

ЦИФРОВАЯ СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТАРАСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ РУД

С.Н. Цымбал¹, Д.П. Хрущев², А.П. Лобасов³

¹ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: y_tsymbal@hotmail.com
Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник.*

² *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: khrushchov@hotmail.com
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, старший научный сотрудник.*

³ *Независимый геолог, IT-специалист, Киев, Украина, E-mail: lobasov_al@rambler.ru
Кандидат геологических наук.*

Представляется цифровая структурно-литологическая модель Тарасовского россыпного титано-циркониевого месторождения. Демонстрируются и комментируются производные модели: картографические (структурного и вещественного направления) и расчетные. Производные структурного направления охватывают карты гипсометрии подошвы и кровли средненовпетровской подсуиты (россыпемещающей) и ее мощности. Производные вещественного направления представлены картографическими отображениями (картами, профилями) литофациального и фациального состава, а также рудных характеристик. Расчетные производные касаются подсчета запасов и некоторых взаимозависимостей вещественных (в том числе рудных) и генетических характеристик россыпемещающей толщи. Дана авторская трактовка геологического строения месторождения и механизма россыпеобразования.

Ключевые слова: титано-циркониевые россыпи, цифровое моделирование, механизм россыпеобразования, информационное обеспечение геологических работ.

DIGITAL STRUCTURAL-LITHOLOGICAL MODEL OF TARASIVSKE TITANIUM-ZIRCONIUM PLACER DEPOSIT

S.M. Tsymbal¹, D.P. Khrushchov², O.P. Lobasov³

¹ *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named M.P. Semenenko of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine E-mail: y_tsymbal@hotmail.com
Candidate of geological and mineralogical sciences, senior research worker.*

² *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: khrushchov@hotmail.com
Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, senior research worker.*

³ *Freelance geologist, IT-specialist, Kiev, Ukraine, E-mail: lobasov_al@rambler.ru
Candidate of geological sciences.*

Digital structural-lithological model of Tarasovka placer deposit of titanium-zirconium ores is presented. The following derivatives of the model are demonstrated and commented: cartographic (structural and matter directions) and calculative. Derivatives of structural direction comprise maps for gipsometry of Middle Novopetroska subsuite (placersbearing) and it's thickness. Derivatives of matter direction are represented with cartographic visualizations (maps, profiles) concerning lithofacial and facial composition and ore characteristics. Calculative derivatives concern resources estimation and some interdependancies coefficients and ratios for matter (including ore) and genetic characteristics of the placer Authors concept of the deposit construction and mechanism of placer forming is stated.

Key words: titanium-zirconium placers, geological modeling, digital modeling, mechanism of placers forming, information supervising of geological R&D.

ЦИФРОВА СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ТАРАСІВСЬКОГО РОДОВИЩА ТИТАНО-ЦИРКОНІЄВИХ РУД

С.М. Цимбал¹, Д.П. Хрущов², О.П. Лобасов³

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: y_tsymbal@hotmail.com

Кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник.

² Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: khrushchov@hotmail.com

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, старший науковий співробітник.

³ Незалежний геолог та IT-спеціаліст, Київ, Україна, E-mail: lobasov_al@rambler.ru

Кандидат геологічних наук.

Представляється цифрова структурно-літологічна модель Тарасівського розсипного титано-цирконієвого родовища. Демонструються і коментуються похідні моделі: картографічні (структурного та речовинного напрямів) та розрахункові. Похідні структурного напрямку охоплюють карти гіпсометрії підшоши та покрівлі середньоновопетрівської підсвіти (розсиповміщуючої) та її потужності. Похідні речовинного напрямку представлені картографічним відображенням (картами, профілями) літофаціального та фаціального складу, а також рудних характеристик. Розрахункові похідні стосуються підрахунку запасів та деяких взаємозалежностей речовинних (у тому числі рудних) та генетичних характеристик розсиповміщуючої товщі. Дано авторське трактування геологічної будови родовища та механізму розсипоутворення.

Ключові слова: титано-цирконієві розсипи, цифрове моделювання, механізм розсипоутворення, інформаційне забезпечення геологічних робіт.

Введение

Актуальность работы определяется потребностями расширения сырьевой базы титана и циркония для обеспечения развития высокотехнологических отраслей авиапромышленности, ракетостроения, ядерной энергетики, реконструктивной медицины и др., а также необходимостью внедрения современных методов информационного обеспечения работ, связанных с разведкой и освоением россыпных месторождений этого типа.

Выбор Тарасовского месторождения в качестве объекта моделирования сделан с учетом указанных аспектов. Это месторождение рассматривается как одно из наиболее подготовленных для промышленного освоения в ближайшие годы. Оно достаточно хорошо изучено и обеспечено значительным объемом картографических материалов и аналитических данных, полученных при проведении поисковых и разведочных работ. Последнее позволяет разработать цифровую структурно-литологическую модель (ЦСЛМ) этого объекта.

Цель работы – представить созданную авторами ЦСЛМ Тарасовского россыпного месторождения, учитывающую веществен-

ные, структурные и другие его характеристики, а также показать возможности практического использования этой модели.

Работа выполнена в рамках совместного проекта НАН Украины и Российского фонда фундаментальных исследований 0114U006040 «Разработка информационно-прогнозных ретроспективно-статических моделей россыпей тяжелых минералов Восточно-Европейской платформы (территории Российской Федерации и Украины)», под научным руководством академика НАН Украины П.Ф. Гожики.

1. Общие сведения

о Тарасовском месторождении

Месторождение находится в северной части Приднепровской россыпной зоны, а в структурном плане – в восточной части южной половины Рось-Тикичского мегаблока Украинского щита (УЩ). В административном отношении оно расположено в Киевской области, в 25 км к югу от г. Белая Церковь.

Месторождение открыто Правобережной геологической экспедицией (В.И. Шунько и др.) в 1960 г. В 1960–1963 гг. на его площади проведены поисково-разведочные работы

(К.О. Пузик, И.И. Бондарь), которые завершили оперативным подсчетом запасов. Последние утверждены НТС бывшего треста «Киевгеология» по результатам «незавершенной предварительной разведки». В 2007–2009 гг. выполнена разведка юго-западной части месторождения в пределах контура проектного карьера (М.К. Выходцев) и по состоянию на 2009 г. в ГКЗ Украины утверждены промышленные запасы.

В изучении Тарасовского месторождения принимали участие Э.В. Мельничук, В.Н. Павлюк, С.Н. Цымбал, Ю.А. Полканов, С.А. Румянцева и др.

Месторождение приурочено к песчаным отложениям полтавской серии и локализовано в мелко- и тонкозернистых песках морского происхождения (соответственно литоральной и сублиторальной фаций) средненовопетровской подсвиты. Эта пластовая залежь субширотного простирания полого наклонена с юго-запада на северо-восток. Она имеет сложное внутреннее строение и представляет собой чередование слоев песков разной насыщенности тяжелыми минералами, которые находятся в рассеянном состоянии или сконцентрированы в виде природных шлихов. В работах [Цымбал, Полканов, 1975; Цымбал, 1976] указывается на наличие в юго-западной части месторождения линз крупнозернистых песков дельтовой фации.

Обобщенная рудная характеристика месторождения цитируется по Е.А. Кулишу, Д.С. Гурскому и Ю.И. Третьякову [Металічні..., 2005, с. 428]: «Мощность продуктивной (рудной) толщи 0,5–30 м (средняя 7 м), ее вскрыша составляет 1,5–47,5 м (в среднем 27 м). Среднее содержание (кг/м³) циркона – 10,4; рутила – 12; ильменита – 23. Концентрации рудных минералов в продуктивных (рудных) пластах широко варьируют и распределены неравномерно. Самое высокое содержание рудных минералов отмечается в юго-западной части россыпи, где на отдельных участках оно достигает 100–200 кг/м³. Измененный ильменит, рутил и циркон составляют 75% тяжелой фракции, в которой также содержится монацит, ксенотим, касситерит, бадделейт и др.». По предварительной оценке при годовой добыче песков 3 млн м³ срок эксплуатации юго-западной части месторождения составит более 20 лет.

2. Методология и методы

В основу работы положены два методологических начала: 1) традиционные литологические, литостратиграфические, палеофациальные и палеогеографические исследования; 2) инновационная разработка – цифровое структурно-литологическое моделирование. Напомним, что цифровая (компьютерная) модель представляет собой виртуальное объемное многостороннее отображение геологического объекта, содержащее структурные и вещественные, качественные и количественные его характеристики. Методология и методы ЦСЛМ изложены в ряде предшествующих публикаций [Хрущев, Лобасов, 2006; Хрущев и др., 2010; Лаверов и др., 2014 и др.]. Они использованы авторами с модифицированием применительно к особенностям изученного месторождения.

3. Цифровая структурно-литологическая модель

3.1. Фактографическая основа модели

Фактографической основой базы данных послужили в основном разрезы скважин, пробуренных на этапе поисков и предварительной разведки месторождения (1960–1963 гг.) и разведки его юго-западной части (2007–2009 гг.), общее число разрезов – 560. Границы литостратиграфических элементов уточнялись с использованием картографических материалов геологоразведочных работ (геологические разрезы, литологические колонки, гранулометрические и минералогические анализы) и построенных авторами корреляционных схем и профилей. Для компьютерной обработки при построении ЦСЛМ были подготовлены матрицы в табличной форме, содержащие абсолютные отметки поверхностей раздела структурно-вещественных элементов разных рангов по всем имеющимся скважинам.

Отложения средненовопетровской подсвиты подразделены на такие литотипы: пески тонкозернистые слабослюдистые; пески тонкозернистые с низким содержанием рудных минералов; пески тонкозернистые с умеренным содержанием рудных минералов; пески мелкозернистые с низким содержанием рудных минералов; пески мелкозернистые с умеренным содержанием рудных минералов, пески мелкозернистые

с высоким содержанием рудных минералов, пески мелкозернистые рудоносные с линзами крупнозернистых косослоистых; пески мелкозернистые слабокаолинистые (всего 8 типов). Среди них выделены разновидности трех типов фаций: литорали, сублиторали и дельты (локально).

Данные о содержании рудных минералов вводились в матричные таблицы в трех вариантах: числовые характеристики (0–5; 5–10; 10–20 кг/м³ и т.д.); технологические типы руд (0–5; 5–8,5; 8,5–19; 19–30 и более кг/м³) и автоматически отобранные по ступеням количественных скачков. Каждый из этих вариантов имеет свое информационное содержание.

3.2. Описание ЦСЛМ

В процессе построения модели были получены производные трех направлений: двух картографических – структурного и вещественного, и одного – расчетного.

Производными структурного направления являются картографические отображения рельефа поверхностей подошвы и кровли отложений средненовопетровской подсвиты и их мощности. Основная форма площадного отображения – соответствующие карты; для генетической интерпретации форм рельефа использованы, кроме того, литофациальные, фациальные и рудные профили вещественного направления.

Карта гипсометрии подошвы средненовопетровской подсвиты показывает умеренную расчлененность рельефа в диапазоне от 120 до 192 м над уровнем моря (модельные показатели). Для большей части территории характерны отметки ложа средненовопетровской подсвиты 150–160 м. В юго-западной части месторождения имеются небольшие по площади изометричные поднятия (до 170 м альтитуды) и два сравнительно крупных понижения с альтитудами дна менее 140 м.

В северо-западной и юго-восточной частях месторождения наблюдается несколько изометрических поднятий с альтитудой соответственно до 170 и до 190 м.

В дополнение отдельно приведена карта гипсометрии подошвы отложений средненовопетровской подсвиты для участка разведки (в контурах проектного карьера). На ней на фоне умеренно расчлененного релье-

ефа контрастно выделяются те же два понижения – замкнутое (изометричное) в северной части и открытое – в западной.

Карта гипсометрии кровли отложений средненовопетровской подсвиты. Рельеф кровли имеет довольно сложную конфигурацию. Поднятия (180–200 м альтитуды) значительных размеров наблюдаются в западной и крайней юго-восточной частях месторождения, а отдельные мелкие изометричные поднятия – в его северной и северо-восточной частях. Понижения в рельефе существенно отличаются между собой по происхождению. В целом существует корреляция рельефа кровли с рельефом подошвы.

Карта мощности отложений средненовопетровской подсвиты отображает субдиагональную (северо-запад – юго-восток) платообразную зону повышенной (более 20 м) мощности и ряд окаймляющих участков пониженной мощности (рис. 1). Корреляция мощностей с рельефом как подошвы, так и кровли в целом незначительная. Это обусловлено особенностями взаимодействия двух противоположных процессов – средненовопетровского осадконакопления и постсредненовопетровской эрозии.

Характер взаимодействия названных процессов устанавливается на основе анализа карт рельефа подошвы и кровли, а

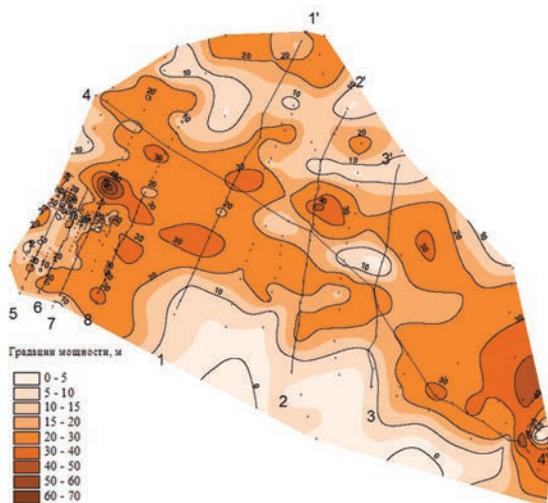


Рис. 1. Карта мощности средненовопетровской подсвиты

Fig. 1. The map of Middle-Novopetrovka subsuite thickness

также имеющих геологических разрезов по профилям, отображающим границы рельефа и особенности литофациального или фациального состава, в том числе срезы каких-либо частей разреза, т.е. глубину постсредненовопетровской эрозии. На основании такого анализа диагностированы конседиментационные и эрозионные формы рельефа.

Производными вещественного направления являются картографические отображения литофациального и фациального состава песчаных отложений средненовопетровской подсвиты, а также распределения в этих отложениях рудных минералов. Ниже приводится интерпретация наиболее информативных визуализаций.

Литофации. Литофациальный состав отложений средненовопетровской подсвиты характеризуют 16 базовых модельных профилей с дополнительными модификациями.

В целом толща отложений средненовопетровской подсвиты полтавской серии представляет собой сложное переслаивание песков кварцевого состава не менее восьми литотипов, слагающих соответствующие литофации.

Ведущими литофациями являются тонко- и мелкозернистые пески, безрудные и рудные или существенно обогащенные рудными минералами. Рудные и существенно обогащенные пески локально составляют до 50% разреза, остальная часть приходится на безрудные и слабо обогащенные пески. В разрезе средненовопетровской подсвиты локально присутствуют также литофации «аномального» характера, составляющие меньше 1%, но интересные в генетическом отношении, а именно: пески мелкозернистые каолинистые и пески крупнозернистые (мелкозернистые с линзами крупнозернистых) с косой слоистостью.

Фации. На основании авторской интерпретации описаний керна и с учетом фациального анализа вскрытых в обнажениях песчаных отложений средненовопетровской подсвиты на площади месторождения сделана генетическая диагностика литотипов. Это позволило осуществить генетическую интерпретацию литофациальных профилей и построить соответствующие фациальные профили.

Анализ модельных профилей показывает, что породный массив месторождения отображает сложное сочетание прибрежно-морской и мелководно-морской обстановок с некоторым преобладанием первой. В южной части месторождения достаточно уверенно картируется устойчивая пляжевая зона.

По разрезу отмечается увеличение доли прибрежно-морских фаций от нижних горизонтов к верхним.

Демонстрируется один из субмеридиональных фациальных профилей по участку детальной разведки (рис. 2).

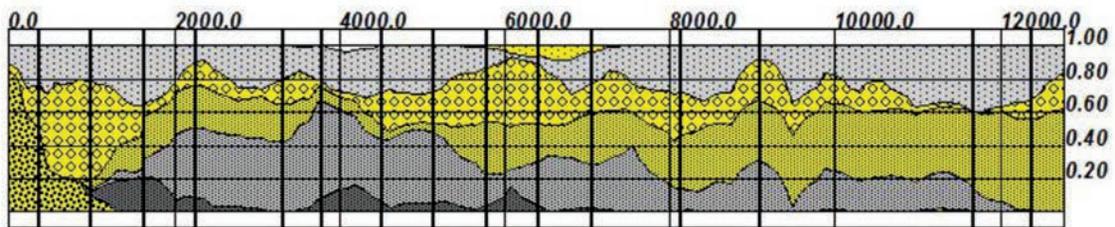
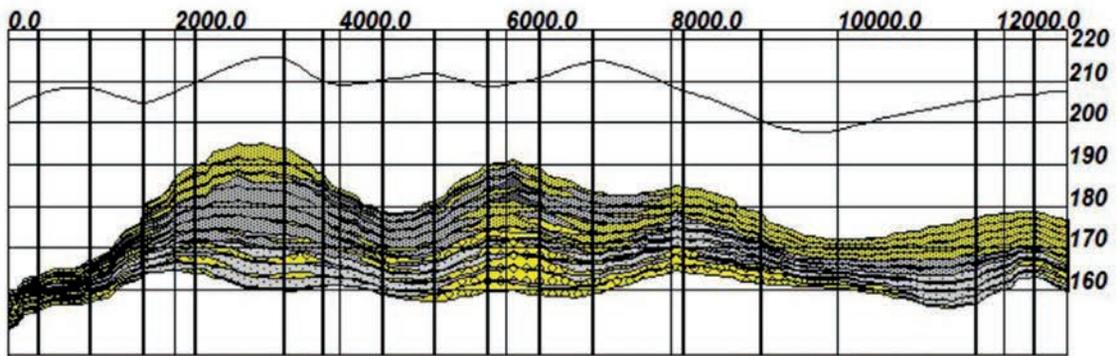
Такое распределение фаций по латерали и вертикальному разрезу изученного месторождения соответствует общей схеме перехода секвенс-режима морского бассейна от трансгрессивного к регрессивному этапу и является адекватной основой для реконструкции осадконакопления и россыпеобразования в пределах месторождения (см. далее).

К фациальным типам, занимающим небольшой объем породного массива, относятся фация дельты и микрофация морского мелководья, представленная породами с примесью материала кор выветривания. Первая развита в западной части Тарасовского месторождения (окрестности с. Фастовка), вторая – в северо-западной и юго-восточной его частях, где имеются поднятия пород кристаллического фундамента и их кор выветривания.

Оруденение. Характеристика рудоносности отложений средненовопетровской подсвиты иллюстрируется двумя группами производных модели – картографическими и расчетными. Комментируются следующие наиболее показательные производные.

Карта мощности рудной толщи. На 35% площади месторождения мощность рудных тел составляет менее 5 м. Максимальная мощность (15–25 м и более) рудной толщи установлена в юго-западной части месторождения, на участке детальной разведки и протягивается в виде отдельных пятен вдоль и южнее продольного профиля (ЗСЗ – ВЮВ). Несколько небольших по площади таких же пятен имеются и в северной части месторождения. Общая площадь рудных залежей мощностью более 10 м составляет до 60%.

А (А)



Масштаб (верт.) = Масштаб (гор.) / 2000



Б (В)

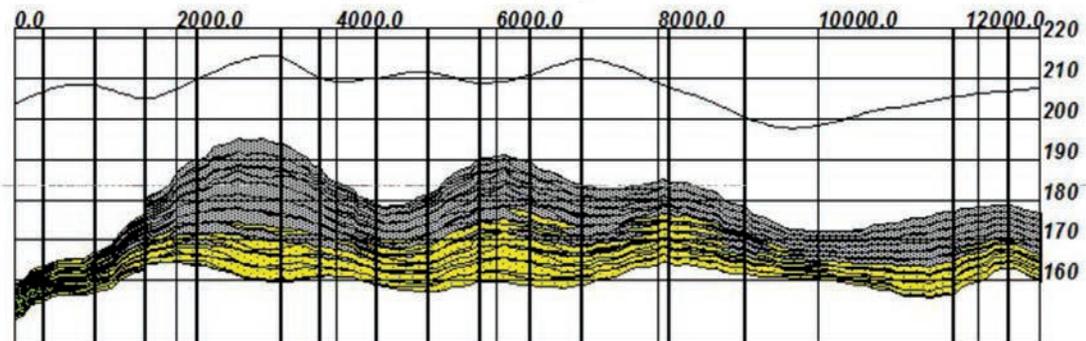


Рис. 2. Литофациальные и фациальные профили по линии 1 - 1'. **А** – литофациальный профиль сред-
 новопетровской подсвиты (вверху) и долевое распределение литофаций в разрезе профиля
 (внизу): 1 – песок тонкозернистый; 2 – песок тонкозернистый с тяжелыми минералами; 3 – песок
 тонкозернистый, слабослюдястый; 4 – песок мелкозернистый; 5 – песок мелкозернистый, обо-
 гащенный тяжелыми минералами; 6 – песок мелкозернистый, значительно обогащенный тяжелыми
 минералами; 7 – песок мелкозернистый, с линзами крупнозернистого косослоистого песка. **Б** – фа-
 циальный профиль: 1 – морское мелководье; 2 – прибрежное мелководье; 3 – дельта

Fig. 2. Lithofacial and facial profiles, section 1 - 1'. **A** – lithofacial profile of Middle-Novopetrovka
 subsuite (above) and repartition of lithofacies in profile section (below): 1 – silt; 2 – silt with heavy
 minerals; 3 – silt micaceous; 4 – sand fine-grained; 5 – sand fine-grained enriched with heavy
 minerals; 6 – sand fine-grained intensively enriched with heavy minerals; 7 – sand fine-grained
 with lynes coarse-grained obliquely laminated sand. **B** – facial profile: 1 – sublittoral; 2 – littoral; 3 – delta

Карты распределения рудных минералов. Получены карты распределения коллективного концентрата и отдельных рудных минералов на площади месторождения. Отображаются содержания, усредненные на мощность отложений средненовопетровской подсвиты. Визуализированы модельные карты по двум полигонам: по площади поисковых работ и участку предварительной разведки юго-западной части месторождения.

На площади месторождения (без участка предварительной разведки) усредненные содержания распределяются следующим образом. Оруденение условно обозначается по содержаниям коллективного концентрата более 5 кг/м³ в десятичных градациях. Подавляющее количество руд с содержанием 20–40 кг/м³ сосредоточено в южной части месторождения. Площади развития таких руд имеют в плане изометричную, овальную и неправильную формы. В южной половине месторождения они составляют около 40%, в северной – менее 10%.

Для участка детальной разведки полученные картографические производные показывают существенно большую насыщенность рудными минералами песков рудной толщи.

Карта распределения усредненных концентраций тяжелых минералов имеет следующую структуру. Почти на всей площади полигона содержание коллективного концентрата превышает 10 кг/м³ (рис. 3). В средней части полигона его содержание представляется двумя полями 30–50 кг/м³ и 50–100 кг/м³, а в северной и юго-западной частях имеются «безрудные» окна изометрической или неправильной формы.

Карты распределения концентраций ильменита, рутила и циркона на площади разведанного участка в основном соответствуют таковым распределения коллективного концентрата.

Распределение рудных минералов по вертикальным разрезам рудной толщи прослежено по четырем профилям. Установлено, что рудные тела в виде линзовидных пластов и линз переслаиваются с безрудными песками. В плане наиболее насыщенные разрезы профилей соответствуют полям максимальных и повышенных концентраций вышеописанной карты. Сопоставление профильных отображений с плановыми дает объемное представление о рудных телах.

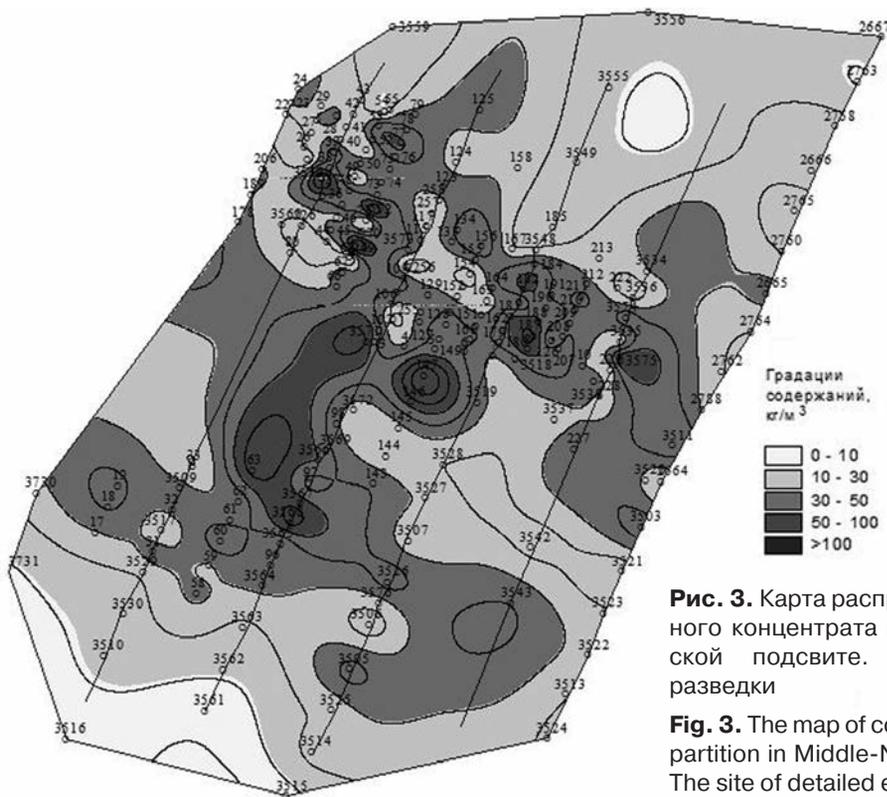


Рис. 3. Карта распределения коллективного концентрата в средненовопетровской подсвите. Участок детальной разведки

Fig. 3. The map of collective concentrate re-partition in Middle-Novopetrovka subsuite. The site of detailed exploration

По этому участку также получены дублирующие рудные профили с выделением градации более 30 кг/м^3 . По такой визуализации представляется сложная система переслаивания, включающая по грациям 20 кг/м^3 – 4-5 рудных пластов, по грациям более 30 кг/м^3 – 9-10 пластов.

Рассмотрены основные взаимосвязи распределения оруденения. Связь оруденения с какими-либо структурными характеристиками рудной толщи (и средненовопетровской подсветы) – рельефом кровли, подошвы, мощности – не проявляется.

Связи оруденения с литофациями характеризуются модельными расчетными соотношениями, исходя из которых констатируется, что подавляющая часть оруденения сосредоточена в мелкозернистых песках, существенная часть приходится на тонкозернистые пески.

В соответствии с генетической интерпретацией литофаций большая часть оруденения приурочена к песчаным отложениям прибрежно-морской фации, существенная часть – к мелководно-морским. Образования дельтовых и фаций прибрежного мелководья, приближенных к эродированным

выступам доновопетровских отложений, практически безрудны.

Карты распределения удельных запасов. Производные этого направления показывают распределение по месторождению запасов рудных минералов в весовых количествах на единицу площади – в кг/м^2 . Такие карты получены по распределению удельных запасов коллективного концентрата, ильменита, рутила, циркона и некоторых других минералов.

Карта распределения удельных запасов коллективного концентрата по площади месторождения в целом близка по конфигурации полей к таковой распределения его концентратий. Модельные полигоны детальной разведки и всего месторождения рассматриваются отдельно, как объекты разной практической значимости.

В контурах полигона детальной разведки сосредоточены основные удельные запасы коллективного концентрата (рис. 4). Почти на всей площади полигона они составляют более 200 кг/м^2 и на отдельных участках средней части его достигают $1000\text{--}2000 \text{ кг/м}^2$ (около 7% площади). Таким образом, основной фон полигона составляют градации $200\text{--}1000 \text{ кг/м}^2$.

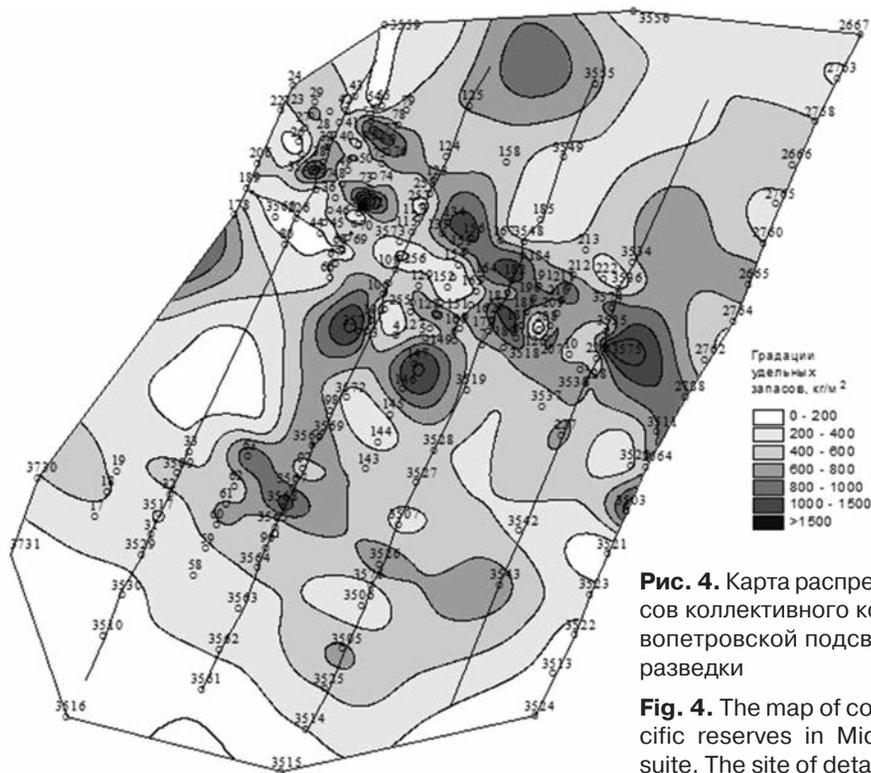


Рис. 4. Карта распределения удельных запасов коллективного концентрата в средненовопетровской подсвете. Участок детальной разведки

Fig. 4. The map of collective concentrate specific reserves in Middle-Novopetrovka sub-suite. The site of detailed exploration

В плане площади с такими удельными запасами коллективного концентрата образуют почти сплошную зону, вытянутую с северо-запада на юго-восток через все месторождение и уменьшающуюся по ширине (выклинивающуюся) в этом направлении. Она фиксирует устойчивое положение пляжевой зоны мелководного моря и направление вдольберегового перемещения рудоносного песчаного материала от устья палеореки, впадающей в море западнее с. Фастовка (западный фланг месторождения).

На остальной части всего месторождения удельные запасы коллективного концентрата варьируют в пределах 300–750 кг/м² (около 50%) и 100–300 кг/м². Имеются также отдельные зоны с содержанием менее 100 кг/м².

Подсчет запасов. На базе ЦСЛМ осуществлен подсчет запасов (ресурсов) по всему месторождению и по участку детальной разведки (табл. 1, 2).

Результаты автоматического подсчета запасов по участку проектной площади карьера более чем в два раза превышают приведенные в Государственном кадастре данные. Это объясняется тем, что площадь модельного полигона расширена по сравнению с площадью референтного подсчета запасов за счет прогнозной функции модели, а также эффектом уточнения объема рудных тел (в сторону увеличения).

Таблица 1. Распределение запасов по градациям концентраций на Тарасовском месторождении (в целом)

Table 1. Distribution of reserves by concentration grades (Tarasovka deposit as a whole)

Градация концентраций, кг/м ³	Запасы, тыс. т	Суммарная площадь участков, км ²
<10	7316	80
10 – 20	38366	142
20 – 30	16260	38
30 – 40	5127	11
40 – 50	1986	2
>50	1050	1

Таблица 2. Распределение запасов по градациям концентраций на Тарасовском месторождении (участок детальной разведки)

Table 2. Distribution of reserved by concentration grades (Tarasovka deposit the site of detailed exploration)

Градация концентраций, кг/м ³	Запасы, тыс. т	Суммарная площадь участков, км ²
10 – 20	213	0,5
20 – 30	4312	8
30 – 40	4347	6
40 – 50	1986	2
>50	1043	1

4. Общая трактовка геологического строения месторождения, механизм россыпеобразования, критерии прогнозирования россыпей

С методологической точки зрения выполненная работа включает решение прямой и обратной задач. Прямая задача состоит в разработке ЦСЛМ с использованием априорных данных по литостратиграфии, палеогеографии, этапности осадконакопления в средненовопетровское время, палеофациальной обстановке, седиментогенезу и металлогении в региональном, зональном и локальном масштабах. Обратная задача включает разработку механизма россыпеобразования на основе конкретных данных ЦСЛМ, отображающих особенности строения и состава россыпи, что позволило осуществить сопоставление с региональными и зональными предметными схемами. Это, в свою очередь, послужило базой для создания общей схемы россыпеобразования в аспекте теоретической схемы функционирования формационно-вещественной системы россыпеобразования [Лаверов и др., 2014]. Ниже рассмотрены итоги выполнения этих базовых задач.

Общая трактовка геологического строения Тарасовского месторождения дается на основе анализа производных ЦСЛМ и авторской интерпретации имеющейся геологической информации.

Тарасовское месторождение представляет собой погребенную россыпь титановых, циркониевых и других тяжелых минералов, локализованную в песчаных отложениях средней подсвиты новопетровской свиты полтавской серии нижнего миоцена. Средненопетровская подсвита перекрыта отложениями верхненопетровской подсвиты (легко идентифицируемой), в ее основании местами залегают углисто-песчаные отложения предположительно нижненопетровской подсвиты.

С точки зрения внутреннего строения месторождение представляет собой единую рудоносную толщу сложного строения, образованную чередованием рудных пластов и линз с различной концентрацией рудных минералов, разделенных прослоями безрудных и слабо оруденелых песков.

В плановой структуре месторождения по степени рудоносности выделяются: основное рудное поле, которое включает большую часть запасов на значительной площади; и юго-западная часть – ограниченная по площади, но с наиболее высокими концентрациями и удельными запасами рудных минералов.

Рудоносная средненопетровская подсвита представлена толщей существенно кварцевых песков, среди которых по структурно-текстурным особенностям и степени оруденения выделены семь литотипов. Они образовались в трех фациальных обстановках: прибрежно-морской, мелководно-морской и дельтовой. Рудоносные залежи связаны с фациями прибрежного мелководья и морского мелководья. Они имеют пластоподобную и линзовидную формы, пологое падение с юго-запада на северо-восток и выклиниваются в том же направлении согласно с углублением дна седиментационного бассейна.

Отмеченные выше особенности строения месторождения и распределения в его пределах рудных и сопутствующих тяжелых минералов хорошо согласуются с полученными производными ЦСЛМ и региональной схемой россыпеобразования, а также с теоретической схемой образования прибрежно-морских россыпей.

Механизм россыпеобразования. В настоящее время мы можем представить механизм россыпеобразования, обеспе-

чивший формирование Тарасовского месторождения, в полном объеме понятия «формационно-вещественная система россыпеобразования». Напомним, что эта система включает три материальных элемента: россыпеобразующие рудные формации (по Н.А. Шило), промежуточные коллекторы и россыпи (последние – как реально существующие в данный момент объекты). Функционирование такой системы определяется тремя типами процессов, которые связывают формационно-вещественные элементы, а именно: мобилизация россыпеобразующего материала, его транспортировка и осаждение в бассейне седиментации (собственно россыпеобразование).

Ниже приведена схема конкретной формационно-вещественной системы, конечный продукт которой – Тарасовское россыпное месторождение. Эта система в структурном отношении занимает северную часть Подольского и южную часть Рось-Тикичского мегаблоков УЩ, восточная полоса которой в миоцене была занята заливом Субпаратетиса. Основные формационные элементы ее: россыпеобразующие рудные формации («коренные» источники сноса) – гранитоиды бердичевского, побужского и кировоградско-житомирского комплексов Бердичевского и Винницкого блоков УЩ и коры выветривания этих гранитоидов [Цимбал, 2014]; промежуточные коллекторы – в основном палеогеновые осадочные породы. Главной артерией транспортировки россыпеобразующего материала служила Любар-Филиополь-Брусилов-Оратов-Тетиев-Володарская палеодолина; возможно, к ней периодически подсоединялась система полифациального континентального седиментационного бассейна, в общих чертах соответствующего контурам этой палеодолины (рис. 5). Соответственно, Тарасовская россыпь образовалась по схеме дальнего переноса.

Формирование россыпи происходило в прибрежной зоне морского бассейна Субпаратетиса. Площадь россыпеобразования была ограничена контурами открытого залива этого бассейна. Схема россыпеобразования представляется такой. Масса россыпеобразующего материала из дельтового выноса в районе с. Фастовка (запад-

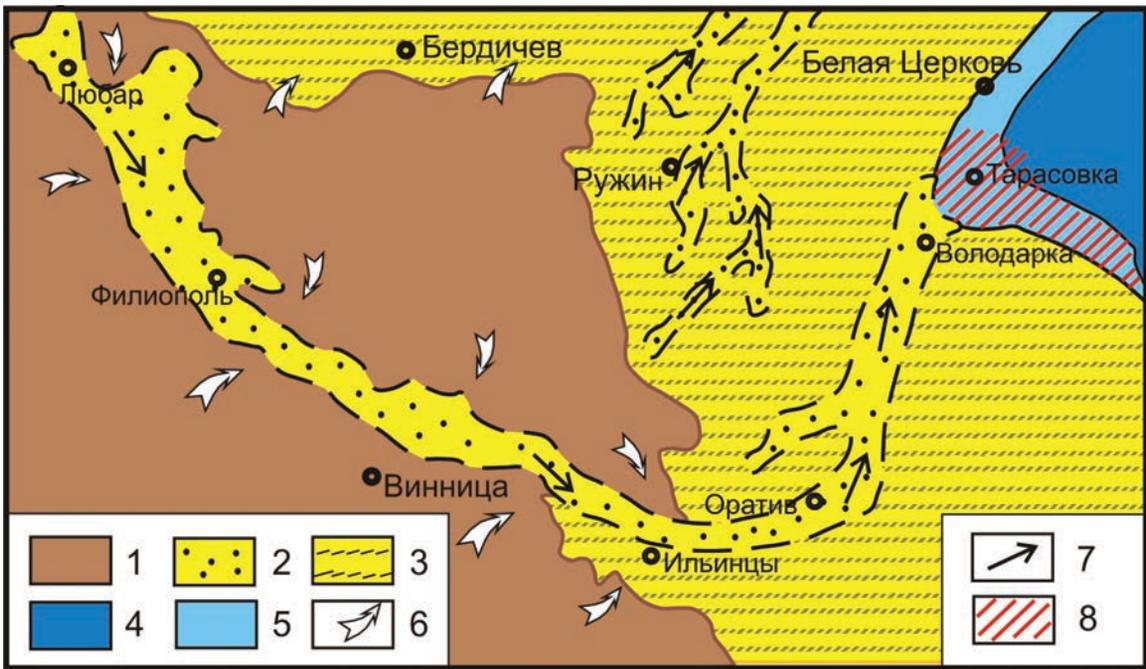


Рис. 5. Палеогеографическая схема этапа формирования средненовопетровской подсвиты полтавской серии (ранний – средний миоцен) юго-западной части УЩ (по С.Н. Цымбал, 1975 и Ю.С. Цымбал, 2014)
 1 – повышенная слабоэродированная денудационная равнина, сложенная с поверхности корой выветривания докембрийских кристаллических пород, – основная область сноса терригенного материала; 2 – эрозивно-аккумулятивные низменности – палеодолины раннемиоценового возраста; 3 – приморская денудационно-аккумулятивная низменность – область седиментации континентальных полифациальных песчаных отложений средненовопетровской подсвиты; 4, 5 – залив раннемиоценового мелководного моря – бассейн седиментации песков сублиторальной (4) и литоральной (5) фации средненовопетровской подсвиты; 6 – направления сноса терригенного материала; 7 – основные пути транспортировки терригенного материала – палеодолины раннемиоценового возраста; 8 – Тарасовская россыпь тяжелых минералов

Fig. 5. Paleogeographic scheme of Middle-Novopetrovka subsuite forming stage (Early – Middle Miocene), south-western part of Ukrainian shield (S.M. Tsymbal, 1975; Yu.S. Tsymbal, 2014)

1 – high slightly eroded plane, composed of precambrian crystalline rocks crusts of weathering – the main source area of terrigenous (placer-forming) material; 2 – erosion-accumulative depressions – paleovalleys of Miocene age; 3 – hearse denudation-accumulative lowlands – the area of sedimentation of continental polyfacial sands, Middle-Novopetrovka subsuite; 4, 5 – the bay of Subparatetis – the area of sands sedimentation, sublithoral (4) and lithoral (5) facies of Middle-Novopetrovka subsuite; 6 – directions of terrigenous material drift; 7 – main ways of terrigenous material transportation-Miocene paleovalleys; 8 – Tarasovka placer of heavy minerals

ный край месторождения) поступала в область морской гидродинамической сепарации, включавшей две фациальные зоны – прибрежного мелководья и морского мелководья, отличавшиеся по своим гидродинамически-седиментационным условиям [Лаверов и др., 2014]. Напомним, что в зоне морского мелководья рудные залежи характеризуются выдержанностью по площади и мощности, значительными запасами рудных минералов при сравнительно равномерном их распределении и умеренных концентрациях. В зоне прибрежного мелководья и пляжа рудные за-

лежи отличаются резкими изменениями мощности при наиболее высоких концентрациях тяжелых минералов, локализованных в виде естественных шлиховых прослоек различной толщины.

Отмеченная схема зональности в целом сохранялась на протяжении всего цикла россыпеобразования, однако претерпела некоторую миграцию в векторе «суша – море» в соответствии с секвенс-седиментационным режимом. В функционировании россыпеобразующей системы установлены два макроритма: трансгрессивный (ранний) и регрессивный (поздний).

Ранний (трансгрессивный) макроритм представлен рядом литофаций, общим литологическим признаком которых является тонкозернистость песков мелководно-морской фации, при подчиненной роли песчаных отложений прибрежного мелководья. Часть рудной толщи, относящаяся к трансгрессивному макроритму, представлена пластами с значительным содержанием рудных минералов, переслаивающимися с безрудными или слабо обогащенными слоями. Распределение тяжелых минералов преимущественно равномерное, рудные залежи линзовидной формы и вытянуты вдоль береговой линии.

Поздний (регрессивный) макроритм отличается преобладанием песков мелкозернистой структуры, образовавшихся преимущественно в условиях прибрежного морского мелководья. Для них характерно высокое, а местами ураганное содержание тяжелых минералов, рудные залежи выдержаны по площади, пластовые их формы преобладают над линзовидными.

Природа смены макроритмов и чередования литофаций в пределах обоих макроритмов различна. Смена макроритмов связана с секвенс-седиментационными ритмами Субпаратетиса (повышение и понижение уровня бассейна). Ритмичность более низкого порядка (по крайней мере, чередование рудных тел) является отражением пульсирующих поднятий в области сноса россыпеобразующего материала.

Схема миграции фаций в ходе эволюции бассейна седиментации происходила в соответствии с общей схемой смены макроритмов и представляется следующим образом. На раннем этапе на площади северо-восточной части месторождения располагалась главным образом зона морского, а в южной и юго-западной – зона прибрежного мелководья. Осадки последней подвергались эрозии в начале регрессивного этапа, когда на площади месторождения установилось при-

брежное мелководье и в пределах пляжа формировалась наиболее богатая по концентрациям часть рудной толщи. Мелководно-морская зона с более бедными, но выдержанными рудными телами располагалась в северо-восточной части месторождения.

Часть наиболее богатой по запасам рудной толщи юго-западного фланга месторождения была эродирована в постсреднеэоценовое время.

Заключение

Приведен пример ЦСЛМ очередного перспективного геологического объекта. В дополнение к ранее созданным моделям Краснокутского, Мотроновско-Анновского и Злобичского россыпных месторождений продемонстрированы новые возможности метода, а также вытекающие из полученных результатов трактовка геологического строения Тарасовского россыпного месторождения и схема механизма россыпеобразования в системе «россыпеобразующие формации – промежуточные коллекторы – россыпь».

В процессе разработки модели получено более 60 производных различного уровня информативности. В настоящей публикации кратко рассмотрены лишь 15 наиболее показательных, из которых в виде иллюстраций помещены всего пять. Виртуальный объем самой ЦСЛМ включает огромный информационный потенциал, который может быть востребован по соответствующим запросам для решения конкретных задач.

С точки зрения последующих работ по освоению Тарасовского месторождения полученная ЦСЛМ уже может быть использована (при условии некоторой целевой доработки) как основа для составления геологической части технико-экономического обоснования на детальную разведку. На этапе освоения месторождения модель может дополняться и уточняться посредством введения данных эксплуатационной разведки.

Список литературы / References

1. Лаверов Н.П., Гожик П.Ф., Хрущев Д.П., Лаломов А.В., Лобасов А.П., Чижова И.А., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А., Чефранов Р.М., Бочнева А.А., Василенко С.П., Кравченко Е.А., Свивальнева Т.В., Крошко Ю.В. Цифровое структурно-литологическое геолого-динамическое мо-

делирование месторождений тяжелых минералов. Киев; Москва: Интерсервис, 2014. 242 с.

Lavirov N.P., Gozhik P.F., Khrushchov D.P., Lalomov A.V., Lobasov O.P., Chizhova I.A., Kovachuk M.S., Remezova O.O., Chefranov R.M., Bochneva A.A., Vasylenko S.P., Kravchenko O.A.,

Svivalneva T.V., Kroshko Yu.V., 2014. Digital structural-lithological geological-dynamic modeling of deposits of heavy metals. Kiev; Moscow: Interservis, 242 p. (in Russian).

2. Металічні і неметалічні корисні копалини країни. Т. 1. Металічні корисні копалини / Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. та ін. Київ; Львів: Центр Європи, 2005. 785 с.

Metallic and nonmetallic mineral deposits. Vol. 1. Metallic mineral deposits / Gurskij D.S., Yesypchuk K.Yu., Kalinin V.I. et al. Kyiv; Lviv: Centr Yevropy, 2005, 785 p. (in Ukrainian).

3. Хрущев Д.П., Лобасов А.П., Гейченко М.В., Ремезова Е.А., Босевская Л.П., Кирпач Ю.В., Степанюк А.В. Структурно-литологические модели перспективных осадочных формаций. *Мінер. ресурси України*. 2010. № 4. С. 39-44.

*Khrushchev D.P., Lobasov A.P., Geychenko M.V., Remezova E.A., Bosevskaya L.P., Kyrpach Yu.V., Stepaniuk A.V., 2010. Structural-lithological models of promising sedimentary formations. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 4, p. 39-44 (in Russian).*

4. Хрущев Д.П., Лобасов А.П. Принципы разработки цифровых структурно-литологических моделей осадочных формационных подразделений. *Геол. журн.* 2006. № 2-3 (316). С. 90-102.

*Khrushchev D.P., Lobasov A.P., 2006. Principles of development of structural-lithological models for sedimentary formations. *Geologichnyy zhurnal*, № 2-3 (316), p. 90-102 (in Russian).*

5. Цымбал С.Н. Закономерности образования и вещественный состав титано-циркониевых россыпей Украины. *Докл. сов. геологов на XXV Междунар. геол. конгр. "Минеральные месторождения"*. Москва: Наука, 1976. С. 196–212.

*Tymbal S.N., 1976. Regularities and material composition of titanium-zirconium placers of . *Reports soviet of geologists on the XXV International geol. congress "Mineral deposits"*. Moscow: Nauka, p. 196–212 (in Russian).*

6. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова думка, 1975. 247 с.

Tymbal S.N., Polkanov Yu.A., 1975. Mineralogy of titanium-zirconium placers of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 248 p. (in Russian).

7. Цимбал Ю.С. Типоморфізм алмазу та його мінералів-супутників з осадкових порід західної частини Українського щита. Київ: Наукова думка, 2014. 208 с.

Tymbal Yu.S., 2014. Typomorphism of diamond and it's minerals-satellites in the sedimentary rocks of western part of Ukrainian shield. Kyiv: Naukova Dumka, 208 p. (in Ukrainian).

Статья поступила
19.11.2015