

Цифрова структурно-літологічна модель і геолого-генетична характеристика Копитківського родовища фосфоритів

Дмитро Павлович Хрущов¹

д. г.-м. н., професор, ¹Інститут геологічних наук НАН України,
вул. Олеся Гончара, 55-б, м. Київ, 01601, Україна,
e-mail: khrushchov@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7978-2505>;

Олена Олександрівна Ремезова¹

д. геол. н., зав. відділом геології корисних копалин,
e-mail: elena.titania2305@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1955-1270>;

Світлана Петрівна Василенко¹

к. геол. н., ст. наук. співробітник,
e-mail: svetlyk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9327-5174>;

Олена Андріївна Шевчук¹

д. геол. н., провідний наук. співробітник,
в.о. зав. відділом стратиграфії і палеонтології мезозойських відкладів,
e-mail: hshevchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7221-4540>;

Ольга Віталіївна Яременко²

к. геол. н, старший викладач, ²Поліський національний університет,
Старий бульвар, 7, м. Житомир, 10002, Україна,
e-mail: olya_89@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2882-4621>

Світлої пам'яті видатного вченого – літолога, доктора геол.-мін. наук професора Д. П. Хрущова, Голови Українського Національного комітету при Міжнародній програмі геологічної кореляції (ЮНЕСКО), член-кор. міжнародної асоціації «Sogeoenvironment» (Міжнародний геологічний союз), який зробив вагомий внесок в розробку засад структурно-літологічного моделювання.

Актуальність досліджень пов'язана з проблемою створення і розвитку бази фосфатної сировини відповідно до потреб національного агропромислового комплексу. Раніше у виробництві фосфатних добрив використовувалась російська сировина, однак наразі важливим завданням є освоєння власних фосфоритових родовищ. Метою статті є розробка попередньої цифрової структурно-літологічної моделі перспективного Копитківського родовища фосфоритів, як інструменту інформаційного забезпечення його освоєння, а також геолого-генетична характеристика об'єкта, як основа для уточнення критеріїв прогнозування родовищ такого типу. Демонструється інформаційно-геологічна (цифрова структурно-літологічна) модель (далі – ЦСЛМ) Копитківського родовища фосфоритів, побудована за принципами прогнозно-палеорекоконструктивного ретроспективно-статичного моделювання (авторська розробка). Побудова моделі здійснена з урахуванням детальної літостратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів західної частини платформної України. База даних, створена для моделювання, побудована на основі спеціалізованого структурування породного масиву родовища за літостратиграфічними, літофаціальними і фаціальними ознаками, а також вмісту рудного матеріалу. За побудованої моделі отримано ряд похідних (візуалізацій – карт, профілів, блок-діаграм і розрахункових – коефіцієнтів, взаємозалежностей і т.д.), що відображають загальногеологічні і промислові характеристики родовища. Як результатуюча надається також карта площинного розподілу питомих запасів P₂O₅. ЦСЛМ призначена для інформаційного забезпечення подальших робіт з освоєння об'єкта (детальної розвідки, експлуатації та постмаїнінга). На основі моделі висвітлені умови утворення родовища і механізму фосфатонакопичення і фосфороутворення, які в свою чергу послужили основою для розробки стратиграфічних, палеогеоморфологічних, палеогеоморфологічних і фаціальних критеріїв прогнозування родовищ даного типу, принаймні для тернопільського і хмельницького структурно-фаціальних районів західного схилу Українського щита.

Ключові слова: цифрова структурно-літологічна модель, Копитківське родовище, фосфорити, фосфатонакопичення, ретроспективно-статичне моделювання, Український щит.

Як цитувати: [Хрущов Д. П.]. Цифрова структурно-літологічна модель і геолого-генетична характеристика Копитківського родовища фосфоритів / Д. П. Хрущов, О. О. Ремезова, С. П. Василенко та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 88-104. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-06>

In cites: [Khrushchov D. P.], Remezova O. O., Vasilenko S. P., Shevchuk O. A., Yaremenko O. V. (2022). Digital structural-lithological model and geological-genetic characteristics of Kopytkovsky phosphorite deposit. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 88-104. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-06> [in Ukrainian]

Вступ. Актуальність досліджень пов'язана з проблемою створення і розвитку бази фосфатної сировини відповідно до потреб національного агропромислового комплексу.

Мета публікації. Розробка попередньої цифрової структурно-літологічної моделі (ЦСЛМ) Копитківського родовища, як інструменту інформаційного забезпечення його освоєння, а також

геолого-генетична характеристика об'єкта, як основа для уточнення критеріїв прогнозування родовищ такого типу.

Поставлена мета охоплює наступні завдання:

- формулювання методології та методів досліджень;
- представлення структури бази даних;
- демонстрацію похідних побудованої цифрової структурно-літологічної моделі (ЦСЛМ) і їх інтерпретацію;
- уявлення функціональних і пізнавальних характеристик об'єкта.

Вихідними даними послужили звіти розвідувального буріння № 58360 Скакун Л.І. 2001 року «Моделювання умов утворення і якості фосфоритів на продуктивних ділянках Клевансько-Маневицького рудного району» та № 62750 Черняков О.М. 2009 року «Пошуки і пошуково-оцінювальні роботи на зернисті фосфорити в південній частині Рівненської і північній частині Хмельницької областей», використані для побудови ЦСЛМ і структурно-літологічної та функціональної характеристики об'єкта – фактичні матеріали геологорозвідувальних робіт, проведених Рівненською КГРП протягом 1996 – 97 років.

Робота виконувалася в рамках держбюджетної тематики ІГН НАН України (тема: № III-15-17 "Визначення перспектив розвитку та використання мінерально-сировинної бази України з виділенням першочергових рудних об'єктів" відділу геології корисних копалин ІГН НАН України) та у зв'язку з міжвідомчим проектом «Агрономічні руди України», що знаходиться на підготовчій стадії.

Стан проблеми. Постановка проблеми досліджень ініційована станом трьох чинників: ступенем забезпеченості національного ринку фосфатних добрив, станом сировинної бази і мірою економічної доцільності освоєння останньої.

Стан забезпеченості національного ринку фосфатних добрив зараз може оцінюватися як незадовільний. Власне виробництво фосфатних добрив призупинено. Низка підприємств, що діяли раніше, зараз закриті. Ринок споживання забезпечується повністю за рахунок імпортованої продукції.

У той же час існує певна сировинна база фосфатвміщуючих руд, яка при визначених умовах могла б забезпечити відродження виробництва добрив. За даними державного балансу України запаси фосфоритових руд на 01.01.2018 р за категоріям А + В + С₁ (тис. т) становили 390786,8 в руді, або 11090,0 Р₂О₅, за категорією С₂ – 83948,15 і 4018 відповідно. В межах Рівненської області встановлено запаси за категорією С₂ 3533,45 в руді і 243,55 Р₂О₅ [10].

Дослідженням фосфоритових відкладів

України, і зокрема Львівсько-Волинського району, присвячені роботи Ю.М. Брагіна, Ю.М. Сеньковського, С.Б. Шехунової та ін. [2, 3, 8, 9, 11, 15, 18, 19, 21, 22].

Копитківське родовище – об'єкт даної публікації характеризується високим рівнем геологічної вивченості. Рівненською КГРП протягом 1996-97 років проводилися геологорозвідувальні роботи з оцінки родовища, але вони не були завершені.

Особливо слід зупинитися на методиці моделювання геологічних об'єктів, що служить для забезпечення родовищ рудних і нерудних корисних копалин. Існує чимало спеціалізованих геоінформаційних систем такої спрямованості; у вітчизняній практиці це система К-Mine [5] і ряд інших. Нами використовується авторська методика комплексного різномасштабного багатоцільового 3D структурно-літологічного моделювання осадових формацій (див. далі).

Методологія і методи. В основу проведених досліджень покладені два методологічних спрямування: традиційні літологічні, палеофаціальні, палеогеографічні дослідження і авторська розробка – цифрове структурно-літологічне моделювання (ЦСЛМ), діалектично об'єднуються у формі єдиної прогнозно-палеорекоструктивної ретроспективно-статичної моделі [26, 28].

Нагадаємо, що ЦСЛМ – віртуальне об'ємне (3D) багатостороннє відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні і речовинні характеристики. [7, 16].

Методика модифікована відповідно до особливостей даного родовища.

Загальні відомості про родовище. Відповідно до традиційної схеми ієрархії фосфоритових територій за А.С. Соколовим [1976], з урахуванням більш пізніх досліджень українських геологів площа Копитківського родовища відноситься до Здолбунівського району, який становить північний сектор Здолбунівського-Тернопільської зони Волино-Подільського крейдового басейну (за Ю.М. Сеньковським і ін. [12]; за Ю.М. Брагіним – району [3]) фосфоритової провінції Східноєвропейської платформи (за А.С. Соколовим). У структурному аспекті зазначена зона відноситься до Волино-Подільської плити та західного схилу Українського щита [14, 15].

В адміністративному відношенні територія родовища входить до складу Здолбунівського району Рівненської області (рис. 1).

Головні результати. Здолбунівський фосфоритовий район включає 13 покладів, 8 з яких знаходяться в приповерхневому заляганні. Формаційно-стратиграфічний розріз цієї площі включає три структурних поверхні: архей-протерозойський кристалічний фундамент, рифей-палеозой-



Рис. 1. Оглядова карта району розташування Копитківського родовища фосфоритів.
 Fig. 1. Overview map of the location of the Kopytkivsky phosphorite deposit

ські утворення і осадово-вулканічний чохол платформ.

Стратиграфія досліджуваного району. Фосфоритоносні відклади відносяться до осадово-вулканогенного чохла. Стратиграфічний розріз цього структурного поверху в межах розглянутої зони включає відклади крейдової, палеогенової, неогенової і четвертинної систем. В основі осадово-вулканогенного чохла залягають породи крейдової системи, представлені верхнім і нижнім відділами. Стратиграфічна характеристика розглянутого інтервалу розрізу Здолбунівсько-Тернопільської фосфоритоносної зони і прилеглих площ ілюструється фрагментами кореляційних частин «Стратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів західної частини платформної України і зовнішньої зони Передкарпатського прогину» та «Стратиграфічної схеми нижньокрейдових відкладів західної частини платформної України і зовнішньої зони Передкарпатського прогину», а саме альб-коньякських відкладів Волино-Подільської плити та північно-західного схилу УЩ [15], що охоплює Волинську монокліналь, Тернопільський, Хмельницький і Могилів-Подільський структурно-фаціальні райони (СФР) схилів УЩ (рис. 2).

З цієї діючої схеми видно, що в межах Тернопільського СФР (що включає Копитківське родовище і ряд інших) простежується такий розріз (скорочений):

В межах цього СФР у складі нижнього відділу крейдової системи встановлені три підрозділи: касперівецька світа, низи пилипчанської світи і фосфоритовий шар.

Касперівецька світа представлена вапняками і пісковиками з гравієм і галькою кварцу. Вік – верхній альб. Потужність до 20-ти метрів. Низи пилипчанської світи, ідентифікованої як перехідна товща альб-сеноманського віку, представлені тут породами піщано-гезового складу.

Нижня частина пилипчанської світи складена пісками та пісковиками глауконіт-кварцевого або глауконіт-польовошпат-кварцевого складу, зеленувато-сірими, середньо- та дрібнозернистими, інколи з домішкою жорстви та гравію кварцу та кристалічних порід, гальки кременів. Псаміти часто слабо зцементовані вапнисто-глинистим, вапнисто-трепельним або вапнисто-силікатним цементом, з прошарками опок, халцедонолітів або більш окремених пісковиків потужністю 5-30 см.

Фосфоритовий шар, що має локальне поши-

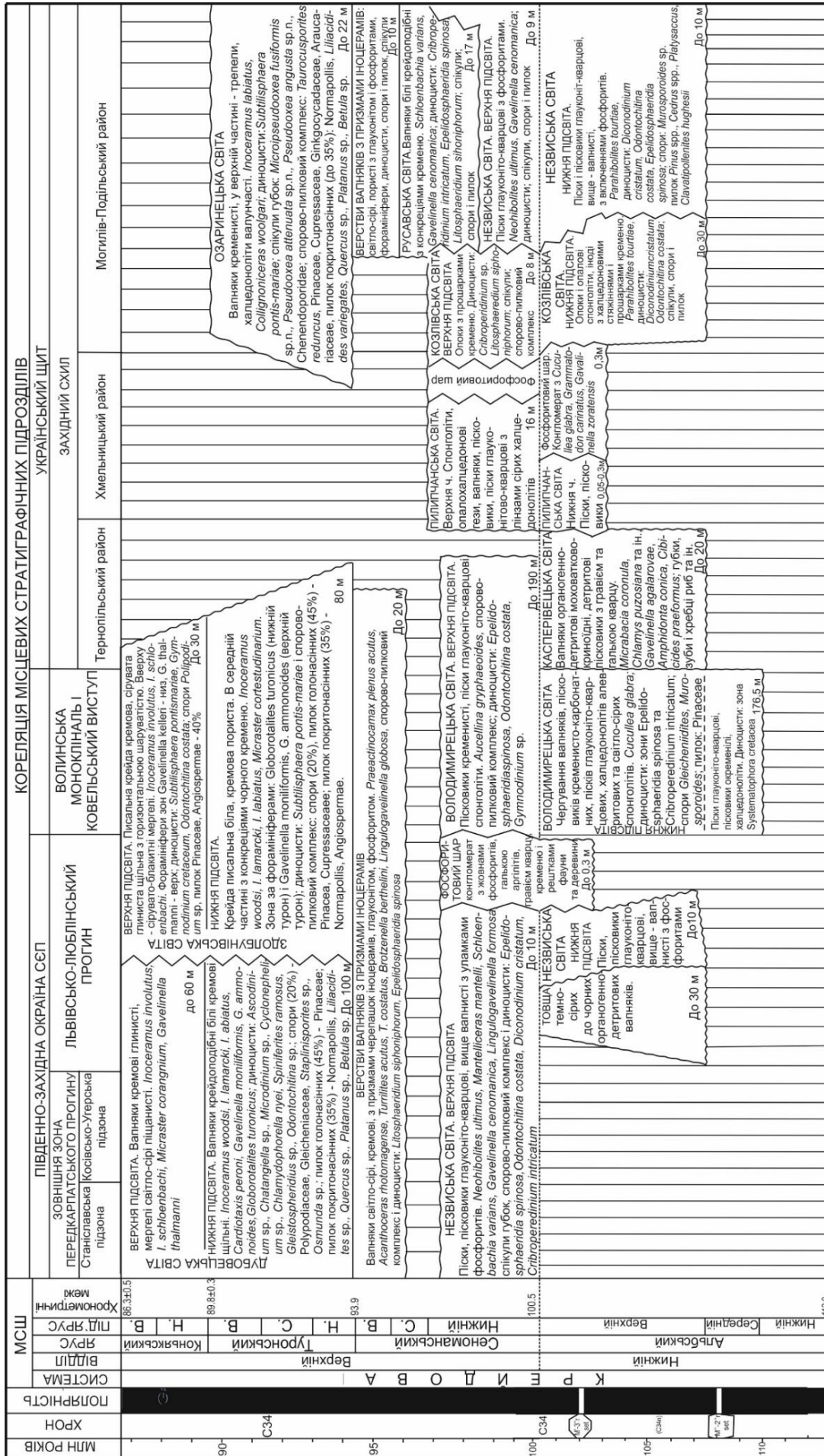


Рис. 2. Кореляційна частина «Стратиграфічної схеми альб – коньяських відкладів західної частини платформної України і Зовнішньої зони Передкарпатського прогину» [15, 20].

Fig. 2. Correlation part "Stratigraphic scheme of Alban - Coniacian deposits of the western part of platform Ukraine and the Outer zone of the Precarpathian Depression" [15, 20].

рення, утворений конгломератами з галькою кварцу і кременів, а також жовнами фосфоритів і фосфатизованими рештками пеліципод, гастропод, амонітів, губок, уламками деревини. Цемент конгломератів представлений фосфоритним, піщано-опоковим, піщано-вапняковим і піщаним матеріалом. Вік фосфоритового шару визначається як пізній альб-ранній сеноман.

У розрізі Копитківського родовища він не встановлюється. Більш повний розвиток за площею фосфоритовий шар отримав в межах Хмельницького СФР. Датування віку фосфоритового шару залишається дискусійним.

Група дослідників, що працювали комплексно протягом 1960 – 1990 років над створенням стратиграфічних схем цього регіону В.Н. Гаврилишин, С.І. Пастернак, і ін., вважали вік фосфоритового шару середньоальбським [4, 6]. Група вчених, сучасних представників львівської школи – Р.Й. Лещух, І.М. Мар'яш, Я.С. Курепа, С.Г. Бакаєва пропонують датувати вік фосфоритового шару, як нижньосеноманський, на підставі вивчення макрофауни з розрізів північної частини Львівсько-Люблінського прогину і західної частини УЩ [2, 8, 9].

Вік фосфоритового шару до цього часу датувався як середній альб. Аналіз палеонтологічного і літологічного матеріалу свідчить, що відклади фосфоритоносного шару відносяться до верхів верхнього альбу – низів нижнього сеноману. В результаті проведених досліджень комплексних літолого-палеонтологічних робіт були внесені зміни до «Стратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів західної частини платформної України та зовнішньої зони Передкарпатського прогину»: до кореляційної частини схеми внесена стратиграфічна одиниця «фосфоритовий шар» [20]. Вирішення цього питання виноситься на мезозойську комісію НСК України для затвердження в 2022 р.

В межах Хмельницького і Могилів-Подільського СФР, а також Волинської монокліналі поширена також володимерецька світа (точніше нижня її підсвіта – вапняки, піски і пісковики кварц-глауконітового складу, халцедоніти, потужність до 176 метрів) і нижня підсвіта козлівської світи (істотно теригенна – піски глауконіт-кварцові з галькою древніх порід, рідко – валуни, опоки, спонголіти потужністю до 30 метрів). Вік нижньої володимерецької підсвіти середній – пізній альб, нижньокозлівської підсвіти – пізній альб.

Розріз верхньої крейди за кореляційною схемою починається трьома одновіковими стратиграфічними підрозділами, які відрізняються за складом порід: верхня підсвіта володимерецької світи, пилипчанська світа і верхня підсвіта козлівської світи.

Верхня підсвіта володимерецької світи характеризується локальним розвитком в межах Тернопільського СФР, більш повним – в межах Волинської монокліналі (на площі Копитківського родовища наче відсутня). Представлена вона пісковиками глауконіт-кварцового складу мергелістими і карбонатними, різнозернистими, щільними, переважно темно-сірого забарвлення. Вік – ранній сеноман.

Пилипчанська світа в повному розвитку встановлена в Хмельницькому СФР. Тут це піщано-гезова товща, утворена спонголітами, халцедоновими і опал-халцедоновими породами, гезами, пісками опал-глауконіт-кварцовими з прошарками спонголітів. Вік – пізній альб, верхньої – ранній сеноман. Потужність світи до 16 метрів.

Козлівська світа, представлена тут верхньою підсвітою у вигляді суттєво кременистої товщі, складена опоками з прошарками глауконіт-кварцових пісків. Потужність підсвіти до 8 метрів. Вік – також ранній сеноман.

Стратиграфічні взаємовідношення пилипчанської і козлівської світ не зовсім з'ясовані. У кореляційній схемі вони відображені як одновікові, в текстовій же частині зазначається факт залягання пилипчанської світи на козлівській [15]. За нашими новітніми уявленнями підоснова козлівської світи відповідає нижньому стратиграфічному рівню (низи верхнього альбу) [20, 25]. У стратиграфічному розрізі Копитківського родовища усі три зазначених підрозділи сеноманського ярусу відсутні.

Далі за розрізом верхньокрейдового відділу Здолбунівського-Тернопільської фосфоритоносної зони після певної стратиграфічної перерви слідує верстви іноцерамових вапняків (за кореляційною схемою – верстви вапняків з призмами іноцерам). Ця товща – добре ідентифікований реперний горизонт, поширений в межах західного схилу УЩ, Волинської монокліналі і прилеглих площ Придніпровського прогину. У базальній частині шарів простежується базальний горизонт псефітового складу (гравій, дрібна галька підстиляючих порід). Основна частина розрізу представлена вапняками кремового, сірого, буро-сірого забарвлення, складеними призмами іноцерам (40-80% складу) і мушлями форамініфер, зцементованих дрібнозернистим кальцитом, місцями з домішкою кварцового, піщаного і алевроитового матеріалу. У породах присутні стяжіння фосфоритів, копроліти (сингенетичного характеру). У нижній частині іноцерамових верств поширені також скупчення фосфатизованих ядер і мікрофауни, очевидно, перевідкладеного характеру. Верстви залягають, головним чином, на відкладах незвиської, володимерецької і русавської світ, перекриваються здолбунівською та дубовицькою світами. Вік

іноцерамових верств середній-пізній сеноман. Потужність шарів на схилах УЩ і в Могилів-Подільському районі до 10 метрів, у Львівсько-Львівському прогині збільшується до 20 м [15,17-20].

У Здолбунівсько-Тернопільській фосфоритоносній зоні верстви іноцерамових вапняків простежуються в межах Тернопільського СФР, продовжуючись у Волинську монокліналь, в Хмельницькому вони начебто відсутні (див. Кореляційну схему, рис 2). А на площі Копитківського родовища за даними геологорозвідувальних робіт Рівненської КГРП 1996-97 рр. саме верстви іноцерамових вапняків представляють нижній стратиграфічний підрозділ крейдової системи, що залягають безпосередньо на основі домезозойського віку (головним чином – вендських аргілітах і пісковиках). За даними вказаного першоджерела в розрізі верств іноцерамових вапняків («теригенно-карбонатних продуктивних верств сеноману») виділяють дві пачки (за першоджерелом – «частини»): нижня – представлена пісками і пісковиками, і верхня – піщанистими вапняками. Перша з них віднесена до середнього сеноману, друга – до верхнього. Глауконіт-кварцові піски і пісковики різко переходять в вапнякові фосфат-глауконіт-кварцові пісковики, а останні – у піщанисті вапняки. У підшві верств простежується базальтовий горизонт істотно псефітового складу – гравій кварц-крем'яних порід, галька підстилаючих порід з жовнами фосфоритів. Потужність верств іноцерамових вапняків на площі Копитківського родовища становить до 6,4 м. Вище за розрізом верхнього відділу крейдової системи в СФР західного схилу УЩ залягають відклади постсеноманських стратиграфічних рівнів (турон-маастрихт), які виходять за верхню межу «пізньоальбсько-сеноманського періоду фосфатонакоплення» (за Ю.М. Сеньковським і ін. [13]).

Коротко викладаємо літостратиграфічну структуру розрізу (світи): здолбунівська (писальна крейда, мергелі) – турон-коньяк; озарінецька (вапняки, кременисті вапняки) – турон; турійська (крейда, вапняки) – сантон.

Формаційна ідентифікація стратиграфічного інтервалу, що розглядається представляється в такий спосіб. Л.С. Галецьким тут виділяються дві формації: глауконіт-фосфоритова і карбонатна [1] (за геолого-економічним принципом). Ю.Н. Сеньковським зі співавторами на основі формаційного підходу в межах Волино-Поділля і суміжних площ Львівського прогину і Передкарпатського прогину встановлюється «глауконіт-крейдяна» формація альб-маастрихтського віку [11]. Виходячи із прийнятого нами визначення формації як «історико-генетичної асоціації гірських порід, що утворилася в певній геотектонічній структурі на певному етапі її розвитку» [8, 26, 28], уточнена

номенклатурна ідентифікація може бути наступна: континентально-морська кремнисто-теригенно-карбонатна формація крейдяного (а з урахуванням деяких стратиграфічних визначень – юрсько-крейдового) віку.

У складі формації слідом за цитованою вище роботою [13] виділяються три субформації (за Ю.М. Сеньковським – підформації): опокового (пізньоальбсько-ранньосеноманська за Ю.М. Сеньковським), кремнисто-крейдяна (пізньосеномансько-«сеноманського», а за сучасним поділом – пізньосеномансько-коньякського) і мергельно-гезова (сантонсько-маастрихтського).

Таким чином, за матеріалами вищезазначених геологорозвідувальних робіт в межах Здолбунівсько-Тернопільської фосфоритоносної зони підтверджується скорочений склад розрізу виділеної формації, в якому присутні тільки володимерецька світа (тобто літостратиграфічний підрозділ нижньої її субформації – опокової) і перекривають зі стратиграфічним (і кутовим) неузгодженням відкладення шарів іноцерамових вапняків, а останні відносяться вже до кремнисто-крейдяної субформації. При тому між цими двома субформаціями на даній площі реєструється значна стратиграфічна перерва.

Загальна структурно-літологічна характеристика верств іноцерамових вапняків в межах Копитківського родовища наводиться за матеріалами геологорозвідувальних робіт. Тут ця товща має двочленну будову. Нижня частина її представлена сірими, світло- і темно-сірими з зеленуватим відтінком дрібнозернистими пісками і пухкими пісковиками на карбонатному цементі. Верхня частина складена піщанистими вапняками. Формаційний ранг цих підрозділів поки не встановлено. Потужність шарів до 6 м.

У товщі верств іноцерамових вапняків за критерієм складу породоутворюючих мінералів виділяються п'ять літофацій (за текстом звіту про геологорозвідувальні роботи – «типів порід»): піски і пісковики глауконіт-кварцові; піски і пісковики іноцерам-глауконіт-фосфорит-кварцові і глауконіт-фосфорит-кварцові; піски і пісковики кварцові з жовнами фосфоритів і кременями; піски і пісковики фосфорит-іноцерам-кварцові і фосфорит-кварц-іноцерамові; вапняки іноцерамові.

Нижче наводиться опис розрізу в порядку стратиграфічної послідовності (рис. 3).

Піски кварцові і глауконіт-кварцові сірі з зеленуватим відтінком, пісковики на карбонатно-глинистому цементі. Піски дрібнозернисті (0,16 - 0,05мм), з фосфатами у вигляді зерен фосфоритів і уламків призм іноцерам, черепашкового детриту і ін., різного ступеня заміщених фосфатами. Ця літофація розвинена в палеозападинах досеноманського рельєфу. Потужність товщі

складає 0,2 - 1,5, в середньому 1,0 м. Вміст фосфатів не досягає промислових масштабів.

Піски і пісковики глауконіт-фосфорит-кварцові і іноцерам-глауконіт-фосфорит-кварцові. Ці псаміти переважно дрібнозернистої структури, сірі, темно-сірі з зеленуватим відтінком, візуально важковідмінні від підстилаючих піщаних порід з убогою фосфоритомісткістю, у зв'язку з чим основним критерієм відмінності служить встановлення підвищених вмістів фосфатів, а також оксидів калію і кальцію (за хімічним аналізом). Вміст фосфатів досягає промислових кондицій.

Піски і пісковики фосфорит-іноцерам-кварцові і фосфорит-кварц-іноцерамові є провідною продуктивною товщею. Ця літофація утворена псамітами сірого і сірувато-білого забарвлення, дрібнозернистої структури. Її розповсюдження обмежується підвищеними геоморфологічними елементами рельєфу: палеопідняттями та їх схилами за ізогіпсами понад 190 м. При цьому при-

склепеневі площі палеопідняття також зазвичай безрудні.

Вапняки іноцерамові піщанисті завершують розріз шарів. Літофація складена піщанистими пелітоморфними вапняками світло-сірого і кремового забарвлення, масивної текстури зі слабо вираженою плитчастою окремістю. Вміст псамітового матеріалу зменшується вгору за розрізом. Вміст P_2O_5 не досягає промислових кондицій (в основному 1,5 – 2 %, місцями до 4,5 %). Як латерально витриманий горизонт іноцерамові вапняки підстиляються на палеопідняттях фосфорит-іноцерамово-кварцовими пісковиками, а в палеозападинах – глауконіт-фосфорит-кварцовими псамітами. У нижній частині цього літофаціального комплексу локально зустрічаються піски і пісковики з жовнами фосфоритів, що утворюють літофацію, яка легко ідентифікується та поширена в контурах палеопідняття і їх схилів. Вона представлена породами псаміт-пелітової структури такого

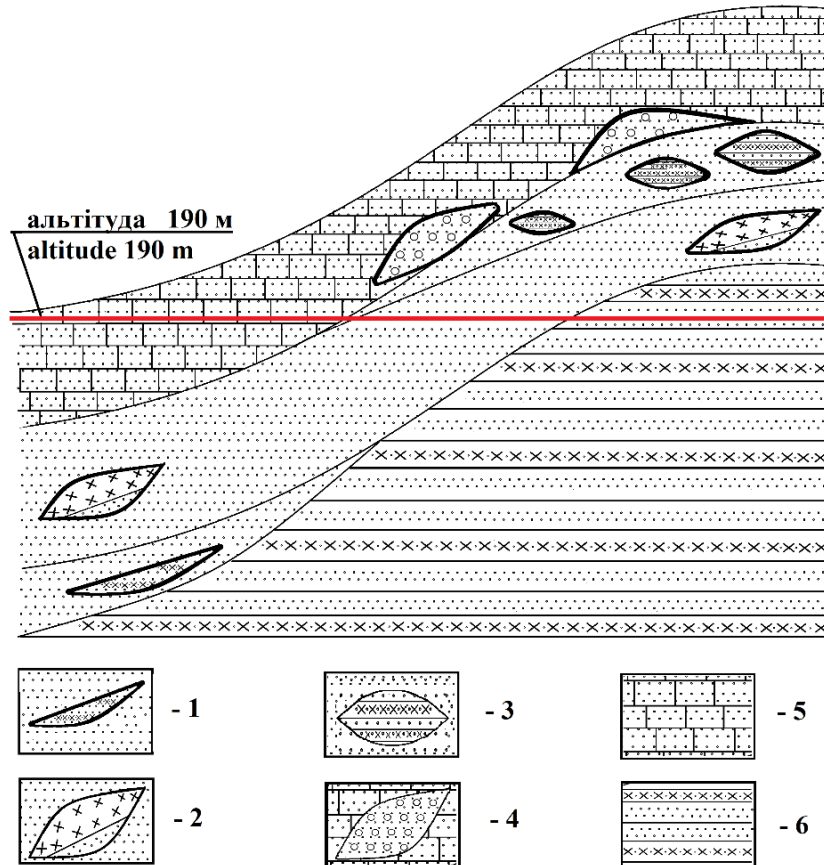


Рис. 3. Схема розподілу літофацій верств іноцерамових вапняків Копитківського родовища фосфоритів. Умовні позначення: 1 – псефіти (піски, пісковики) глауконіт-кварцеві; 2 – псефіти іноцерам-глауконіт-фосфорит-кварцеві і глауконіт-фосфорит-кварцеві; 3 – псефіти фосфорит-іноцерам-кварцеві і фосфорит-кварц-іноцерамові (продуктивна товща); 4 – псаміти і піщано-псефіти з жовнами фосфоритів і кременів (лінзи); 5 – вапняки іноцерамові; 6 – пісковики або аргіліти «досенманського» віку.

Fig. 3. Scheme of lithofacies distribution of inotseram limestone of Kopytkivsky phosphorite deposit. Legend: 1 – psephytes (sands, sandstones) glauconite-quartz; 2 – psephytes inoceram-glaucanite-phosphorite-quartz and glauconite-phosphorite-quartz; 3 – psephytes phosphorite-inotseram-quartz and phosphorite-quartz-inotseram (productive stratum); 4 – psammities and sand-psephytes with phosphorites and flint (lenses); 5 – inotseram limestones; 6 – sandstones or argillites of pre-Cenomanian age

ж сірого і темно-сірого з зеленуватим відтінком забарвлення з псефітовою складовою у вигляді жовен фосфоритів і кременів (локалізуються переважно окремо). Вміст P_2O_5 в породах літофациального комплексу сягає від 3,63 до 11,89 %.

За інтерпретації наведених вище описів літофаций нами представлена принципова схема їх розподілу за елементами геоморфологічної системи «палеопідняття-схил-палеозападина домезозойського рельєфу» (рис. 3).

За результатами геолого-економічної оцінки, виконаної Рівненською КГРП протягом 1996-1999 р., запаси зернистих фосфоритів Копитківського родовища за категорією C_2 складають 1001 тис. т, встановлені також прогнозні ресурси категорії P_1 , що складають 8,39 млн т.

За результатами геологорозвідувальних робіт авторами звіту виділені два типи руд за відповідними категоріями: технолого-речовинний (за текстом першоджерела – літолого-технологічний) і технолого-мінеральний (там же – «морфологічні типи»).

Технолого-речовинних типи відділено чотири: істотно карбонатний (вапняки піщані); карбонатно-кварцовий; істотно кварцовий (пісковики фосфориткварцові, вапняковисті та фосфорит-кварцові); глауконітовими-карбонатний, глауконіт-карбонатно-кварцовий і кварцовий. Всі ці

типи характеризуються фосфатносністю промислових масштабів. Найбільш багатими вважаються істотно карбонатний і істотно кварцовий типи. Технолого-мінеральних типів, ідентифікованих за вмістом фосфатвміщуючих мінеральних форм, виділяється п'ять: іноцерамовий (фосфатизованих призм іноцерам більше 80 %); глауконітовий (фосфатизованих зерен глауконіту більше 80 %); глауконіт-іноцерамовий (фосфатизованих іноцерам більше 50 %); іноцерам-глауконітовий (фосфатизованих зерен глауконіту більше 50 %); змішаний (приблизно рівні вмісти фосфатизованих іноцерамових і глауконітових складових); монофосфатний (сумарний вміст гомогенних зерен фосфатів більш 15 %); кварцовий (зерен кварцу з фосфатною облямівкою більше 10 %). Мінерально-морфологічні типи фосфоровмісних компонентів: фосфатизовані -призми іноцерам, зерна глауконіту, скелетні залишки риб; фосфатні - ниркоподібні гомогенні зерна, ооліти, копроліти, мікрожелваки і гравій; зерна кварцу з фосфатною облямівкою. Мінеральний склад порід «продуктивної товщі» кварц, кальцій, глауконіт, фосфорити (фтор-гідроксил-апатит двох модифікацій - франколіт і курськіт), мінерали групи кремнезему (опал, халцедон), польові шпати, акцесорні мінерали. У складі цементуючого матеріалу переважає пелітоморфний кальцит, глинисті мінерали і ін.



Рис. 4. Розріз альб-сеноманських відкладів з фосфоритами, м. Новодністровськ, Чернівецька обл., р. Дністер.
Fig. 4. Section of Alb-Cenomanian sediments with phosphorites. Novodnistrovsk, Chernivtsi region, Dniester River

Вміст P_2O_5 за певними пробами, включеними до підрахунку запасів, змінюється від 2,0 до 10,4 %, в середньому по родовищу складає 5,33 %. Нерозчинний залишок руди - від 33 до 60-70 %.

Відмічається стратиграфічно наскрізний характер фосфоритовості: промисловий вміст фосфатів встановлено навіть у відкладах антропогену.

Негативним фактором є відсутність детальної літологічної характеристики керна: в наявних описах розрізів свердловин виділяються лише два підрозділи «продуктивної товщі»: пісковики фосфорит-глауконіт-кварцові і вапняки іоцерамові піщанисті і піщані фосфат-глауконіт-кварцового складу. Зважаючи на цю обставину побудова ЦСЛМ з виділенням повного спектру структурно-літологічних елементів – літофацій, фацій, рудних тіл і т.д. виявляється практично неможливим (див. далі).

Цифрова структурно-літологічна модель (ЦСЛМ)

Методологія і методи

ЦСЛМ - основний методологічний інструмент інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем [27, 29]. Прийняте нами визначення ЦСЛМ – віртуальне об'ємне (3D) багатостороннє відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні і якісні характеристики.

Для даного геологічного об'єкта – Копитківського родовища – методика моделювання базується на загальних методологічних принципах структурування і мінералогічній характеристиці осадових геологічних формацій [7] з відповідною модифікацією, що визначається особливостями геологічної будови і літологічними характеристиками морських теригенних і теригенно-карбонатних фосфоритових формаційних підрозділів [11, 14, 30]. Ці особливості стосуються формаційного складу, літофаціального і фаціального складу, речовинних (мінеральних і геохімічних) характеристик, з урахуванням умов утворення. Таким чином, отримана модель за загальним визначенням відноситься до категорії ретроспективно-статичної.

Фактографічна основа моделі (структура бази даних).

База даних ЦСЛМ представлена описом керна за розрізами 567 свердловин проведених геологорозвідувальних робіт, а також за усередненими вмістами P_2O_5 у розрізах «продуктивної товщі». У наявних описах розрізів в «продуктивній товщі» виділені тільки два функціонально-речовинні шари - пісковики фосфат-глауконіт-кварцові і вапняки іоцерамові (фосфоритові), обидва шари під індексом K_2 .

За таким структурним складом і виділялася "продуктивна товща" з визначенням її меж і фосфоритовості. Остання встановлювалася за даними хімічних аналізів, представлених у вигляді відповідних матричних таблиць.

Детальніше розчленування «продуктивної товщі» неможливе, хоча приклади такого представляються у вигляді обмеженого числа свердловин, в яких виконувався радіоактивний каротаж (ГК).

Характеристика похідних ЦСЛМ.

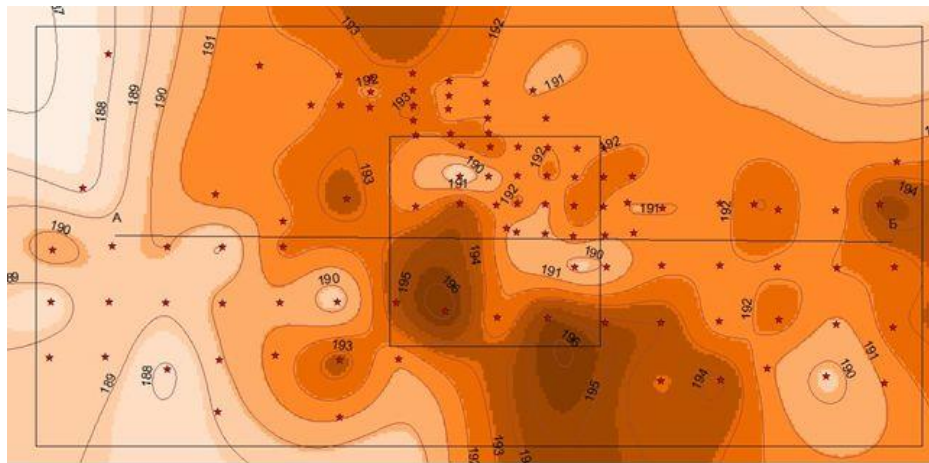
За побудованої ЦСЛМ отримано ряд похідних (в тому числі візуалізацій), що відображають структурні та матеріально-промислові характеристики родовища – ряд карт, профілів, а також блок-діаграма центральної частини родовища. Нижче наводиться опис найбільш інформативних візуалізацій.

Карта гіпсометрії підшви «продуктивної товщі». Абсолютні позначки цього розділу знаходяться в діапазоні 186 – 194 м, що свідчить про помірну розчленованість рельєфу седиментаційного ложа субформації (на даній ділянці - верств іоцерамових вапняків). В цілому рельєф площі родовища представляє блок пов'язаних (або розділених незначними пониженнями) піднятих (альгітуда більш 194 м) субізометричної конфігурації. Два найбільш значних підняття знаходяться трохи південніше центральної частини родовища. Цей блок з північного сходу, південного сходу і заходу обрамляється зниженнями рельєфу (186 м і менше). Можна припустити, що цей рельєф в цілому відображає тривалий етап міжформаційного вирівнювання домезозойського часу з низькоенергетичним рівнем впливу ерозійних процесів (рис. 5).

Карта гіпсометрії покрівлі «продуктивної товщі». Перш за все слід зазначити істотну кореляцію з рельєфом підшви «товщі». Абсолютні позначки цієї поверхні розташовуються в діапазоні 188 – 196 м. Незначні відмінності виявляються у відображенні підняття покрівлі (рис. 5).

Карта потужності «продуктивної товщі». Як зазначалося вище, за даними геологорозвідувальних робіт, потужність цієї «товщі», тобто верств іоцерамових вапняків, в цілому складає близько 6 м. За візуалізації ЦСЛМ цей показник на більшій частині площі родовища становить від 2 до 3 м (і трохи більше). Три плями підвищеної потужності (3 м і більше) знаходяться в середній частині родовища і на захід-південно-захід від неї. А в північній частині площі прогнозується аномальне підвищення до 4 м і більше (рис. 6). Виявляється чітка кореляція зростання потужності зі зниженням рельєфу підшви «продуктивної товщі».

Структурні характеристики «продуктивної



Умовні позначення

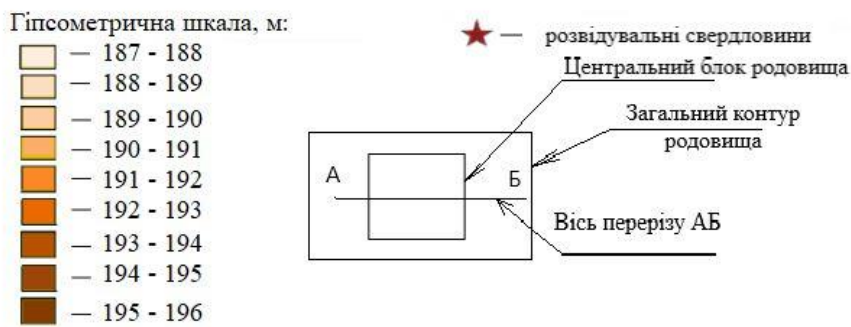
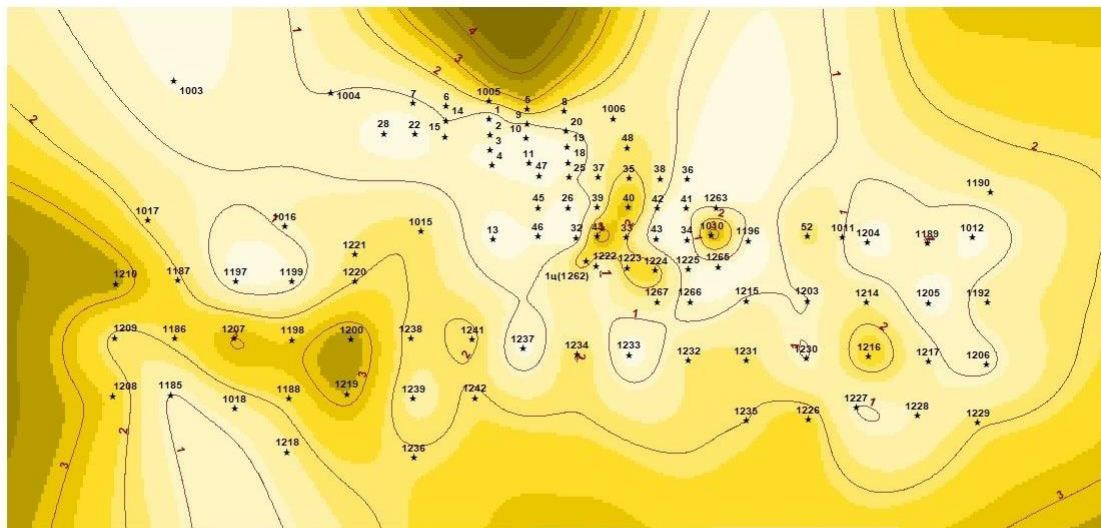


Рис. 5. Карта гіпсометрії покрівлі верств іноцерамових вапняків Копитківського родовища фосфоритів.
 Fig. 5. Map of hypsometry of the layers roof of the inoceram limestones of the Kopytkivsky phosphorite deposit



Умовні позначення

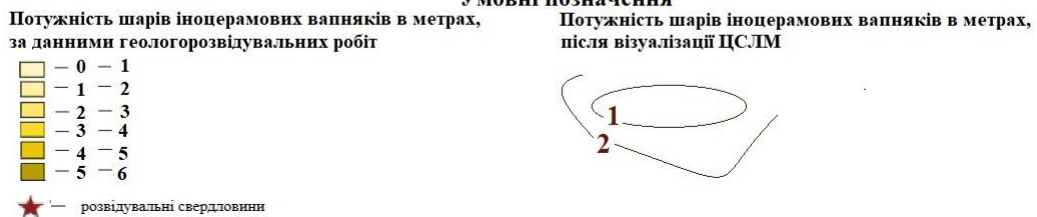


Рис. 6. Карта потужності продуктивної товщі Копитківського родовища фосфоритів.
 Fig. 6. Map of thickness of productive stratum of the Kopytkivsky phosphorite deposit

товщі» ілюструються двома найбільш інформативними похідними ЦСЛМ: профілем широтного напрямку (рис. 7) і блок-діаграмою центральної частини родовища (рис. 8).

Карта питомих запасів. Виділяються три групи градацій питомих запасів P_2O_5 ($кг/м^3$): біль-

ше 10, більше 15 і 15-30. Градація більше $10 кг/м^3$ займає значну площу в південно-східному секторі площі, а також утворює кілька незначних розрізаних плям ізометричної і неправильної конфігурації в центральній і східній частинах родовища. Градація більше $15 кг/м^3$ представлена двома пля-



Рис. 7. Вертикальний профіль широтного простягання через Копитківське родовище фосфоритів.
Fig. 7. Vertical profile of latitudinal extension through Kopytkivsky phosphorite deposit

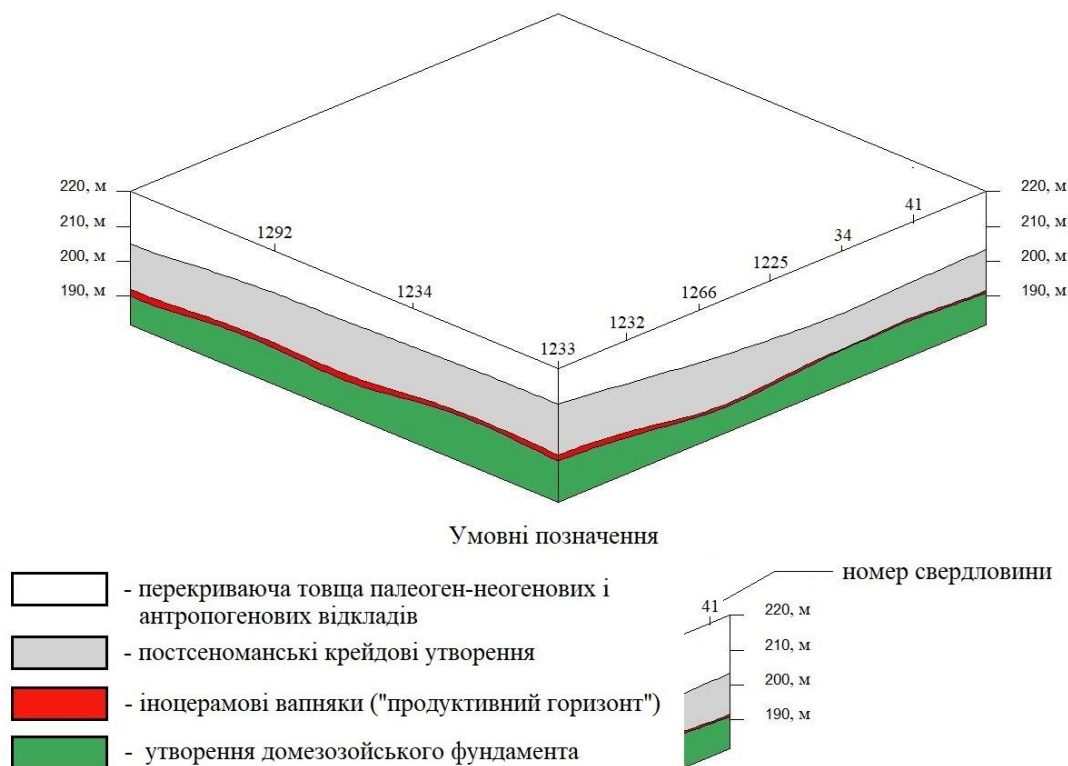


Рис. 8. Блок-діаграма центральної частини Копитківського родовища фосфоритів.
Fig. 8. Block diagram of the central part of the Kopytkivsky phosphorite deposit

мами невеликих розмірів в західному його секторі. Інтерес представляє прогнозована зона підвищених значень $15-30 кг/м^3$ в північному секторі, що виходить за межі території розвідувальних робіт.

Виявляється кореляційний зв'язок підвищених значень питомих запасів з певними структурними особливостями палеорельєфу: приуроченість до схилів локальних піднять, особливо – до ділянок підвищених градієнтів потужностей. Підтверджується зазначене за результатами геолого-

розвідувальних робіт тяжіння підвищених значень питомих запасів (і, мабуть, інтенсивного фосфатонакопичення) до гіпсометричних ізоліній 190 м (рис. 9).

Узагальнене трактування особливостей геологічної будови покладу. Побудована ЦСЛМ надає вичерпну характеристику основних структурних і літологічних параметрів Копитківського родовища в геоінформаційній системі. Отримані похідні моделі відображають просторову (площадну та гіпсометричну) конфігурацію покладів фо-

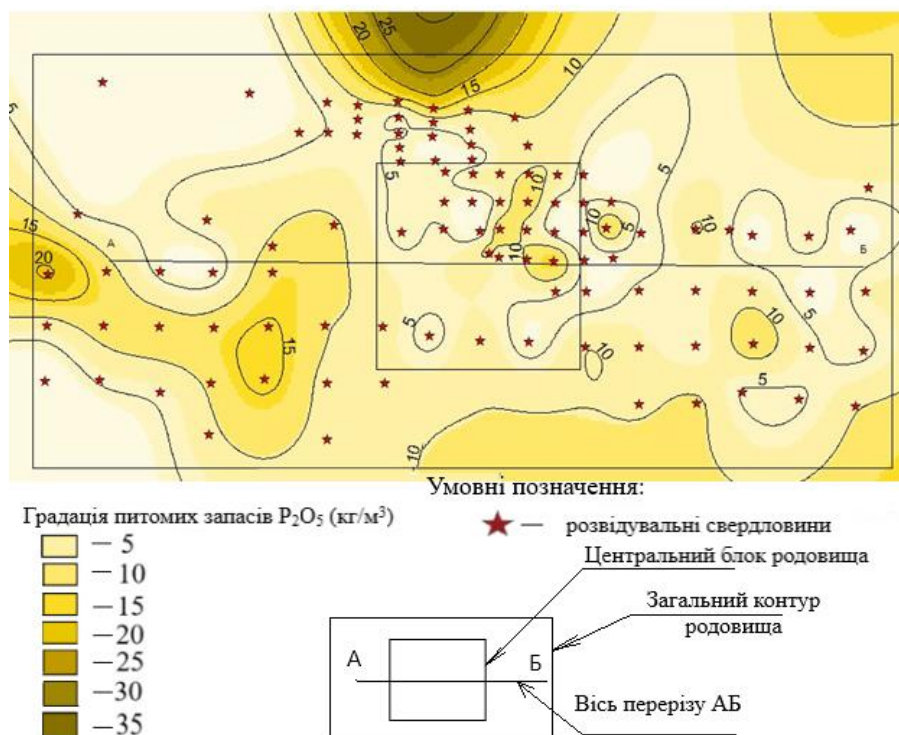


Рис. 9. Карта питомих запасів фосфоритів Копитківського родовища.

Fig. 9. Map of specific phosphorite reserves of Kopytkivsky deposit

сфоритів і розподіл питомих запасів P_2O_5 , а також приуроченість фосфоритоносності до певних гіпсометричних рівнів схилів локальних піднять.

Генетична інтерпретація, механізм фосфоритоутворення. На основі методологічних принципів формаційного аналізу і прийнятих нами підходів прогнозно-палеорекоструктивного ретроспективно-статичного моделювання [7, 26] об'єкта отримана геолого-генетична характеристика етапу формування шарів іноцерамових вапняків відповідно до зональних умов Здолбунівського-Тернопільської зони фосфоритоутворення і локальних умов Копитківського родовища.

В середньому сеномані після «постволодимирської» седиментаційної перерви в результаті наступного етапу трансгресії Здолбунівського-Тернопільська зона фосфоритоутворення виявилася в межах шельфу західного схилу УЩ. (Тернопільський і Хмельницький СФР). Цей сектор шельфу знаходився в північній частині епіконтинентального морського басейну («Європейського моря»), волино-подільська частина якого була ідентифікована Ю.Н. Сеньковським як «затока-протока» [8, 12] (рис. 10).

За регіональними палеогеографічними побудовами (починаючи з фундаментального Атласу палеогеографічних карт 1960 року) і до більш пізніх [8, 12] і до сучасних [15] в межах цього сектора переважали два узагальнених літофаціальних комплекси – піщаний і піщанисто-вапняковий (з досить строкатими наборами підлеглих літофа-

цій). Взаємини цих літофацій в стратиграфічному інтервалі іноцерамових шарів ілюструється на прикладі площі Копитківського родовища (рис. 2). Наведена схема демонструє дві закономірності: міграції фацій і відповідних до них осадів (тобто літофацій): по площі (від субліторалі до літоралі і берегової лінії) і в часі (відображаючи послідовний розвиток трансгресії з відповідними змінами речових типів накопичення осадів).

Механізм фосфоритоутворення. Як відомо, епохи фосфоритоутворення пов'язуються з етапами великих перебудов земної кори. Ці перебудови крім власне тектонічних процесів супроводжувалися зростанням вулканічної діяльності, зміною нахилу земної осі і, відповідно, зміною гідрохімічних, гідродинамічних та інших параметрів океанічних і морських басейнів. Із зазначеного слідує ряд наступних явищ: зміна вмісту вуглекислоти в атмосфері; зміна клімату; переорієнтування глобальних океанічних і морських течій і, відповідно, систем апвелінгів; поживлення процесів гіпергенезу, що істотно для хімізму внутрішніх морів, і ін. Крім того, змінюються якісний склад і обсяг біомаси, що також відбивається на процесі фосфатогенеза. Всі ці зміни глобального і підлеглих масштабів впливали в тій чи іншій мірі і на умови Здолбунівського-Тернопільській зони фосфоритоутворення.

В сеноманський час на шельфі епіконтинентального моря в межах західного схилу УЩ продовжувала діяти велика довгоживуча зона апвелі-



Рис. 10. Палеогеографічна карта пізньосеноманського віку території України (Dercourt J. et al., 2000) [23].

Fig. 10. Paleogeographic map of the Late Cenomanian age of the territory of Ukraine (Dercourt J. et al., 2000)

нгів [8, 9, 12]. У подільській частині того моря відбувалося спрямоване переміщення поверхневих вод в південно-західному напрямку, в сторону Карпатського геосинклінального басейну. Цей процес протікав за класичною схемою: підйом холодних вод на шельф Подільської затоки – привнос з ними елементів, що забезпечують сприятливе середовище для організмів (кремнію, фосфору, сполук азоту та ін.), – сприяв розвитку високої біопродуктивності. Під час переходу в осад значних обсягів біомаси попутно створювалися умови для фосфатонакопичення. Відзначається зональність накопичення осадів. Фосфатонакопичення пов'язано з істотно карбонатними осадами шельфу - піщаними мергелями і глинисто-карбонатними пісковиками, іноцерамовими вапняками, а також з кварцево-глауконітовими пісками і пісковиками.

Принципова схема фосфато- і фосфоритоутворення, розроблена на прикладі сучасного шельфу Гвінеї в наближенні застосовна до таких стародавнього фосфоритоутворення. Відповідно до неї слід додати, що для Здолбунівського-Тернопільської зони цілком аргументовано пропонується дія додаткового до апвелінгового, джерела надходження фосфору і принесення його річковими стоками.

На основі генетичного аналізу вищерозглянутої схеми розподілу літофацій можна намітити етапність еволюції осадконакопичення на площі Копитківського родовища. У розглянутому часо-

вому інтервалі встановлюються два етапи, що відрізняються за фаціальними умовами.

Перший етап характеризується переважанням фацій літоралі. Він охоплює дві стадії. Перша стадія – заповнення палеозападин передкрейдового ложа включає дві фази: 1 – початок трансгресії, локальне осадження псефітів (галечники, гравій з жовними фосфоритів); 2 – рання трансгресія, заповнення палеозападин, відкладення псамітів кварцевого і глауконіт-кварцевого складу з домішкою глинистого і карбонатного пелітового матеріалу. Друга стадія - стабільна трансгресія. Просторово розділяються дві фації псамітової седиментації: западини (піски глауконіт-фосфорит-кварцові) і підняття-схилів (піски іноцерамово-фосфоритово-кварцові). Найбільш інтенсивне фосфоритоутворення відбувалося на схиліях рельєфу.

Другий етап – переважання фацій субліторалі, пов'язане з подальшим розвитком трансгресії. Площадне відкладення карбонатних осадків з піщаним і фосфатним матеріалом, з локальним розвитком лінзоподібних тіл істотного піщаного матеріалу з жовними фосфоритів (очевидно рецесії фацій літоралі в моменти короточасних регресій). Фосфатонакопичення відбувалося за двома генетичними (фаціальними) схемами: утворення жовнових фосфоритів в ході локальної (лінзи піщаного матеріалу) теригенної седиментації і збіднена садка фосфатної речовини при істотно

карбонатному осадконакопиченні. Переважанням другого типу накопичення осадів і визначається низька фосфоритиносність карбонатної товщі шарів іноцерамових вапняків.

Висновки. Звісно ж експериментальний зразок ЦСЛМ Копитківського родовища, розроблений на основі методичного принципу прогнозно-палеорекопструктивного ретроспективно-статистичного моделювання [7, 16], що забезпечує оптимальну адекватність моделі. Розроблена авторська модель являє багатостороннє відображення основних структурно-літологічних характеристик і функціональних властивостей даного об'єкта, як перспективного. Отримані похідні (візуалізації) ЦСЛМ відображають особливості просторової локалізації визначних функціональних (промислових) параметрів фосфоритиносної товщі - глибин, потужності і питомих запасів P_2O_5 . Продемонстровані великомасштабні похідні (карти, профілі, блок-діаграми) показують площадне розміщення локальних зон підвищених потужностей і питомих запасів корисного компонента, що представляє інтерес з точки зору варіанта геотехнологічної селективної розробки покладу. За модельними похідними прогнозується також зона

ще більш інтенсивної фосфоритиносності на північному фланзі родовища.

З огляду на стан розвіданості об'єкта (геолого-економічна оцінка на основі пошуково-розвідувальних робіт, незавершена розвідка для експлуатації першої черги), запропонована ЦСЛМ представляє лише попередній зразок, який призначається для інформаційного забезпечення детальної та експлуатаційної розвідки, з перспективою поточного розвитку моделі (як постійнодіючої) з поповненням новими даними в ході розвідувальних та експлуатаційних робіт. У числі наявних похідних є також карта гіпсометрії рівня ґрунтових вод, що представляє основу для гідрогеологічного моніторингу та розробки комплексної еколого-гірничо-геологічної моделі [29].

Особливо розглядається пізнавальний аспект виконаних досліджень, що полягає у висвітленні механізму фосфоритоутворення на схилах палеопідняття в межах Здолбунівського-Тернопільського сектора шельфу континентальної окраїни Мезотетису, що забезпечує також формулювання палеогеоморфологічного і палеогідрологічного критеріїв прогнозування нових родовищ принаймні зонального масштабу.

Список використаної літератури

1. Атлас «Геологія і корисні копалини України» / під ред. Л.С. Галецького. – ISBN966-02-2139-8. НАН України, Мінекології та природних ресурсів, ДФФД Міносвіти і науки, ТОВ УЦПТ «Геос-XXI сторіччя». Київ: – В: ДП «Такі Справи». – 2001. – 168 с.
2. Бакаєва, С.Г. Про стратиграфічне положення базального шару крейди [фосфоритиносна верства] Поділля за фауною червононогих молюсків. [Текст] / С.Г. Бакаєва // Проблеми стратиграфії і кореляції фанерозойських відкладів України: Збірник наукових праць ІГН НАН України. – Київ. – 2011. – С. 54-55.
3. Брагин, Ю.Н. Зернистые фосфориты Украины. [Текст] / Ю.Н. Брагин. – Симферополь: ИПП «Таврия», 2000. – 134 с.
4. Гаврилишин, В.И. Стратиграфические подразделения меловых отложений платформенной части запада Украины [Текст] / В.И. Гаврилишин, С.И. Пастернак, С.В. Розумейко. // Препринт АН УССР // Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых – Львов. – №91– I. – 1991. – 52 с.
5. Геоінформаційна система «К-Міне». Науково-технічне підприємство Кривбасакадемінвест. – 40 с.
6. Грузман, Г.Г. О раннемеловом этапе формирования осадочного чехла в Западном Полесье Украины. [Текст] / Г.Г. Грузман, В.И. Гаврилишин // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1972. – № 9. – С. 116-122.
7. Лаверов, Н.П. Цифровое структурно-литологическое геолого-динамическое моделирование месторождений тяжелых минералов. [Текст] / Н.П. Лаверов, П.Ф. Гожик, Д.П. Хрущев, А.В. Лаломов, А.П. Лобасов, И.А. Чижова, М.С. Ковальчук, Е.А. Ремезова, Р.М. Чефранов, А.А. Бочнева, С.П. Василенко, Т.В. Сивальнева, Е.А. Кравченко, Ю.В. Крошко // Изд. Интерсервис, Киев – Москва. – 2014. – 242 с.
8. Лецих, Р. До питання про вік та умови утворення базальних верств крейди Волино-Поділля. [Текст] / Р. Лецих, І. Мар'яш, Я. Курена // Актуальні питання геологічних досліджень в Україні: Матеріали IV всеукр. наук. конф. Львів – 2013. – С. 11–15.
9. Лецих, Р.Й. *Hoplites Dentatus Sowerby* з базальних верств крейди Волино-Поділля. [Текст] / Р.Й. Лецих, І.М. Мар'яш // Викопна фауна і флора України. Палеоекологічний і стратиграфічний аспекти. – Київ. – 2009. – С. 134–138.
10. Мінеральні ресурси України. Державне науково-технічне підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”. – 2018. – 270 с.
11. Сеньковський, Ю.Н. Фосфориты запада Украины. [Текст] / Ю.Н. Сеньковський, В.В. Глушко, А.Ю. Сеньковський – Київ: Наукова Думка, 1989. – 144 с.
12. Сеньковський, А.Ю. Электронно-микроскопическое исследование шельфов из фосфоритов мела Волино-Подолли и Предкарпатья. [Текст] / Ю.Н. Сеньковський. Геол. журнал. 1982. –Т.42. – №4 (205). – С.127-131.
13. Сеньковський, Ю.М. Головні фази фосфогенезу давніх океанічних басейнів. Розтоцько-Подільський сегмент Східноєвропейської платформи [Текст] / Сеньковський Ю., Палій В., Шехунова С. // Мат. між. наук. конф. "Сучасні проблеми літологіїосадкових басейнів України та суміжних територій". –Київ. – 2-14. – С. 80-81.

14. Стратиграфические схемы фанерозоя и докембрия Украины. УМСК Украины. Гос. комитет Украины по геологии и использованию недр. – Киев, – 1993. – 60 с.
15. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. / Гол. ред П.Ф. Гожик. ІГН НАН України. // Логос, Київ, – 2013. – Т.1. – 637 с.
16. Хрущев, Д.П. Принципы разработки цифровых структурно-литологических моделей осадочных формационных подразделений. [Текст] / Д.П. Хрущев, А.П. Лобасов // Геол. журнал – 2006. – № 2-3. – С. 90-102.
17. Шевчук, О.А. Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. [Текст] / О.А. Шевчук // Палеонтологічний збірник. Львів. – 2018. – № 50. – С. 60-72.
18. Шевчук, О.А. Зональні шкали біостратиграфічних підрозділів середньої, верхньої юри та крейди України за диноцитами. [Текст] / О.А. Шевчук // Мат. ІХ Всеукраїнської наукової конференції “Проблеми геології фанерозою України”. Львів, – 2018. – С. 13-21.
19. Шевчук, О.А. Нові дані до Зональної шкали біостратиграфічних підрозділів альбу – кампану західних регіонів платформної України. [Текст] / О.А. Шевчук // Матеріали сесії Палеонтологічного товариства НАН України. Київ, –2016. – С. 55-57.
20. Шевчук, О.А. Стратиграфія середньої юри – крейди України за мікрофосиліями: Авторефер... дисертації на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук. [Текст] / О.А. Шевчук // Інститут геологічних наук НАН України. – Київ. – 2020. – 44 с.
21. Шехунова, С.Б. Фосфорити як агрохімічна сировина: Мінералогічні та радіогеохімічні особливості фосфоритів вітчизняних родовищ. [Текст] / С.Б. Шехунова, С.М. Стадніченко, В.В. Гудзенко, В.Ю. Черненко, О.Е. Чигиринець, І.М. Астрелін, В.В. Пермяков // Збірник наукових праць ІГН НАН України. –2020. Том 13. – С. 14-28. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2020.220142>
22. Шехунова, С.Б. Наноструктури вендських та альб-сеноманських фосфоритів Придністров'я. [Текст] / С.Б. Шехунова, С.М. Стадніченко, В.М. Палій, В.В. Пермяков // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2016. – Том. 9. – С. 190-201.
23. Atlas of Peri-Tethys Palaeogeographical Maps – digital. 24 maps each with individual legend. Explanatory notes, S. Crasquin, Coordinator Editors: J. Dercourt, M. Gaetani, B. Vrielynck, E. Barrier, B. Biju-Duval, M.F. Brunet, J.P. Cadet, S. Crasquin and M. Sandulescu. Paris. – 2000. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>.
24. IGCP Project №156 «Pcosphorites». Geological correlation №11, May 1983, Paris, – P. 29-30.
25. Ivanik, O. Lithological and stratigraphic criteria for the development of geohazards within the Dniester river basin. [Text] / O. Ivanik, O. Shevchuk, S. Vasylenko // XV International Scientific Conference "Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment". – Institute of Geology of Taras Shevchenko National University of Kyiv. – 2021. – Mon-21-106. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2106>
26. Khrushchov, D.P. Theoretic basis of information support for R&D on geological environment management. [Text] / D.P. Khrushchov, O.O. Remezova, O.T. Azimov, V.V. Dolin, O.L. Shevchenko, S.P. Vasylenko // European Association of Geoscientists & Engineers // Conference Proceedings. Geoinformatics. – 2021. – P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>.
27. Komliev, O. The use of data on the material composition of sediments during forecasting works of titanium root and placer deposits. [Text] / O. Komliev, S. Bortnyk, O. Remezova, R. Spysia, S. Vasylenko, S. Zhylkin, // European Association of Geoscientists & Engineers: Conference Proceedings, Geoinformatics. 2021. – P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521163>
28. Remezova, O. Elaboration of geological and technological models for rational development of titanium deposits. / Modernization and engineering development of resource-saving technologies in mineral mining and processing. [Text] / O. Remezova, S. Vasylenko, T. Okholina, O. Yaremenko // Multi-authored monograph. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – 476 p. <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/Monograph-7.pdf>
29. Remezova, O.O. Innovative approaches to information modeling of placer deposits. [Text] / O.O. Remezova, D.P. Khrushchov, S.P. Vasylenko, O.V. Yaremenko // European Association of Geoscientists & Engineers. Geoinformatics. – 2021 – P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
30. Shekhunova, S. Phosphorite and glauconite-bearing sediments as an agricultural raw materials (central and western Ukrainian provinces objects as an example). [Text] / S. Shekhunova, S. Stadnichenko, N. Siumar, A. Baran, V. Permyakov, M. Aleksieienkova – Technical Report. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5745115>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Digital structural-lithological model and geological-genetic characteristics of Kopytkovsky phosphorite deposit

Dmytro Khrushchov¹,

DSc (Geology and Mineralogy), Professor,
¹Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,
55b O. Gonchara St., Kyiv, 01601, Ukraine;

Olena Remezova¹,

DSc (Geology), Senior Researcher, Head of the Department of Geology of Mineral Resources

Svitlana Vasylenko¹,

PhD (Geology), Senior Researcher,

Olena Shevchuk¹,

DSc (Geology), Leading Researcher,

Acting Head of the Department of Stratigraphy and Paleontology of Mesozoic Sediments,

Olga Yaremenko²,

PhD (Geology), Senior Lecturer, Department of Bioresources, Aquaculture and Natural Sciences,

²Polisy National University, 7, Staryi Blvd, Zhytomyr, 10002, Ukraine

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this publication is associated with the problem of foundation and developing a raw material base of phosphate raw material in accordance with the demand of the national agro-industrial complex.

The purpose of the publication is to develop a preliminary digital structural-lithological model (DSLМ) of the Kopytkovsky deposit, as a tool for information support of its development, as well as geological and genetic characteristics of the object as a basis for specifying the criteria for predicting deposits of this type.

This goal covers the following tasks: - presentation of methodology and research methods; - presentation of the database; - demonstration of derivatives of the created digital structural-lithological model (DSLМ) and their interpretation; - representation of functional and cognitive characteristics of the object (Kopytkovsky phosphorite deposit).

Materials and Methodology. The studies are based on two methodological principles: traditional lithological, paleo-facial, paleogeographic studies and the author's development - digital structural and lithological modeling, dialectically combined in the form of a single predictive-paleoreconstructive retrospective-static model.

Main Results. Kopytkovsky deposit belongs to the Zdolbunovskiy district of the Zdolbunovskiy-Ternopil zone of the Volyn-Podolsk Cretaceous basin of the phosphorite-bearing province of the East European platform. The indicated zone refers to the Volyno-Podillya plate, i.e the western slope of the Ukrainian shield. In the area of the Kopytkovsky deposit, layers of inoceramic limestones represent the lower stratigraphic subdivision of the Cretaceous system, lying directly on the pre-Mesozoic basement. The DSLМ of the Kopytkovsky field has been developed, intended for information support for further work on its development (detailed exploration and operation). The DSLМ database is represented by a description of 567 geological exploration wells.

Conclusions. Based on the constructed DSLМ, a number of derivatives (including visualizations) were obtained that reflect the structural and material - industrial characteristics of the field - a number of maps, profiles, as well as a block diagram of the central part of the field. The description of the most informative visualizations are given: Map of the hypsometry of the bottom of the "productive horizon", Map of the hypsometry of the roof of the "productive horizon", Map of specific reserves and others. The model derivatives reflect the spatial (areal and hypsometric) configuration of phosphorites ore bodies and the distribution of specific reserves of P₂O₅. Based on the methodological principles of formation analysis and the methodological approaches adopted by us for predictive-paleoreconstructive retrospective-static modeling of the object, a geological and genetic characteristic of the stage of formation of layers of inoceramic limestones has been obtained. The mechanism of phosphorite formation is considered. The presented DSLМ is intended for information support of detailed and operational exploration, with the prospect of the current development of the model (as a permanent one) with the addition of new data during exploration and operational work.

Keywords: Digital structural and lithological model, Kopytkovsky deposit, phosphorites, phosphate accumulation, retrospective static modeling, Ukrainian shield.

References

1. Galetsky, L.S. (Eds.) (2001). Atlas "Geology and Mineral Deposits of Ukraine". SE "Such Cases". Kyiv, 168. [in Ukrainian].
2. Bakaeva, S.G. (2011). About the stratigraphic position of the basal layer of the Cretaceous [phosphorite-bearing layer] Podillya on the gastropods fauna. Problems of stratigraphy and correlation of Phanerozoic sediments of Ukraine: Collection of scientific works of the Institute of Natural Sciences of Ukraine. Kyiv, 54-55. [in Ukrainian].
3. Bragin, Yu.N. (2000). Granular phosphorites of Ukraine. Simferopol: IPP "Tavria", 134. [in Russian].
4. Gavrilishin, V.I., Pasternak, S.I., Rozumeiko, S.V. (1991). Stratigraphic subdivisions of Cretaceous deposits of the platform part of the west of Ukraine. Preprint of the USSR Academy of Sciences. Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals. Lviv, 91 – I, 52. [in Russian].
5. Geo-information system "K-Mine". Scientific and Technical Enterprise Kryvbasakademinvest. 40. [in Ukrainian].
6. Gruzman, G.G., Gavrilishin, V.I. (1972). About the early Cretaceous stage of formation of a sedimentary cover in the Western Polesie of Ukraine. Izv. USSR Academy of Sciences. Ser. geol. 9. 116-122. [in Russian].
7. Laverov, N.P., Gozhik, P.F., Khrushchey, D.P., Lalomov, A.V., Lobasov, A.P., Chizhova, I.A., Kovalchuk, M.S., Remezova, E.A., Chefranov, R.M., Bochneva, A.A., Vasilenko, S.P., and others. (2014). Digital structural-lithological geological-dynamic modeling of heavy mineral deposits. Ed. Interservic., Kyiv - Moscow, 242. [in Russian].

8. Leschukh, R., Maryash, I., Kurepa, J. (2013). On the question of age and conditions of formation of basal layers of the Volyn-Podillya Cretaceous. Current issues of geological research in Ukraine: Materials IV All-Ukrainian. Science. conf. Lviv, 11–15. [in Ukrainian].
9. Leschukh, R.Y., Maryash, I.M. (2009). *Hoplites Dentatus* Sowerby from the basal layers of the Volyn-Podillya Cretaceous. Fossil fauna and flora of Ukraine [paleoecological and stratigraphic aspects]. Kyiv, 134–138. [in Ukrainian].
10. Mineral resources of Ukraine. (2018). State Scientific and Technical Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine". 270. [in Ukrainian].
11. Senkovsky, Yu.N., Glushko, V.V., Senkovsky, A.Yu. (1989). Phosphorites of western Ukraine. *Naukova Dumka*. Kyiv, 144. [in Russian].
12. Senkovsky, A.Yu. (1982). Electron microscopic study of shelf phosphates of Volyno-Podolia and Precarpathia. *Geol. magazine*. 42. 4 (205). 127-131. [in Russian].
13. Senkovsky, Y.M., Paliy, V.M., Shekhunova, C.B., The main phases of phosphogenesis of ancient ocean basins. Roztocko-Podilsky segment of the Eastern European platform. *Mate. between. Science. conf. "Modern problems of lithology of sedimentary basins of Ukraine and adjacent territories"*. Kyiv, 2-14. 80-81. [in Ukrainian].
14. Stratigraphic schemes of the Phanerozoic and Precambrian of Ukraine. (1993). UMSK of Ukraine. Gos. Committee of Ukraine on Geology and Subsoil Use. Kyiv, 60. [in Russian].
15. Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. (2013) Vol. 1. Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. Chief editor P.F. Gozhik. IGN NAS of Ukraine. Kyiv. Logos, 637. [In Ukrainian].
16. Khrushchov, D.P., Lobasov, A.P. (2006). Principles of development of digital structural and lithological models of sedimentary formation units. *Geol. Journal*. Kyiv, 2-3. 90-102. [in Russian].
17. Shevchuk, O.A. (2018). Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. *Paleontological collection*. Lviv, 50. 60-72. [in English].
18. Shevchuk, O.A. (2018). Zonal scales of biostratigraphic subdivisions of the Middle, Upper Jurassic and Cretaceous of Ukraine by dinocysts. *Mat. IX All-Ukrainian Scientific Conference "Problems of Phanerozoic Geology of Ukraine"*. Lviv, 13-21. [in Ukrainian].
19. Shevchuk, O.A. (2016). New data to the Zonal scale of biostratigraphic subdivisions of the Albion - Campanian of the western regions of platform Ukraine. *Proceedings of the session of the Paleontological Society of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kyiv, 55-57. [in Ukrainian].
20. Shevchuk, O.A. (2020). Stratigraphy of the Middle Jurassic - Cretaceous of Ukraine by microfossils. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Geological Sciences. Institute of Geological Sciences National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 44. 4 applications. [in Ukrainian].
21. Shekhunova, S.B., Stadnichenko, S.M., Gudzenko, V.V., Chernenko, V.Yu., Chigirinets, O.E., Astrelin, I.M., Permyakov, V.V. (2020). Phosphorites as agrochemical raw materials: Mineralogical and radiogeochemical features of phosphorites of domestic deposits. *Collection of scientific works of IGN NAN Ukraine*. Kyiv, 13, 14-28. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2020.220142> [in Ukrainian].
22. Shekhunova, S.B., Stadnichenko, S.M., Paliy, V.M., Permyakov, V.V. (2016). Nanostructures of Alb-Cenomanian phosphorites of Transnistria. *Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kyiv, 9. 190-201. [in Ukrainian].
23. Atlas of Peri-Tethys Palaeogeographical Maps – digital. (2000). Crasquin, S. (Explanatory notes), J. Dercourt, M. Gaetani, Vrielynck B., Barrier, E., Biju-Duval, B., Brunet, M. F., Cadet J.P., Crasquin S., Sandulescu M. (Editors) 24 maps each with individual legend. Paris. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>
24. IGCP Project #156 (1983). «Phosphorites». *Geological correlation №11*. Paris, 29-30.
25. Ivanik, O., Shevchuk, O., Vasylenko, S. (2021). Lithological and stratigraphic criteria for the development of geohazards within the Dniester river basin. XV International Scientific Conference "Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment". Institute of Geology of Taras Shevchenko National University of Kyiv. 2021. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2106>
26. Khrushchov, D.P., Remezova, O.O., Azimov, O.T., Dolin, V.V., Shevchenko, O.L., Vasylenko, S.P. (2021). Theoretic basis of information support for R&D on geological environment management. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings. Geoinformatics*. Kyiv, 2021, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>
27. Komliev, O., Bortnyk, S., Remezova, O., Spytzia, R., Vasylenko, S., Zhylkin, S. (2021). The use of data on the material composition of sediments during fore casting work softitaniumroot and placer deposits. *European Association of Geoscientists & Engineers: Conference Proceedings, Geoinformatics*. Kyiv, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521163>
28. Remezova, O.O., Vasylenko, S.P., Okholina, T.V., Yaremenko, O.V. (2019). Elaboration of geological and technological models for rational development of titanium deposits. *Modernization and engineering development of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph*. UNIVERSITAS Publishing. Romania, 476. <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/Monograph-7.pdf>
29. Remezova, O.O., Khrushchov, D.P., Vasylenko, S.P. and Yaremenko, O.V. Innovative approaches to information modeling of placer deposits. / *European Association of Geoscientists & Engineers. Geoinformatics*. – 2021, P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
30. Shekhunova, S., Stadnichenko, S., Siumar, N., Baran, A., Permyakov, V., Aleksieienkova, M. Phosphorite and glauconite-bearing sediments as an agricultural raw materials (central and western Ukrainian provinces objects as an example). *Technical Report*. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5745115>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 17 February 2022

Accepted 23 March 2022