середній частинах середньоновопетрівської підсвіти. На кожній з виділених вище ділянок виокремлюють від однієї-двох до декількох збагачених лінз потужністю 2–6 м, що розміщені на різних рівнях верхньої частини продуктивної товщі. Ці лінзи з високим умістом концентрацій іноді добре простежуються в розсіпі на відстані до декількох кілометрів.

Структурна характеристика рудної товщі. Для моделювання по розрізах кожної зі свердловин було виділено рудну

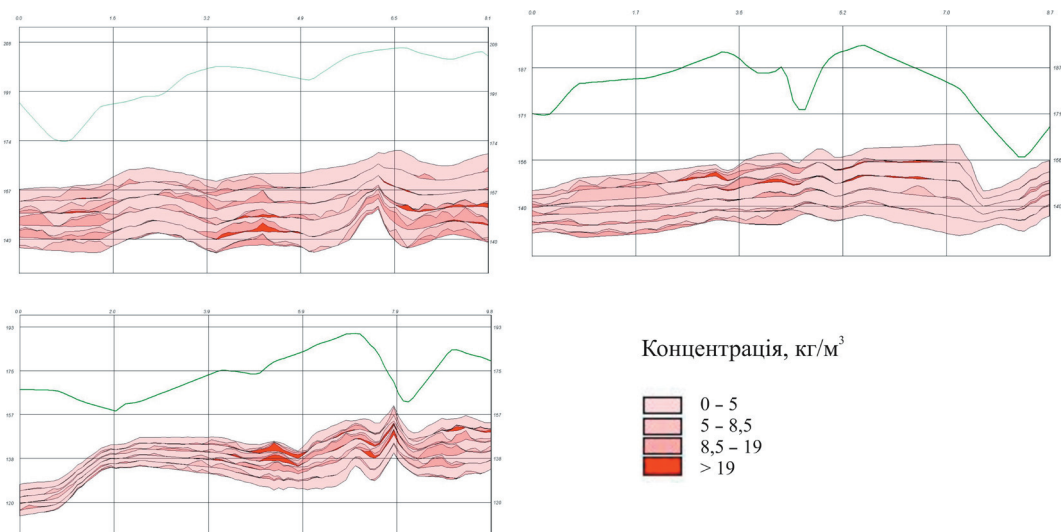


Рис. 3. Похідна ЦСЛМ. Розподіл колективного концентрату по розрізу середньоновопетрівської підсвіти на Краснокутському родовищі

товщу, за граничну межу бралася концентрація в 10 кг/м^3 , яку І. С. Романов прийняв як мінімально промислову. Продемонстровано похідну ЦСЛМ, побудовану за цією умовою (рис. 4).

Потужність рудного покладу не витримана, по свердловинах коливається від 2 до 20,2 м. По намічених ділянках коливання потужності менші (від 6,5 до 7,2 м), середня потужність покладу – 6,4 м. Середнє співвідношення потужностей розкривних порід до рудного покладу – 6,4:1 (коливається від 5,3:1 до 8:1).

Розподіл питомих запасів. Для оцінки промислових параметрів родовища охарактеризовано також площовий розподіл питомих запасів корисних компонентів.

Продемонстровано карту розподілу питомих запасів колективного концентрату (рис. 5). Ця карта ілюструє істотну кореляцію з відображенням середніх концентрацій (рис. 2). Виділено такі зони: протяжна субширотна максимальних значень (відповідає Центральному покладу), обмежена субізометрична максимальних значень (Південний поклад) та дві зони підвищених значень (протяжна субширотна – Козіївський поклад, яка включає дві плями підвищених значень у центральній і східній частинах, та обмежена за площею зона Степанівського покладу). Згідно з картою переважна частина питомих запасів з градаціями понад 20 кг/м^2 належить до Центрального покладу.

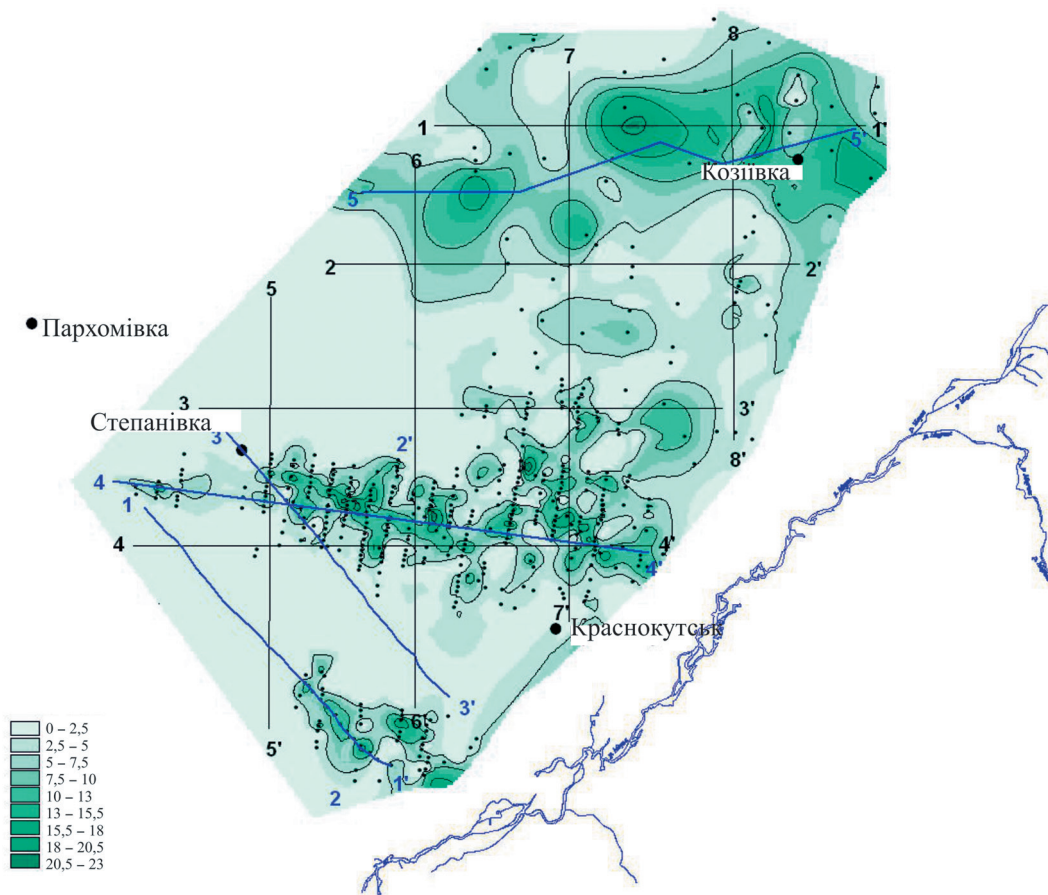


Рис. 4. Похідна ЦСЛМ. Структурна характеристика рудної товщі Краснокутського родовища

Розподіл градацій запасів. Для побудови відповідної модельної карти було взято градації вмісту колективного концентрату, які І. С. Романов встановив для визначення промислових видів руд: промислові рядові (8,5–19 кг/м³), промислові багаті (понад 19 кг/м³) та непромислові (5–8,5 кг/м³), нижчі концентрації в модель не вводилися. Про-

демонстровано карту розподілу запасів за вказаними градаціями для визначення перспективних ділянок (рис. 6). Найперспективніша – Центральна ділянка. Ця карта повністю корелюється з картою питомих запасів і площинного розподілу усередненого вмісту колективного концентрату на потужність покладу.

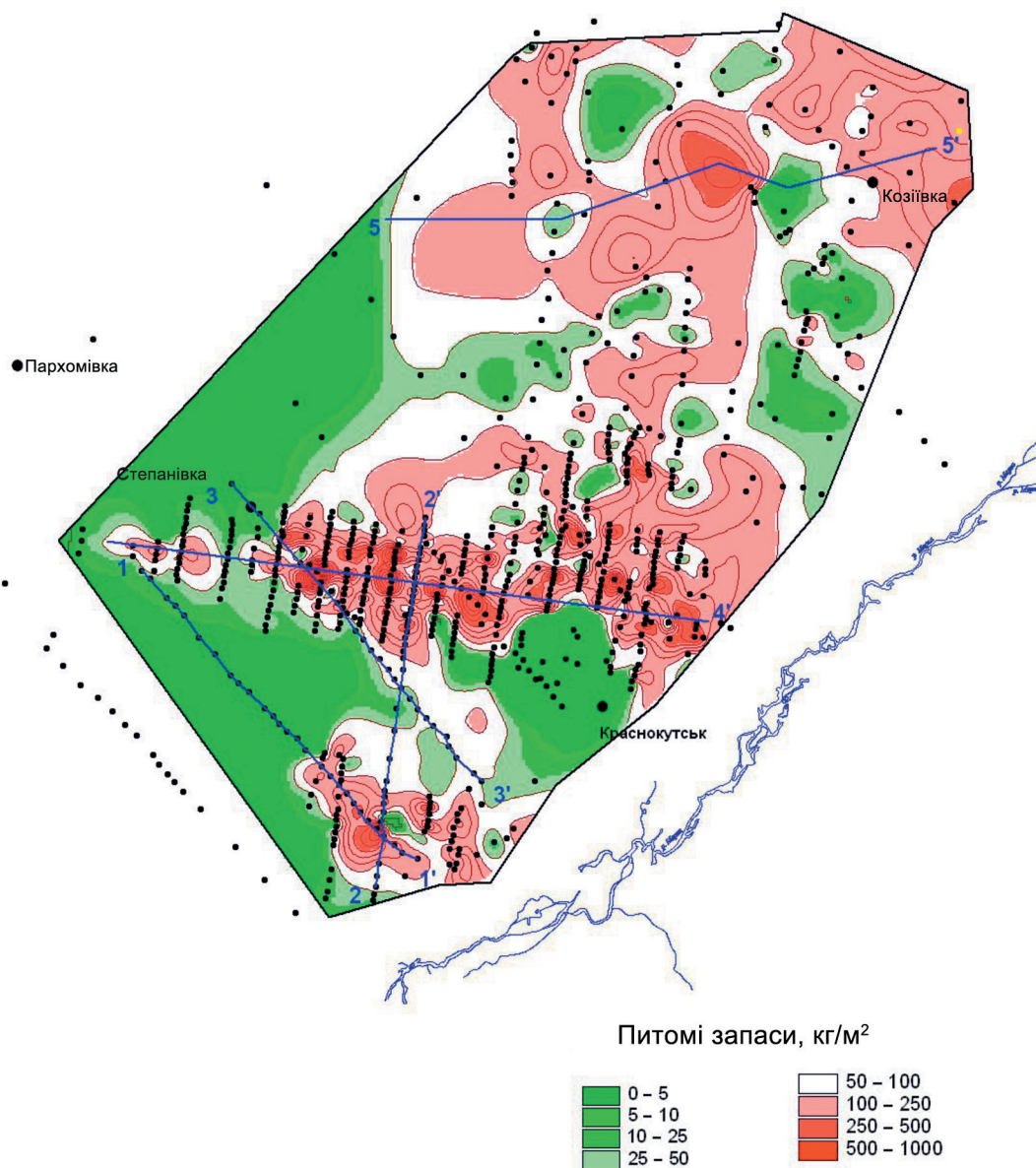


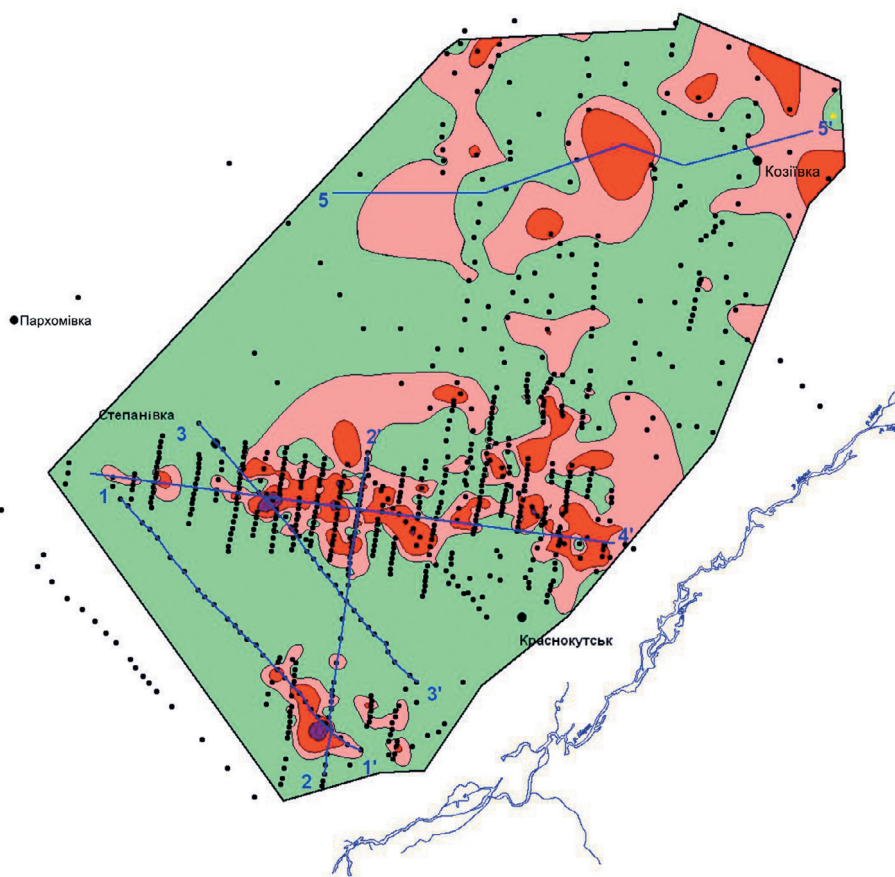
Рис. 5. Похідна ЦСЛМ. Карта питомих запасів колективного концентрату в середньоновопетрівській підсвіті

Палеофаціальні реконструкції. На основі фаціальних досліджень намічено принципову палеогеографічну схему площі розміщення Краснокутського родовища в північно-східній частині середньоновопетрівського седиментаційного басейну. Безпосередньо в контурі родовища виявлено фацію дельти. Дельтові відклади як по латералі, так і по розрізу оточені відкладами прибережного й морського мілководдя. Відповідно до встановлених схем розсипоутворення визначено два джерела надходження розсипоутво-

рювального матеріалу (РОМ): дельтові виноси та вздовж берегові течії. Але згідно з механізмом диференціації РОМ найінтенсивніше зруденіння локалізується у відкладах прибережного мілководдя [5].

Висновки

На прикладі Краснокутського родовища титан-цирконієвих руд продемонстровано результати й можливості розробки ЦСЛМ як сучасної багатопільової високоефективної технології інформаційного забезпечення геологорозвідувальних та



Розподіл запасів по градаціях концентрацій



Рис. 6. Похідна ЦСЛМ. Карта розподілу запасів по градаціях концентрацій у середньоновопетрівській підсвіті

експлуатаційних робіт. Отримані моделі є демонстраційні, наближені, але вже достатні для складання геологічних розділів техніко-економічного обґрунтування на дорозвідку та експлуатацію. Для проектування експлуатаційних робіт необхідна розробка більш великомасштабної робочої моделі із забезпеченням уведення поточних даних у модель як постійно діючу з метою перманентного її уточнення (в порядку авторського супроводу робіт). Крім того, продемонстрований напрям моделювання може бути модифікований для дорозвідки інших опошукваних розсіпних родовищ, а також прогнозування родовищ на перспективних площах.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Василенко С. П.* Структурно-літологічна модель Мотронівсько-Аннівського титан-цирконієвого родовища/С. П. Василенко//Геол. журнал. – 2014. – № 1. – С. 101–108.
2. *Галецький Л. С.* Атлас “Геологія і корисні копалини України”. Масштаб 1:5 000 000/Л. С. Галецький, Н. М. Чернієнко. – Київ: Вид-во ДП “Такі справи”, 2001. – 168 с.
3. *Гребенніков С. Є.* Геолого-математичне моделювання і географічні інформаційні системи в задачі моніторингу седиментаційних басейнів/С. Є. Гребенніков, О. П. Лобасов//Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2001. – Вип. 19. – С. 28–31.
4. *Гребенніков С. Є.* Моделювання будови басейнів в середовищі ArcView/С. Є. Гребенніков, О. П. Лобасов//Мінеральні ресурси України. – 2003. – № 4. – С. 25–31.
5. *Лаверов Н. П.* Цифровое структурно-літологічне геолого-динамічне моделювання месторождений тяжелых минералов/Н. П. Лаверов, П. Ф. Гожик, Д. П. Хрущев и др. – Киев, Москва: Изд-во Интерсервис, 2014. – 236 с.
6. *Романов И. С.* Геология и условия образования циркониево-титановых россыпей Днепровско-Донецкой впадины/И. С. Романов. – Киев: Наукова думка, 1976. – 174 с.
7. *Рухин Л. Б.* Основы литологии. Учение об осадочных породах/Под ред. Е. В. Рухиной. Изд. 3-е, переработ. и доп. – Л.: Наука, 1969. – 703 с.
8. *Страхов Н. М.* Проблемы современно-го и древнего осадочного процесса: В 2 т./Отв. ред. В. Н. Холодов. – М.: Наука, 2008. – Т. 1. – 495 с.
9. *Тимофеев П. П.* Формационный анализ сложных регионов/П. П. Тимофеев. – М.: Наука, 1983. – 185 с.
10. *Хрущев Д. П.* Литология галогенных и красноцветных формаций Предкарпатья/Д. П. Хрущев, Г. С. Компанец. – Киев: Наукова думка, 1988. – 196 с.
11. *Хрущев Д. П.* Структурно-літологічні моделі перспективних осадових формацій/Д. П. Хрущев, А. П. Лобасов, М. В. Гейченко и др./Мінер. ресурси України. – 2010. – № 4. – С. 39–44.
12. *Хрущев Д. П.* Целевые экспертные системы геологической направленности/Д. П. Хрущев, А. П. Лобасов, М. С. Ковальчук и др./Геол. журнал. – 2012. – № 2. – С. 87–99.
13. *Хрущев Д. П.* Принципы разработки цифровых структурно-літологічних моделей осадових формационних подразделений/Д. П. Хрущев, А. П. Лобасов//Геол. журн. – 2006. – № 2–3. – С. 90–120.
14. *Хрущев Д. П.* Цифровые структурно-літологічні моделі як інформаційно-аналітична основа для прийняття рішень по експлуатації і охороні мінеральних ресурсів і геологічної середовища/Д. П. Хрущев, А. П. Лобасов, Е. А. Ремезова и др./V Міжнародна наук.-практ. конференція “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення” (7–11 вересня 2009 р., м. Алушта). Зб. наук. статей. Т. II. – Харків: Райдер, 2009. – С. 60–65.
15. *Хрущев Д. П.* Цифрові структурно-літологічні моделі Злобичького і Мотронівсько-Аннівського розсіпних родовищ титанцирконієвих руд/Д. П. Хрущев, О. П. Лобасов, О. О. Ремезова та ін./Геол. журнал. – 2013. – № 2. – С. 26–36.
16. *Чабанович Л. Б.* Научно-технические основы сооружения и эксплуатации подземных хранилищ в каменной соли/Л. Б. Чабанович, Д. П. Хрущев. – Киев: Варта, 2008. – 304 с.

REFERENCES

1. *Vasylenko S. P.* Structural-lithological model Motronivka-Annivka titanium-zirconium deposit//Geol. zhurn. – 2014. – № 1. – P. 101–108. (In Ukrainian).
2. *Haletskiy L. S., Cherniienko N. M.* Atlas “Geology and mineral resources of Ukraine”. Scale 1:5 000 000. – Kyiv: Vyd-vo DP “Taki spravy”, 2001. – 168 p. (In Ukrainian).
3. *Hrebennikov S. Ye., Lobasov O. P.* Geological modeling and geographic information systems in tasks of monitoring sedimentation basins//Visn. Kyiv. Nats. Univ. Neolohiia. – 2001. – Iss. 19. – P. 28–31. (In Ukrainian).

4. *Hrebennikov S. Ye., O. P. Lobasov.* Modeling structure swimming among ArcView//Mineralni resursy Ukrainy. – 2003. – № 4. – P. 25–31. (In Ukrainian).

5. *Laverov N. P., Gozhik P. F., Hrushhev D. P.* i dr. Digital structural-lithological and geological-dynamic modeling heavy mineral deposits. – Kiev, Moskva, 2014. – 236 p. (In Russian).

6. *Romanov I. S.* Geology and formation conditions of zirconium-titanium placers Dnieper-Donets Basin. – Kiev: Naukova dumka, 1976. – 174 p. (In Russian).

7. *Ruhin L. B.* Fundamentals of lithology. The doctrine of sediments/Ed. E. V. Rukhin. Ed. third, recycled. and add. – Leningrad: Nauka, 1969. – 703 p. (In Russian).

8. *Strahov N. M.* Problems of modern and ancient sedimentary process: In 2 vol./Ed. V. N. Holodov. – Moskva: Nauka, 2008. – Vol. 1. – 495 p. (In Russian).

9. *Timofeev P. P.* Formational analysis of complex regions. – Moskva: Nauka, 1983. – 185 p. (In Russian).

10. *Hrushhev D. P., Kompanec G. S.* Lithology of halogen and red-colored formations Precarpathian. – Kiev: Naukova dumka, 1988. – 196 p. (In Russian).

11. *Hrushhev D. P., Lobasov A. P., Gejchenko M. V.* i dr. The structural-lithological model promising sedimentary formatsiy//Mineralni re-

sursy Ukrainy. – 2010. – № 4. – P. 39–44. (In Russian).

12. *Hrushhev D. P., Lobasov A. P., Kovalchuk M. S.* i dr. Targeted expert systems//Geol. zhurnal. – 2012. – № 2. – P. 87–99. (In Russian).

13. *Hrushhev D. P., Lobasov A. P.* Principles for the development of digital models of structural-lithological sedimentary formational units// Geol. zhurnal. – 2006. – № 2–3. – P. 90–120. (In Russian).

14. *Hrushhev D. P., Lobasov A. P., Remezova E. A.* i dr. Digital structural-lithological model as information and analytical framework for decisions on the operation and the protection of mineral resources and geological environment// V Mizhnarodna nauk.-prakt. konferentsiia “Ekologichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia” (7–11 veresnia 2009 r., m. Alushta) Zb. nauk. statei. – Kharkiv: Raider, 2009. – Vol. II. – P. 60–65. (In Russian).

15. *Khrushchov D. P., Lobasov O. P., Remezova O. O.* ta in. Digital structural-lithological model Zlobytske and Motronivka-Annivka placer deposits of titanium and zirconium ores//Heol. zhurn. – 2013. – № 2. – P. 26–36. (In Ukrainian).

16. *Chabanovich L. B., Hrushhev D. P.* Scientific and technical bases of the construction and operation of underground storage facilities in rock salt. – Kiev: Varta, 2008. – 304 p. (In Russian).

Рукопис отримано 29.04.2015.

Е. А. Кравченко, Д. П. Хрущев (Институт геологических наук НАН Украины) МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Актуальность публикации связана с необходимостью создания современных технологий информационного обеспечения геологической деятельности, направленной на освоение россыпных месторождений титан-циркониевых элементов ввиду их стратегической значимости. В качестве такой технологии предлагается цифровое структурно-литологическое моделирование, адаптированное для условий россыпей тяжелых минералов. Цель работы – демонстрация результатов, возможностей и перспектив моделирования для решения задач, связанных с освоением титан-циркониевых россыпей, на примере Краснокутского месторождения. Изложены методология и методы исследований. Демонстрируются наиболее показательные производные (визуализации) цифровой структурно-литологической модели объекта и результаты их интерпретации. Обозначены возможности и перспективы развития этого направления.

Ключевые слова: титан-циркониевые месторождения, тяжелые минералы, россыпные месторождения, цифровое структурно-литологическое моделирование, информационные технологии, поиски и эксплуатация месторождений.

O. A. Kravchenko, D. P. Khrushchov (*Institute of geological sciences National academy of sciences of Ukraine*)

MODELING OF TITANIUM-ZIRCONIUM PLACERS ON THE EXAMPLE OF KRASNOKUTSK DEPOSIT

The actuality of the publication is connected with the need of elaboration of modern technologic for information supervision of geological R&D aimed at development of titanium-zirconium placers deposit because of their strategic significance. The method of digital structural-lithological modeling modified for conditions of heavy minerals placers is proposed as innovative technology. The target of the publication is the demonstration of results, possibilities and prospects of the modeling for solution of tasks connected with development of titanium-zirconium placers on the example of Krasnokutsk deposit. The methodology and methods of modeling are described. The most significant model derivatives (visualizations) of the object digital structural-lithological model and results of their interpreting are demonstrated. The model derivatives rifled structural and matter characteristics of the deposit in three forms: areas (maps), vertical (profiles) and qualitative-matter (estimation of ore minerals reserves and resources). The elaboration of the model resulted in solution of the following problems: the location of ore bodies and their qualitative characteristics in the volume of the deposit massif; the calculation of reserves of heavy minerals bulk, ilmenite, zircon, rutile etc.; interrelations of one minerals repartition with the placer structural peculiarities (bottom relief, thickness); lithofacies, facies etc. The data obtained represent a base for feasibility report for the deposit detailed exploration and subsequent exploitation as well as for prognosis of promising placers in neighboring territories. The possibilities and prospects of this issue of modeling development are reflected.

Keywords: *titanium-zirconium ores, heavy minerals, placer deposits, digital structural-lithological modeling, information technologies, deposits exploitation, deposits search.*