

УДК 528.073

І.М. БУБНЯК¹, М.В. НАКАПЕЛЮХ², Ю.М. ВІХОТЬ¹¹Кафедра фізики Землі, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська 1, Львів, Україна, 79005²Відділ тектонофізики, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна, пр. Палладіна 32, Київ, Україна, 06380**ЗБАЛАНСОВАНИЙ ГЕОЛОГІЧНИЙ РОЗРІЗ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ
У ПЕРЕТИНІ БЕРЕГОМЕТ–БУРКУТ**

Наведені збалансований та відновлений геологічні розрізи демонструють сучасну структуру південно-східної частини Українських Карпат та кількісні параметри розвитку басейнів седиментації протягом нижньокрейдового та верхньокрейдово-палеогенового віків (~145–25 млн. р.). Збалансований розріз побудований на основі польових досліджень із використанням сучасних геологічних карт та геофізичних даних. Вони ґрунтуються на великій кількості фактичного матеріалу – опублікованого та зібраного на відслоненнях вздовж розрізу. Збір даних, опрацювання та представлення здійснювали за допомогою сучасних комп'ютерних програм та приладів. На відслоненнях заміряли елементи залягання та мезоструктури (складки, тріщини, дзеркала ковзання) безпосередньо мобільним приладом (смартфон), який укомплектований геомагнітним та гравітаційним сенсорами, GPS та фотопристроями, що дозволяє його використання як геологічного компаса, фотоапарата та навігатора. Такий підхід дозволяє збільшити точність та продуктивність праці у декілька разів. Опрацьовували зібрані дані у стаціонарних умовах, із використанням програми MOVE™ фірми-розробника Midland Valley. Це дає можливість створювати базу даних у атрибутивному, векторному та растровому вигляді із реальними координатами, що сприяє інтерактивній побудові збалансованих розрізів з можливістю редагування чи додавання даних у будь-який момент процесу побудови. Подання результатів можливе у багатьох форматах, дво- та тривимірних, що забезпечує краще сприйняття інформації. Результати проведених досліджень показують механізми утворення акреційної призми та параметри формування басейнів осадконагромадження. Ширина басейну осадконагромадження, що встановлена на основі відновленого розрізу, щонайменше становить 401 км, що значно більше, ніж припускалося у попередніх дослідженнях. Скорочення басейну седиментації в результаті складчасто-насувного процесу становить 79,4 %, з величиною денудації відкладів 70,2 %. Одержані результати свідчать про особливості стилю регіональної тектоніки, а саме – тонко-шаруватий стиль, що передбачає складчасто-насувні процеси у верхній частині земної кори (осадковому чохла) без істотного залучення в процеси формування акреційної призми порід фундаменту. Також, отримані результати дослідження дають можливість порівнювати різноманітні параметри моделей, які побудували інші автори, не тільки на якісній, але і на кількісній основі.

Ключові слова: збалансований розріз; Зовнішні Карпати; складчасто-насувний пояс; акреційна призма; басейни осадконагромадження.

Вступ

Дахлстром [Dahlstrom, 1969] вперше застосував термін “балансування” для геологічних перетинів, у яких довжина та потужності шарів є незмінними як в деформованому, так і в додеформованому станах із деякими застереженнями. Відтворення (палінспастична реконструкція) до недеформованого стану є одним із методів балансування геологічного розрізу. У більшості підходів реконструкція є необхідним елементом під час балансування. Палінспастичний розріз не обов'язково є збалансованим. За визначенням Дахлстрома [Dahlstrom, 1969] та Д. Еліота [Eliot, 1983] збалансований розріз повинен відповідати таким критеріям:

- 1) бути точним, він повинен відповідати наявним даним;
- 2) прийнятним, тобто погоджуватись з структурною геометрією в локальному масштабі або з аналогічних районів (зазвичай природних, деколи експериментальних або теоретичних);
- 3) відновлювальним, тобто його можна повернути до недеформованого стану (в один або декілька етапів);

4) відновлення повинно продемонструвати “баланс” визначених параметрів, наприклад, довжину шарів або площ у перетині розрізу.

Важливим за такого підходу є не ідеальний збіг визначених параметрів, а пояснення незбігу цих параметрів. На практиці, термін “балансування” часто розуміється як збереження довжини і/або збереження площі – використання близьке до початкового поняття Чемберлена [Chamberlin, 1910], а термін “дійсний” застосовують до структури, що відповідає цим критеріям.

Попередні дослідження

Усі геологічні карти, які видавались дотепер, супроводжуються геологічними розрізами. Ці розрізи, тою чи іншою мірою, можуть бути віднесені до категорії збалансованих в регіональному масштабі, але в локальному масштабі вони, зазвичай, не балануються.

У 1993 р. французькі дослідники [Roure et al. 1993] побудували кінематичну модель фронтальної частини Покутських Українських Карпат –

Бориславо-покутського та Скибового покривів. Ці дослідження, загалом, ґрунтувались на карті масштабу 1:200 000 [Шакін, 1977] без детальних польових досліджень. Ґрунтуючись на геологічних розрізах, що наведені на зазначеній карті, дослідники провели пряме моделювання (forward modelling), що дало змогу встановити деякі параметри басейнів, а саме, початкова ширина вздовж перетину після відновлення становить 250 км при сучасній довжині профілю 117 км, що становить 53,2 % скорочення.

З часу опублікування цієї роботи минуло понад 20 років. За цей час проведені нові детальні геолого-знімальні роботи, проведена переінтерпретація геологічних даних та побудовані нові геологічні карти масштабу 1:100 000 [Шлапінський, 2007], а також велика кількість пошуково-розвідувальних робіт та сейсмічних зондувань. Це спричинило появу нових уявлень про структуру цієї території.

Для румунської території в результаті детальних структурних досліджень, побудовано 14 збалансованих геологічних розрізів, без їх палінспастичної реконструкції, зосереджуючи основну увагу на дослідженнях еволюції полів напруження [Matenco et al. 2000].

Для території Польщі побудовані два збалансованих геологічних розрізи з такими результатами: основним типом скорочення був *riggy-back* процес; основні механізми утворення насувів – *fault-bend-fold* та *fault-propagation-fold*; встановлені головні етапи розвитку акреційної призми [Nemčok et al., 2000].

Нові дослідження з балансування Західних Карпат проведені для території Польщі у 2012 році [Gagała et al., 2012]. Члени міжнародної групи дослідників побудували збалансований геологічний розріз через передовий прогин та усі Зовнішні Карпати, а також провели пряме моделювання (forward modeling) із зазначенням швидкостей переміщення на етапах розвитку акреційного клину, та встановили, що басейн седиментації скоротився на 72,8 %.

Ці збалансовані розрізи будувались для характеристики сучасної структури акреційної призми, визначення початкових конфігурацій осадових басейнів та величини їх скорочення [Behrman et al., 2000; Morley, 1996; Nemčok et al., 1999, 2000, 2001, 2006a; Roca et al., 1995; Roure et al., 1993; Ganga et al., 2012]. Отримані результати в комбінації з іншими даними дали змогу вивчити механізми та етапи розвитку структури Карпат та їх передового прогину.

Район дослідження

Район дослідження знаходиться в південно-східній частині Зовнішніх Українських Карпат та у Передкарпатському передовому прогині (рис. 1).

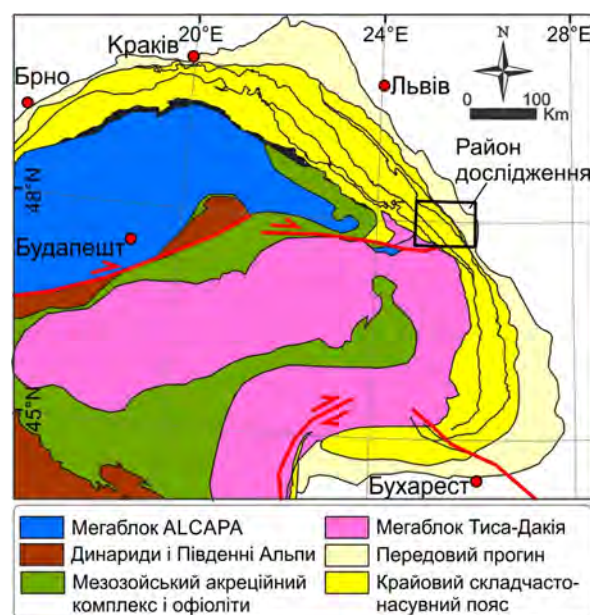


Рис. 1. Тектонічне положення досліджуваного району

Розріз перетинає моласовий комплекс прогину, складчасто-насувні флішові утворення та фронтальну частину кристалічних порід Мармароського масиву Внутрішніх Карпат.

Басейни Карпат відкривались діахронно між триасом та пізньою юрою в результаті рифтогенезу європейської частини Пангеї і розділення Європейської та Африканської літосферних плит. [Csontos and Vörös, 2004; Golonka et al., 2006; Schmid et al., 2008]. Впродовж крейди та палеогену відбувалося інтенсивне нагромадження флішових відкладів, після чого в процесі колізії східно-європейської плити під блоки Алькапа та Тиса-Дакія сформувалася акреційна призма Карпат.

У роботі використано тектонічний поділ Українських Карпат за В. Шлапінським та В. Кузовенком [Шлапінський, 2012]. Згідно з цією тектонічною схемою українська частина Карпат ділиться на Зовнішні та Внутрішні Карпати. Перед фронтом Карпат розташований Передкарпатський передовий прогин, у тильній частині – Закарпатський прогин. Передкарпатський прогин складається з Більче-Волицької зони (Зовнішня зона) та Самбірського і Бориславсько-Покутського покривів (Внутрішня зона). Українські Зовнішні Карпати в межах досліджуваного району діляться на такі покриви: Скибовий, Кросненський, Дукляно-Чорногірський, Буркутський, Рахівський. Мармарошський кристалічний масив належить до Внутрішніх Карпат (рис. 2).

Методи та дані

Методика побудови збалансованих розрізів доволі добре розробили геологи. Детальні описи методів та підходів побудови збалансованих розрізів подані в низці підручників та наукових статей. Серед інших слід назвати підручники зі

структурної геології, авторами яких є Х. Фоссен [Fossen, 2010] та Д. Рамсей [Ramsay et al, 1987]. Декілька спеціальних випусків журналу Journal of Structural Geology присвячені тематиці створення збалансованих розрізів [Journal of Structural Geology, 1987, 2012]. Існувала лише одна робота

методичного характеру на теренах СРСР, що присвячена цій тематиці – робота В. Гайдука та А. Прокоп'єва [Гайдук & Прокоп'єв, 1999]. У цій роботі автори реферують багато західних публікацій, присвячених складчасто-насувним поясам та методам їх досліджень.

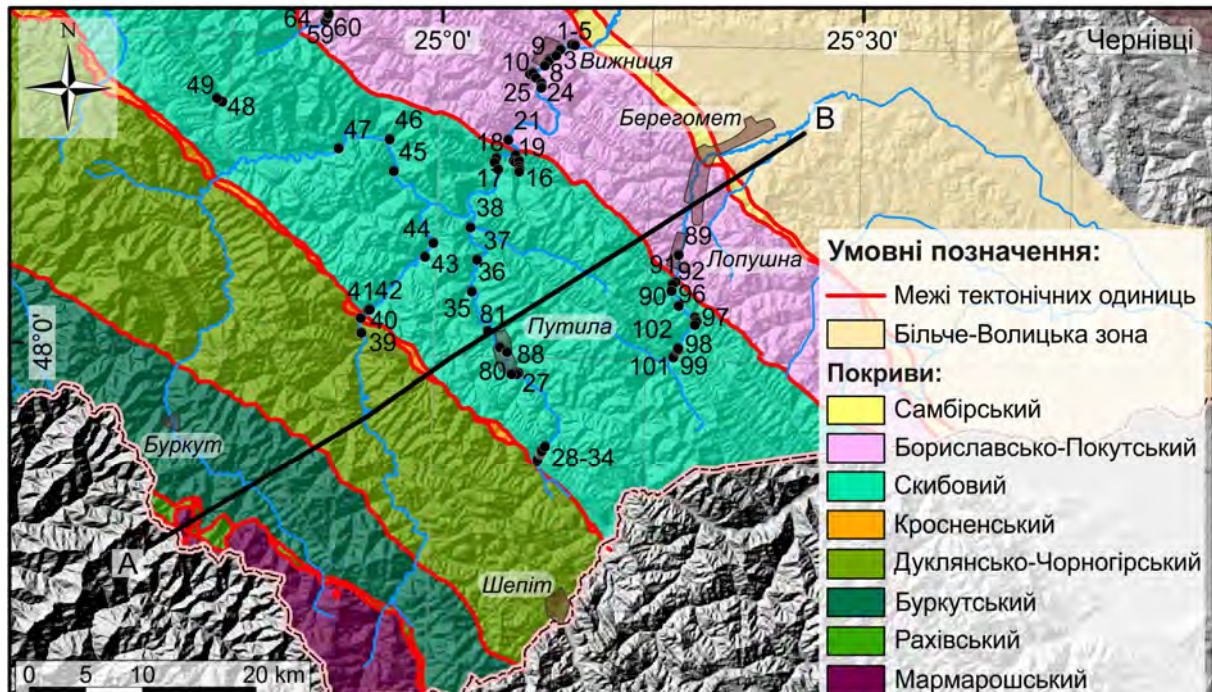


Рис. 2. Тектонічна карта району досліджень, положення лінії геологічного розрізу та точки спостережень

Метод побудови збалансованих геологічних розрізів полягає в наступному. Як і звичайний геологічний розріз, збалансований розріз розкриває глибинну геологічну будову району дослідження. Головною відмінною цих розрізів є спосіб їх побудови. Збалансований розріз повинен бути побудований так, щоб довжина ліній та площа перетину зберігались при відтворенні до деформованого стану, тобто горизонтального залягання шарів порід. Під час побудови та відновлення використовують спеціальні алгоритми переміщення шарів порід по площині розлому. Ці алгоритми розроблені на основі вивчення механізмів утворення різноманітних структур в осадових товщах. За однакової величини переміщення шарів по розломі утворюються різні структури. На рис. 3 показано початковий розріз та три алгоритми переміщення шарів по площині розлому з кутом нахилу 30° (рис. 3):

– *trishear*, за допомогою цього алгоритму можна деформувати шари порід у трикутниковій зоні сколювання, де величина зсуву змінюється за вибором користувача на поверхні зони до нуля в основі зони, напрям переміщення змінюється від паралельного до падіння розлому на поверхні зони до паралельного в основі зони біля нижньої границі зони [Hardy & Ford, 1997]. Інші змінні (варіації), що контролюють процес – кут трішер (або кут між поверхнею та основою зони), кут зони трішера

утворює з поверхнею розлому та пререміщенням до величини переміщення (P/S величина). Площа зберігається під час деформації. За межами трішер зони шари в висячому крилі деформуються за допомогою алгоритму Fault Parallel Flow.

fault-propagation-fold. Алгоритм Fault Propagation Fold ґрунтується на роботі Саппе і Медведєва, [Suppe & Medwedeff, 1990] і використовується для пояснення зв'язку асиметричних складок з одним крутим або перевернутим крилом та насувів. Шари в тильному крилі зберігають потужність, у той час, як в передовій частині вони можуть потовщуватись або потоншуватись при розвитку розлому та обертанні шарів. Алгоритм дозволяє використовувати обидва підходи у побудові моделей – збереження потужності та фіксація осей, тоді як властивості міграції складки зберігаються.

– *fault-band-fold*. Ця модель припускає, що деформація висячого крила контролюється геометрією підстилаючого розлому [Suppe & Medwedeff., 1997]. Користувач може контролювати величину переміщення висячого крила по розлому та розташування, де може знаходитись новий перегин шарів. Цей алгоритм дає змогу створювати складні моделі геометричних структур насувних систем і може враховувати осадконагромадження синтектонічних шарів та враховувати ефект ерозії.

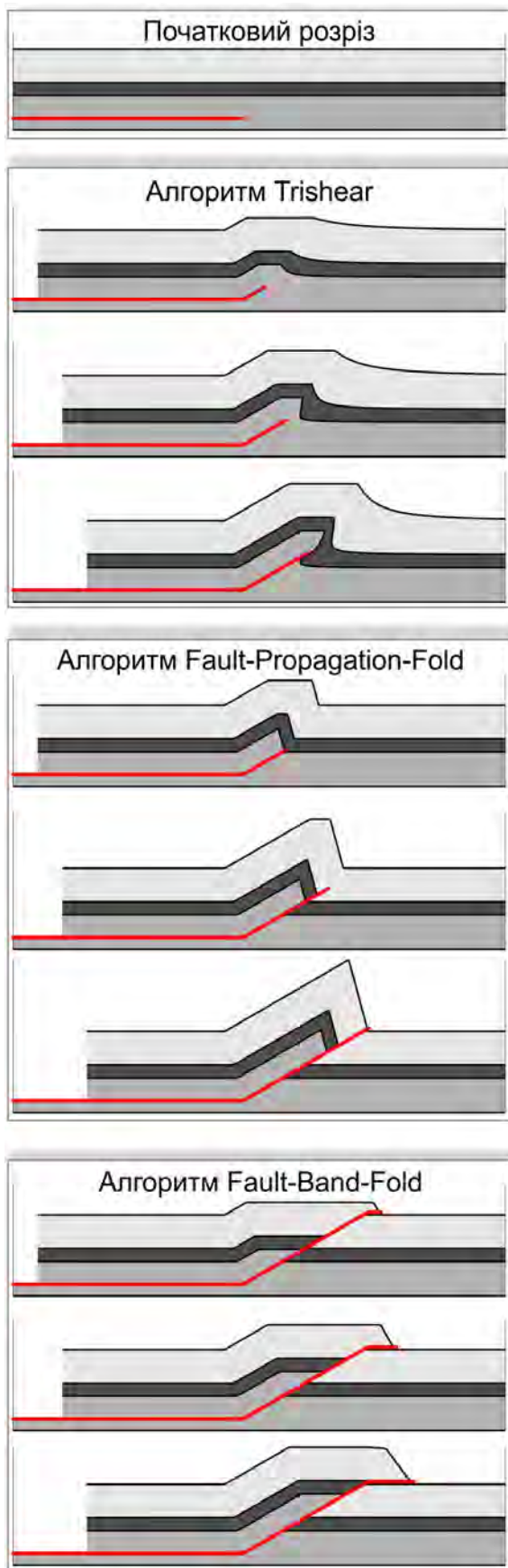


Рис. 3. Типи алгоритмів переміщення

Сучасні підходи передбачають використання комп'ютерних програм для побудови збалансованих розрізів. Комп'ютерні технології використовують на всіх етапах проведення досліджень, від збору даних до їх обробки та візуалізації результатів.

У цій роботі використано програмне забезпечення MOVE™, фірми-розробника Midland Valley, наданої в межах комп'ютерної академічної ініціативи (Academic Software Initiative). Ця програма надає широкий спектр можливостей використання сучасних технологій у польових та стаціонарних умовах, що забезпечує збільшення продуктивності праці та точність результатів.

Для побудови збалансованого геологічного розрізу були використані дані польових структурних досліджень (розташування геологічних границь та порушень, елементів залягання). Також використовувались класичні геологічні карти масштабу 1:100000 [Шлапінський, 2007], геологічний розріз до цієї карти та сейсмічна інтерпретація для побудов глибинних ділянок збалансованого розрізу. База даних складається з матеріалів, опублікованих в літературі, даних буріння і польових досліджень.

Структурні дані

Під час проведення польових досліджень зібрані такі дані в 74 точках спостережень:

- елементи залягання різноманітних структур (розломів, складок), описано їх морфологічні типи;

- для встановлення історії деформацій замірялися тріщини та дзеркала ковзання, та вивчалися їх співвідношення з складками та насувами;

- геологічні границі, а також структури першого порядку (складки, насуви) отримані із зазначених вище карт;

- топографічний профіль для збалансованого розрізу отриманий із цифрової моделі рельєфу супутникової радарної зйомки [SRTM].

Геофізичні дані

Автори використали геофізичний профіль – Тектонічна структура земної кори Покутсько-Буковинських Карпат по регіональному профілю РП-5 (г. Чивчин – с. Диновці). З цього профілю одержано глибину залягання детачменту (поверхні зриву) акреційної призми та положення границь між покривами.

Дані буріння

Дані щодо потужностей стратиграфічних горизонтів були отримані із розвідувальних та пошукових свердловин, а також літологічні характеристики флішових відкладів району досліджень.

Геологічна будова південно-східної частини Українських Карпат

Незважаючи на спільний стиль тектоніки, притаманним усім Складчастим Карпатам є те, що вирізняє їхні окремі ділянки. При детальному

аналізі структури алохтону простежується його поділ у поздовжньому напрямку на три тектонічні сегменти або мегаблоки, вдало названі В.В. Глушком Лемківським, Бойківським і Гуцульським, які орієнтовані поперек простягання Українських Карпат [Шлапінський, 2012]. На дрібно- та середньомасштабних картах і тектонічних схемах вони виразно розмежовуються. Наприклад, в їхніх межах ширина Скибового покриву відчутно змінюється.

Границю між Бойківським і Гуцульським блоками можна провести, приблизно, по лінії Слобода-Рунгурська-Ясіня. Про ранг цієї лінії розділу свідчить той факт, що південно-східніше від неї відбувається поява на поверхні Покутсько-

Буковинських складок, а також замикання Чорногірського покриву (рис. 5).

Більче-Волицька (Зовнішня) зона Передкарпатського прогину – типова платформова структура, яка виникла на платформі. Потужність відкладів верхньомоласового комплексу становить 2000 м, з максимальною потужністю перед фронтом насуву. Фундамент зони, опущений системою скидів амплітудою від 100 до 1000 м.

Самбірський покрив складений нижньо- та верхньомоласовими відкладами, що насунуті на Більче-Волицьку зону. У цьому перетині в результаті складчасто-насувного процесу, покрив зазнав значної денудації. Внутрішня структура Самбірського покриву вивчена не достатньо.

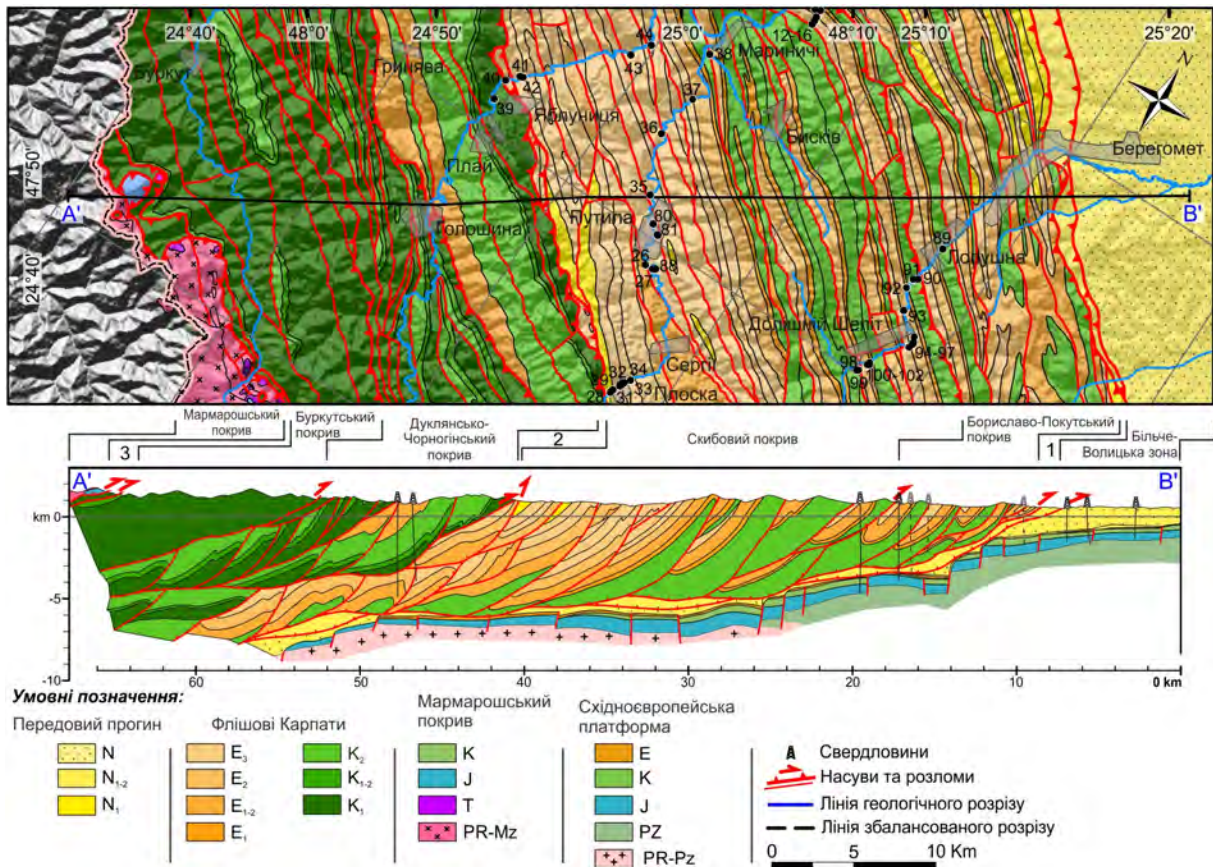


Рис. 4. Геологічна карта та розріз (за В. Шлапінським)

Бориславо-Покутський покрив в цьому перетині представлений Покутсько-Буковинськими складками. Це крупна структурна одиниця цього покриву відрізняється структурною будовою від північно-західної частини цього покриву завдяки порівняно невеликій глибині залягання фундаменту, на який насунувся покрив та значним виведенням на поверхню в результаті ерозії.

Скибовий покрив. У складі Скибового покриву ще К. Толвінський виділяв 7 скиб з північного сходу на південний захід: Берегову, Орівську, Сколівську, Парашки, Мальманстальську, Зелем'янки, Рожанки. Пізніше була виділена найвнутрішня Славська скиба. У нашому перетині

виділяють скиби: Орівську, Сколівську, Парашки, Зелем'янки та Рожанки.

Кросненський покрив в перетині представленого розрізу виходить на поверхню смугою шириною до 1 км і майже повністю перекривається Дуклянсько-Чорногірським. Він як і попередньо описаний Скибовий покрив має насувну структуру, ускладнену структурами нижчих порядків.

Дукляно-Чорногірський покрив складається з двох субпокривів – Скупівського та Говерляньського. Його ширина на перетині має 15 км і він утворює найвищу частину Українських Карпат – Чорногірський хребет. У будові покриву беруть

участь породи віком від нижньої крейди до палеоцену.

Буркутський покрив – це найкрупніший і найпротяжніший структурний елемент внутрішніх флішових покривів Українських Карпат. Він простежується від румунського кордону до басейну р. Туриця. З південного заходу його перекриває Рахівський покрив, а там, де останній виклинюється, – Вежанський субпокрив Мармарошського покриву. У північно-східному напрямку Буркутський покрив насунутий на Дуклянсько-Чорногірський, а в петроському перетині – і на крейдові утворення Свідовецької ділянки Бітлянського субпокриву Кросненського покриву.

Рахівський покрив є найбільш внутрішнім структурним елементом Зовнішніх Карпат. З південного сходу на північний захід в Чивчинах він простежується дуже вузькою смугою, розширюється в Румунії [Patrulus at al., 1968] і досягає максимальної ширини в басейні р. Шо-

пурка (7 км). Внутрішня будова Рахівського покриву фактично не визначена. Відсутність в одноім'яній світі маркуючих горизонтів і дрібна складчастість заважають розшифрувати її будову за елементами залягання. Крім крупних складок часто можна спостерігати дрібні, ширина яких становить перші метри. Ці складки різноманітного морфологічного типу, часто ізоклінальні. Рахівський покрив є продовженням “верхнього внутрішнього покриву” зони Чахлеу Румунії [Ionesi L., 1971, Patrulus at al., 1968].

Стратиграфічний розріз досліджуваного району представлений флішовими відкладами від ранньої крейди до середнього міоцену. Потужність товщі становить понад 4,5 км. При побудові збалансованого розрізу ми використовували схему поділу товщі на світи. Такий підхід дає можливість розчленовувати флішову товщу на окремі одиниці для детальної побудови геологічної карти і розрізів (рис. 4).

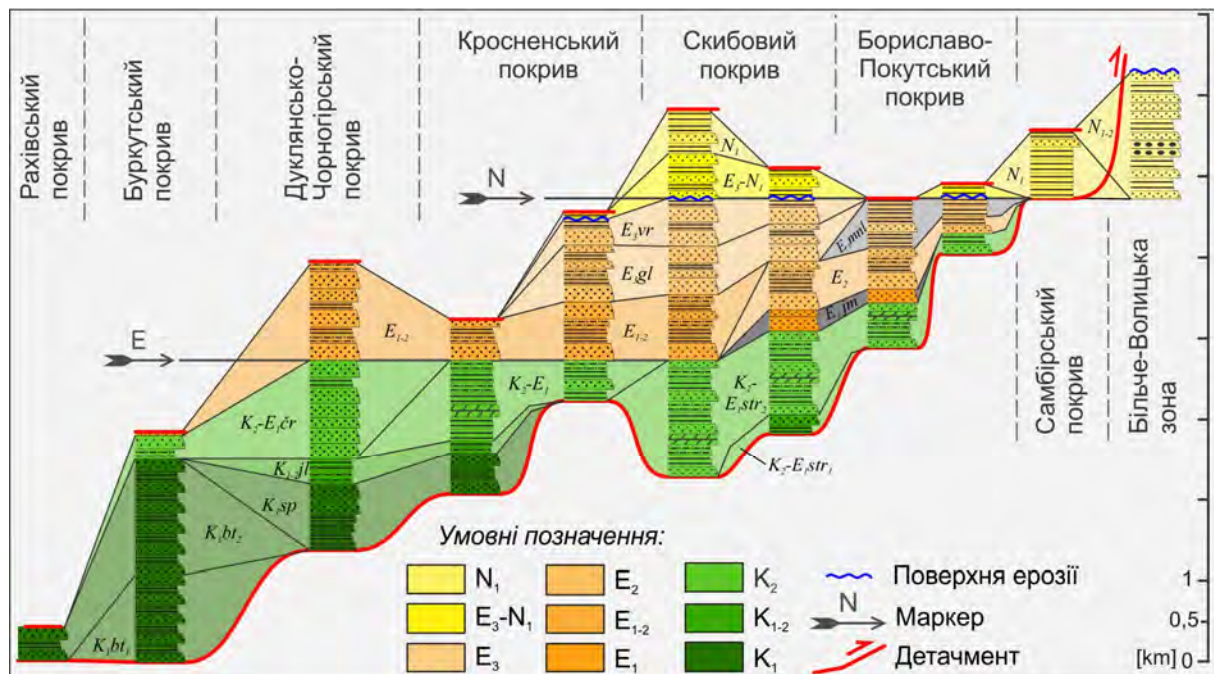


Рис. 5. Стратиграфічна схема відкладів південно-східної частини Українських Карпат

Крейдова система

Нижній відділ (K₁)

Рахівська світа (K₁ rh) складається з нижньої підсвіти (250 м), представленої середньо- та дрібнозернистим піщаним флішем, в складі якого дуже рідко зустрічаються вапняки, та верхньої підсвіти (близько 200 м), що характеризується наявністю вапняків і мергелів з ознаками підводних зсувів. У цій частині розрізу в басейні обох Черемошів простежується бриловий горизонт, який продовжується на територію Румунії. Це олістостромова товща з олістолітами діабазів і інших екзотичних порід, які присутні “in situ” на Мармарошському масиві (розміри олістолітів – до сотень метрів). Вік світи на

підставі вивчення молюсків і форамініфер-валанжин-готерів. Потужність 450 м.

Спаська світа (K₁ sp). Темноколірні утворення спаської світи представлені чергуванням аргілітів чорних і темно-сірих, часто кременистих, некарбонатних з вицвітами ярозиту; алевролітів і пісковиків дрібнозернистих, темно-сірих, кременистих, некарбонатних. Зустрічаються пласти сидеритових мергелів, кременів, зрідка гравелітів і конгломератів. Вік світи на підставі вивчення молюсків і форамініфер – барем-альб. Потужність становить 1600 м.

Білотисенська світа (K₁ bt) представлена монотонною товщею вапнистих порід переважно сірого кольору: аргілітів, алевролітів і пісковиків (до 2,5 м), рідше мергелів. Широко розповсюджені

пісковики та алевроліти з конволютною (підводно-зсувною) шаруватістю. Характерна наявність у розрізі потужних пачок пісковиків. На окремих ділянках розповсюджені конгломерати. Вік світи визначається за численними знахідками мікро- та макрофауни як баррем-верхньоальбський. Потужність світи становить 1000–1500 м.

Нижній-верхній відділи (K_{1-2})

Яловецька світа ($K_{1-2} jl$) згідно залягає над пісковиками верхньоспаської підсвіти. Мало-потужна перехідна пачка, представлена тонкоритмічним чергуванням аргілітів і алевролітів зелених, кременистих, з підпорядкованими прошарками аргілітів темно-сірих до чорних. Вік світи визначено як альб-сантон. Потужність світи становить 170 м.

Верхній відділ (K_2)

Чорноголовська світа ($K_2-E_1 ch$) складена пісковиками сірими різнозернистими з прошарками гравелітів, конгломератів, алевролітів та груборитмічним темно-сірим флішем з грубошаруватими пісковиками, що формують значну частину Дуклянського та Чорногорського покривів. Вік світи визначено як кампан-дат. Збережена потужність світи становить 170 м.

Стрийська світа. Її поділяють на три підсвіти: нижню, середню і верхню ($K_2 str_1$, $K_2 str_2$, $K_2-E_1 str_3$), базується на виділенні між подібними нижньою та верхньою – середньою підсвіти, у складі якої переважають пісковики або груборитмічний піщаний фліш. Нижня частина представлена ритмічним чергуванням пісковиків і аргілітів з участю мергелів і вапняків, де переважають пачки тонкоритмічного перешарування цих порід, розділені піщаними пачками. Пісковики сірі та сталеві-сірі, дрібнозернисті, тонкоплитчасті, карбонатні. Середньострийська підсвіта складена пісковиками з прошарками аргілітів або груборитмічним флішем. Пісковики сірі або блакитно-сірі, дрібно-, середньо- і крупнозернисті, карбонатні з численними кальцитовими жилками, дуже міцні. Верхньострийська підсвіта складається з тонкоритмічного перешарування аргілітів сірих, темно-сірих, сіро-зелених, вапнистих і невапнистих. Потужність світи становить 1000–1500 м.

Палеогенова система

Палеоцен (E_1)

Ямненська світа ($E_{1-2} jm$) – це сіро- і зеленувато-сірі пісковики дрібно-, крупнозернисті переважно невапнисті, масивні, брилові, у вивіреному стані буровато-жовті. Характерною особливістю є їх різнозернистість і велика кількість включень молочно-білого кварцу, уламків метаморфічних порід. Пласти пісковиків, які досягають потужності до 20 м перешаровуються тонкими шарами аргілітів сірих і зеленувато-сірих, переважно невапнистих. Вік світи визначено як даній-танет. Загальна потужність світи до 180 м.

Еоцен (E_{1-2})

Палеоцен нерозчленований представлений пісковиками сірими, переважно середньогрубозернистими, поліміктовими, слюдистими, некарбонатними, масивними і товстошаруватими, інколи бриловими. Потужність окремих пластів від 0,5–2 до 7 м. Вони розділені прошарками аргілітів зеленувато-сірих, сірих і темно-сірих, некарбонатних (до 0,2 м) і алевролітів зеленувато-сірих, некарбонатних, плитчастих (до 0,15 м) або деколи пакетами тонкоритмічного чергування цих порід. Вік комплексу за даними мікрофауни – палеоцен-середній еоцен (танет-пріабон). Потужність – 800–900 м.

Олігоцен (E_3)

Головецька світа ($E_3 gl$) – з перевагою пісковиків кварцевих, світло-сірих, сірих і темно-сірих, дрібнозернистих, слюдистих, вапнистих і невапнистих, міцних та темноколірна менілітоподібна глиниста товща. Повна потужність світи 700–800 м.

Верховинська світа ($E_3 vr$) – складена пачками товстошаруватих пісковиків, середньоритмічним чергуванням сірих, вапнистих аргілітів, алевролітів і звивистошаруватих, дрібнозернистих пісковиків. Потужність більше ніж 2000 м.

Менілітова світа ($E_3 mnl$) – тонкоритмічного чергування аргілітів чорних і коричневих, некарбонатних, тонкоплитчастих, під час вивірювання з яскраво-жовтими вицвітами ярозиту і дрібними кристалами гіпсу на площинах нашарування. Вік світи визначено як рюпель-хат. Потужність світи 200 м.

Неогенова система

Міоцен (E_3-N_1)

Полянська світа ($N_1 pl$) представлена чергуванням аргілітів сірих, попелясто- і зелено-сірих, вапнистих з прошарками глин, пісковиків сірих і зеленувато-сірих, олігоміктових, від дрібно- до середньозернистих, карбонатних. Вік світи визначено як хат-аквітаній. Потужність світи становить 900 м.

Збалансований та відновлений розрізи

Збалансований розріз демонструє геологічну структуру південно-східної частини Українських Карпат, що побудований згідно з зібраним фактичним матеріалом.

Основою для побудови збалансованого розрізу є геологічна карта та геологічний розрізи представлені на рис. 5 та спостереження, проведені на відслоненнях.

В результаті побудови та відновлення збалансованого розрізу до недеформованого стану (рис. 6) були встановлені кількісні параметри осадового басейну та його скорочення: довжина реставрованого розрізу – 401 км. Ширина складчасто-насувного комплексу – 55,5 км, що становить 20,6 % від початкової ширини флішового басейну. Скорочення басейну осадо-нагромадження становить – 79,4 %, величина денудації становить 70,2 % (таб. 1).

Таблиця 1

Кількісні параметри, величини скорочення та денудації басейнів осадконагромадження

№	Покриви	Сучасна ширина [км]	Реставрована ширина [км]	Скорочення [%]	Денудація [%]
1	Більче-Волицька зона	58,0	58,0	0,0	78,5
2	Самбірська зона	34,3	36,9	7,0	88,3
3	Бориславсько-Покутський	20,4	51,7	60,5	78,8
4	Скибовий	29,4	56,9	48,3	56,5
5	Кросненський	38,4	72,0	46,7	65,1
6	Дуклянсько-Чорногірський	37,8	70,3	46,2	67,8
7	Буркутський	24,2	38,4	51,1	68,1
8	Рахівський	8,1	11,1	1,2	95,4
ЗАГАЛЬНИЙ РОЗРІЗ		55,5	401	79,4	70,2

Відновлення ґрунтується на припущенні, що відстань проміжків між покритвами є мінімальна. Ці проміжки не завжди показують реальні контакти двох покриттів чи лусок, адже під час їх насунання фронтальна частина виходить у область ерозії і денудується, що при реставрації показує меншу ширину басейну. Такі процеси характерні для усіх покриттів, їх величина змінюється найбільше у Рахівському покритті (~50%).

Більче-Волицька (Зовнішня) зона Передкарпатського прогину характеризується субгоризонтальним заляганням моласових утворень, що не зазнали переміщень у процесі орогенезу (pin points a–b). У результаті насунання покриттів, фундамент разом із Більче-Волицькою зоною по системі скидів зазнали опускання до глибини 7,5 км. У цьому перетині максимальна глибина занурення фундаменту становить 10 км. Ширина виходу на поверхню зони становить 27,3 км (6,9 км в межах розрізу). Під час складчасто-насувного процесу, а також частково і моласового осадонагромадження, фундамент під прогином зазнав навантаження, в результаті чого розвинулась система скидів амплітудою 100–1500 м. Характер її прояву (амплітуда) зумовив розчленування структури басейну на суббасейни. На такі переміщення Більче-Волицька зона реагувала пластичною деформацією, а фундамент – крихкою (скиди).

Після відновлення переміщень блоків фундаменту по системах скидів його глибина залягання становить 3,5–4 км нижче, весь об'єм заповнили моласові відклади загальною потужністю понад 4 км, які, починаючи з бадену, вийшли на поверхню ерозії.

Наявність міоценових відкладів, що залягають на розмитих флішових відкладах Скибового і Бориславо-Покутського покритвах, вказує на те, що загальна ширина моласового басейну була понад 200 км та зі стратиграфічною перервою перекривала осадовий чохол фундаменту Східно-європейської платформи в передовому прогині.

Ширина Більче-Волицької зони становить 58 км (в межах розрізу), яка після реконструкції залишається незмінною. Об'єм денудації становить 70,2 %, що пов'язано з розвитком насувного процесу і виведенням значних об'ємів моласових відкладів прогину в область інтенсивної ерозії.

Самбірський покритв в результаті складчасто-насувного процесу зазнав переміщень та значних деформацій, і відносно тонкою смугою, як в розрізі, так і на карті, розділяє Більче-Волицьку зону та Бориславо-Покутський покритв (pin points c–d).

Між Самбірською зоною і Бориславо-Покутським покритвом була розвинута система скидів амплітудою 500–1500 м, що розмежувала флішовий та моласовий басейни. Це добре видно на відтвореному розрізі (рис. 6).

Ширина Самбірського покритву становить 34,3 км, після реставрації 36,9 км. Тут фронтальна частина значно денудована і неможливо встановити повну величину скорочення. Як і Більче-Волицька зона, так і Самбірський покритв зазнали значної денудації (88,3 %), що також спричинено насувними процесами.

Бориславо-Покутський покритв зазнав великих переміщень, в результаті яких виведений на значний рівень ерозійного зрізу, утворюючи специфічну для покритву Покутсько-Буковинську структуру, яка складається з серії лусок, насунутих одна на одну, при цьому утворюючи серію антиклінальних складок, в яких ядерна частина складена крейдовими та палеогеновими, а на периферії крил – міоценовими відкладами, що добре видно на геологічних картах різного масштабу (pin points e–f). На відміну від Скибового покритву, у Бориславо-Покутському покритві луски є дрібнішими (відстань між насувами ~6 км). Це може бути зумовлено тим, що потужність відкладів у цьому басейні була більше ніж 3 км, де потужність верхньокрейдових відкладів (компетентного комплексу) становила всього 0,6 км.

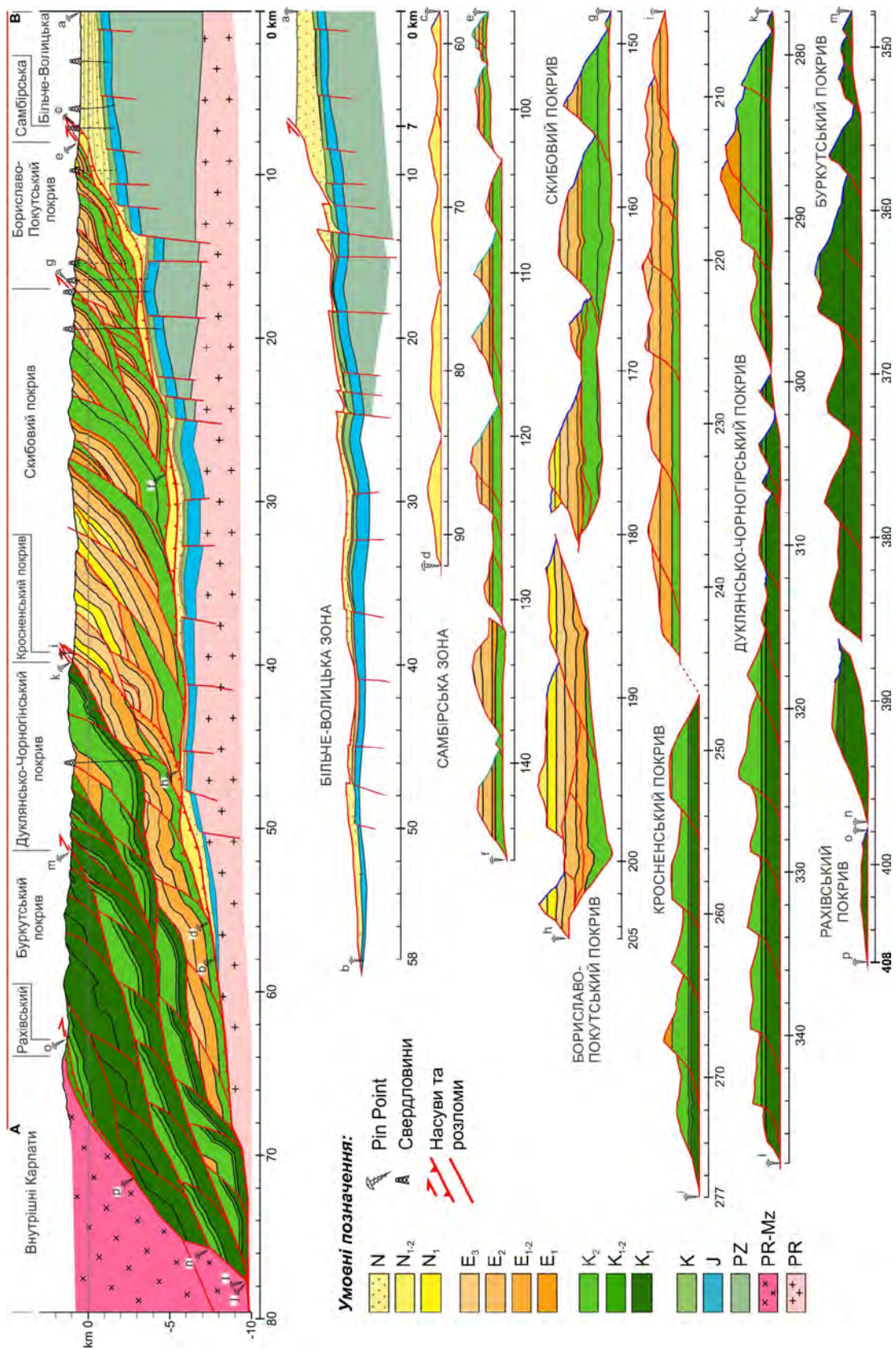


Рис. 6. Збалансований та відновлений розрізи

У сучасному стані ширина Бориславсько-Покутського покриву становить 20,4 км, а після реставрації 51,7 км, що відповідає 60,5 % скорочення цього басейну седиментації в результаті складчасто-насувного процесу. При цьому денудація покриву становить 78,8 %, чому сприяло підняття фундаменту, що описане вище.

Скибовий покрив являє собою класичну скибову структуру, у якій беруть участь породи віком від верхньої крейди до неогену (pin points g–h). Характерним є те, що фронтальна частина покриву складена переважно верхньокрейдowymi та палеоценовими відкладами, а тильна частина покриву – олігоценowymi та міоценовими. У цьому перетині виділяють 5 скиб: Орівську, Сколівську, Парашки, Зелем'янки та Рожанки. Збережена потужність відкладів басейну понад 4 км, серед яких верхньокрейдові та палеоценові переважно піщані (компетентні) відклади становлять більше ніж 2 км. У Скибовому покриві збільшуються розміри лусок, що становлять покрив, відстань між насувами яких у реставрованому розрізі в середньому становить 10 км. Також у стратиграфічному розрізі присутні міоценові відклади, які підтверджують, що розвиток складчасто-насувних процесів відбувався з південного-заходу на північний схід, і після виходу на поверхню ерозії тильних покривів, що знаходяться на південній-схід від Скибового покриву, еродований матеріал (моласи) зносився і відкладався на флішовій основі Скибового і Бориславо-Покутського басейнів та Передкарпатському прогині, про що зазначалось вище.

Ширина Скибового покриву становить 29,4 км, після реставрації 56,9 км. Денудація у цьому покриві становить найменше значення серед інших частин розрізу і становить 56,5 %, при скороченні басейну на 48,3 %.

Кросненський покрив у цьому перетині складений з двох субпокривів: Скупівського і Говерляньського (pin points i–j). Перший – переважно представлений палеогеновими та верхньокрейдowymi відкладами. Другий складений майже повністю крейдowymi утвореннями. У межах досліджуваного району тонкою, переривчастою смугою виходить на поверхню і повністю перекривається Дуклянсько-Чорногірським покривом.

Ширина Кросненського покриву становить 38,4 км, після реставрації 72,0 км. Денудація становить 65,1 %, при скороченні басейну на 46,7 %.

Дуклянсько-Чорногірський покрив характеризується складною геологічною будовою, особливо у місцях зчленування із Кросненським покривом (pin points k–l).

Ширина Дуклянсько-Чорногірського покриву становить 37,8 км, після реставрації 70,3 км. Денудація становить 67,8 %, при скороченні басейну на 46,2 %.

Буркутський покрив. Звертає на себе увагу система поперечних скидозсувів, які послідовно розривають майже всі луски Буркутського покриву і до яких приурочені долини рік. Можливо, утворення цієї системи розривів пов'язано з підняттям північно-західніше від неї блока буркутських лусок, відносно південно-східного.

Ширина Буркутського покриву (pin points m–n) становить 24,2 км, після реставрації 38,4 км. Денудація становить 68,1 %, при скороченні басейну на 51,1 %.

Рахівський покрив у цьому перетині сильно редукований і має ширину виходу на поверхню всього від 500 м до 3 км.

Ширина Рахівського покриву (pin points o–p) становить 8,1 км, після реставрації 11,1 км. Денудація становить 95,4 %, при скороченні басейну на 1,2 %. Такий об'єм денудації пов'язаний з розташуванням цього покриву в приконтатній частині Внутрішніх і Зовнішніх Карпат, тому він зазнав найбільших відносних переміщень у просторі і значних денудаційних процесів.

У результаті складчасто-насувного процесу спостерігається залежність між величинами денудації та скороченням покривів, на рис. 7 зображено графік цих показників. Чітко видно, що за незначного скорочення Самбірського покриву та фіксованого положення Більче-Волицької зони величина денудації цих одиниць одна із найвищих 75–88 %. Це пояснюється активними процесами ерозії у фронтальній частині акреційної призми під час насувоутворення, що мало «бульдозерний» характер прояву процесів. Рахівський покрив зазнав найбільшої денудації за рахунок впливу значних переміщень і виведенням значних об'ємів відкладів на поверхню ерозії.



Рис. 7. Графік залежності денудації покривів від їх скорочення

Відновлений розріз імплементований в палеогеографічну карту, що зображує розповсюдження флішових утворень на період формування нижньокрейдового та верхньокрейдово-палеогенового басейнів седиментації (рис. 8). Результати реконструкції збалансованого розрізу, грунтуючись на кількісних показниках,

дали можливість уточнити границі положення басейнів осадоагромадження на різних проміжках часу. Ці показники характеризують ширину басейнів, середню швидкість їх скорочення в результаті складчасто-насувного процесу та величину денудації флішових відкладів.

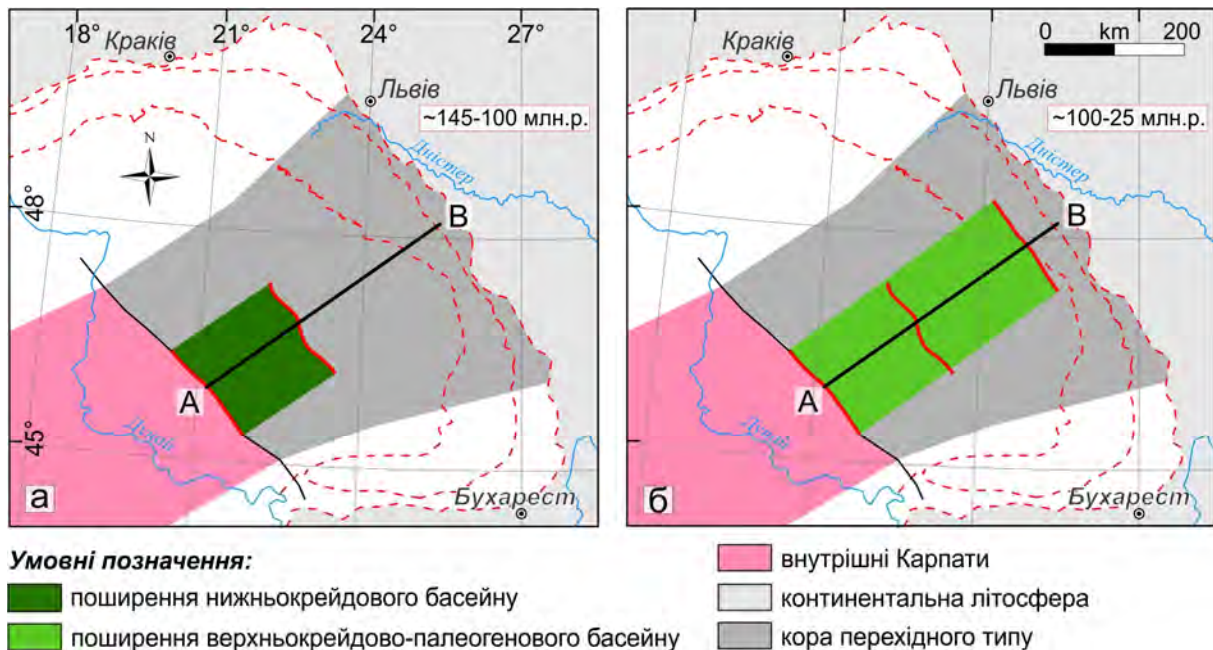


Рис. 8. Палеогеографічна карта Східних Карпат на крейдово-палеогеновий час

Наукова новизна і практична значущість

Наукова новизна роботи полягає у використанні підходів та методів побудови збалансованих розрізів для складчасто-насувних структур з використанням сучасних комп'ютерних технологій. Результати досліджень мають не тільки теоретичне значення, але і практичне. Побудовані моделі можуть бути використані під час пошуків родовищ вуглеводнів, інших корисних копалин. Результати можуть бути використані і під час вивчення сучасних динамічних процесів, наприклад осувів.

Висновки

З проведених досліджень бачимо збалансований та відновлений розрізи південно-східної частини Українських Карпат. Лінія розрізу проходить через фронтальну частину Внутрішніх Карпат, перетинає Зовнішні Карпати та частину Передового прогину.

Процес балансування дав змогу уточнити деякі особливості структури, механізм утворення яких пояснюється алгоритмами переміщення по розломах.

Збалансований розріз демонструє сучасну структуру Українських Карпат вздовж лінії АВ (Берегомет-Буркут). Різниця між сучасним розрізом і відновленим розрізом в результаті скорочення становить 345,5 км.

Побудова збалансованого та відновленого розрізів дала змогу отримати параметри басейнів седиментації. Важливим параметром є ширина басейнів осадоагромадження, знати яку необхідно під час побудови палеогеографічних карт. Цей параметр отримується в результаті відновлення збалансованого розрізу до недеформованого залягання шарів порід. Порівнюючи ширину басейну із сучасною структурою, можемо визначити величину скорочення акреційної призми, що є також важливим під час побудови геодинамічних моделей розвитку складчасто-насувного поясу. Важливим параметром у побудові моделі також є встановлення величини денудації відкладів, яка одержується з відновленого розрізу. Ці три параметри є ключовими елементами у розумінні геодинаміки акреційної призми.

Одержані результати свідчать про особливості стилю регіональної тектоніки, а саме: тонкошаруватим стилем, що передбачає складчасто-насувні процеси у верхній частині земної кори (осадовому чохла), без істотного залучення в процеси формування акреційної призми порід фундаменту.

Також отримані результати дослідження дають можливість порівнювати різноманітні параметри моделей, які побудували інші автори, не тільки на якісній, але і на кількісній основі.

Подяки

Автори вдячні за зауваження та дискусії член-кореспонденту НАН України, професору О.Б. Гінтову, а також геологу В.С. Шлапінському.

Програмне забезпечення для виконання роботи надане фірмою Midland Valley в межах академічної комп'ютерної ініціативи (ASI).

Також частина польових досліджень проведена в межах гранту фонду Американської асоціації нафтових геологів (AAPG), наданого М.В. Накапелюху.

Література

- Бызова С.Л., Беэр М.А., 1971. Тектоническое строение южной части Советских складчатых Карпат. Отчет по теме: Тектоническое исследование складчатых областей Украинских Карпат в связи с проведением геологической съемки масштаба 1:50000. Кн. 1 (текст). – М.; К.: МГУ, Фонды ДП “ЗУГ”. – 381 с.
- Габинет М.П., Я.О. Кульчицкий, О.И. Матковский, 1976. Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат. Ч. I. – Львов: Вища школа. – С. 200.
- Габинет М.П., Я.О. Кульчицкий, О.И. Матковский, А.А. Ясинская, 1977. Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат. Ч. II. – Львов: Вища школа. – 220 с.
- Гайдук В., Методы изучения складчато-надвиговых поясов / Гайдук В.В., Прокопьев А.В. // 1999 – Новосибирск: Наука. – С. 160.
- Гайдук В.В., Прокопьев А.В., 1999. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. – Новосибирск: Наука. – С. 160.
- Геологічна карта Українських Карпат. – 1 : 100 000. Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Чернівецька області України / Склали В. В. Глушко, В. В. Кузовенко, В. Е. Шлапінський; ред. Ю. З. Крупський: Звіт ЗАТ «Концерн Надра». – К.: Фонд ЗАТ «Концерн Надра», 2007. – 228 с.
- Шакин В.А. Геологическая карта Украинских Карпат масштаба 1:200 000 / Под ред. В.А. Шакина и др. – Львов: УкрНИГРИ, 1977.
- Шлапінський В.С. Геологічна карта Українських Карпат, масштаб 1: 100 000. Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Чернівецька області України. Составители В. В. Глушко, В. В. Кузовенко, В.Е. Шлапінский. Редактор Ю. З. Крупский. – Отчет ЗАО «Концерн Надра». – Фонд ЗАО «Концерн Надра». – К., 2007. – 228 с. [Geological Map of the Ukrainian Carpathians, scale 1: 100 000. Transcarpathian, Ivano-Frankivsk, Lviv, Tscernivtsi Regions. Gkushko V.V, Kuzovenko, V.V. Shlapinkyi, V.Ye. Zvit ЗАО «Koncern Nadra». Kyiv. 2007. 228 p. (in Ukrainian)].
- Шлапінський В.С. Деякі питання тектоніки Українських Карпат // Праці наукового товариства імені Шевченка. Геологічний збірник. – Т. XXX. – 2012. – С. 48–67.
- [Shlapinskyi, V. Ye., 2012. Some problems of the Tectonics of the Ukrainian Carpathians, Praci naukovohto tovarystva imeni Shevchenka. Geologishnyi zbirnyk, V. XXX, P. 48–67. (in Ukrainian)].
- Шлапінський В.С., Глушко В.В., Кузовенко В.В. Вивчення геологічної будови і перспектив нафтогазоносності зони зчленування Дуклянського, Чорногорського і Кросненського покривів Українських Карпат в 1991–1994 р.р. Звіт, т. 1. – Львів: Фонди ДП “ЗУГ”, 1994. – 165 с.
- Behrmann, J.H., Stiasny, S., Milicka, J., Pereszlenyi, M., 2000. Quantitative reconstruction of orogenic convergence in the northeast Carpathians. Tectonophysics 319, 111–127.
- Csontos, L., Vörös, A., 2004. Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 210, 1–56.
- Dahlstrom C. D. A., 1969. Balanced cross sections // Canada. J. Earth Sci. – 6, № 4. – P. 743–757.
- Fossen H., Structural Geology / Fossen H. // 2010. – Cambridge University Press. – P. 463.
- Gagała Ł., Vergés J., Saura E., Malata T., Ringenbach J.-C., Werner P., Krzywicz P., 2012. Architecture and orogenic evolution of the northeastern Outer Carpathians from cross-section balancing and forward modeling. Tectonophysics 532–535, pp. 223–241.
- Golonka, J., Gahagan, L., Krobicki, K., Marko, F., Oszyzypko, N., Ślaczka, A., 2006. Plate tectonic evolution and paleogeography of the circum-Carpathian region. In: Golonka, J., Picha, F.J. (Eds.), The Carpathians and Their Foreland: Geology and Hydrocarbon Resources. The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma, pp. 11–46.
- Hardy S., Ford M. Numerical modeling of trishear fault propagation folding // 1997 – Tectonics – Vol. 16, Issue 5, P. 841–854.
- Ionesi L., 1971. Flișul paleogen din bazinul văli Moldovei. – București: Ed. Acad. R.S.R. – S. 250.
- Journal of Structural Geology // 1986 – Vol. 8. – Issues 3–4, – P. 313–324.
- Journal of Structural Geology // 2012 – Vol. 41. – Issues 1–5, – P. 1–5.
- Matenco L., Bertotti G., 2000. Tertiary tectonic evolution of the external East Carpathians (Romania). Tectonophysics 316, pp. 255–286.
- Morley, C.K., 1996. Models for relative motion of crustal blocks within the Carpathian region, based on restorations of the outer Carpathian thrust sheets. Tectonics 15, 885–904.
- Nemčok, M., Coward, M.P., Sercombe, W.J., Klecker, R.A., 1999. Structure of the West Carpathian accretionary wedge: insights from cross section construction and sandbox validation. Physics and Chemistry of the Earth 24, 659–665.

- Nemčok M., Krzywicz P., Wojtaszek M., Ludhová L., Klecker R.A., Sercombe W.J., Coward M.P., 2006a. Tertiary development of the Polish and eastern Slovak parts of the Carpathian accretionary wedge: insights from balanced cross sections. *Geologica Carpathica* 57, 355–370.
- Nemčok M., Nemčok J., Wojtaszek M., Ludhová L., Klecker, R.A., Sercombe, W.J., Coward, M.P., Franklin, J., Keith, J., 2000. Results of 2D balancing along 20° and 21°30' longitude and pseudo-3D in the Smilno tectonic window: implications for shortening mechanisms of the West Carpathian accretionary wedge. *Geologica Carpathica* 51, 281–300.
- Nemčok M., Nemčok J., Wojtaszek M., Ludhová L., Oszczytko, N., Sercombe, W.J., Cieszkowski, M., Paul, Z., Coward, M.P., Slaczka, A., 2001. Reconstruction of Cretaceous rifts incorporated in the Outer West Carpathian wedge by balancing. *Marine and Petroleum Geology* 18, 39–64.
- Patruşius D., Bombită G., Krätner H., Krätner F., 1968. Notă explicativă la harta geologică sc. 1:200000, foaia Viseu. – Bucureşti: Inst. Geol.,
- Ramsay J., *Modern Structural Geology* / Ramsay J.G., Huber M. // 1987. – Academic Press. – Vol. 2. – P. 700.
- Roca, E., Bessereau, G., Jawor, E., Kotarba, M., Roure, F., 1995. Pre-Neogene evolution of the Western Carpathians: constraints from the Bochnia–Tatra Mountains section (Polish Western Carpathians). *Tectonics* 14, 855–873.
- Roure, F., Roca, E., Sassi, W., 1993. The Neogene evolution of the outer Carpathian flysch units (Poland, Ukraine and Romania): kinematics of a foreland/fold-and-thrust belt system. *Sedimentary Geology* 86, 177–201.
- Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K., 2008. The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences* 101, 139–183.
- SRTM digital elevation data, <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>, Database v4.1.
- Suppe J., Medwedeff D.A., *Geometry and kinematics of fault-propagation folding* // 1990 – *Eclogae Geologicae Helveticae* – 83/3– P.409–454.
- Suppe J., Medwedeff D.A., *Multibend fault-bend folding* // 1997 – *Journal of Structural Geology*, Vol. 19 – Nos 34, P. 219–292.

И.Н. БУБНЯК¹, М.В. НАКАПЕЛЮХ², Ю.М. ВИХОТЬ¹

¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко, геологический факультет, 79005, Львов, ул. Грушевского 4, Украина.

²Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 03680, Киев, пр. Палладина, 32, Украина.

**СБАЛАНСИРОВАННЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ УКРАИНСКИХ КАРПАТ
В ПЕРЕСЕЧЕНИИ БЕРЕГОМЕТ–БУРКУТ**

Представленные сбалансированный и восстановленный геологические разрезы демонстрируют современную структуру южного – восточной части Украинских Карпат и количественные параметры развития бассейнов седиментации в течение нижнемелового и верхнемелового – палеогенового времени (~ 145–25 млн. л.). Сбалансированный разрез построен на основе полевых исследований, с использованием современных геологических карт и геофизических данных. Построения базируются на большом количестве фактического материала – опубликованного и собранного на обнажениях вдоль разреза. Сбор данных, обработка и представление осуществлялось с помощью современных компьютерных программ и приборов. На обнажениях измеряли элементы залегания и мезоструктуры (складки, трещины, зеркала скольжения) непосредственно мобильными прибором (смартфон), который укомплектован геомагнитным и гравитационным сенсорами, GPS и фото устройствами, что позволяет его использовать как геологический компас, фотоаппарат и навигатор. Такой подход позволяет увеличить точность и производительность труда в несколько раз. Обработка собранных данных проводилась в стационарных условиях, с использованием программы MOVE™, фирмы–разработчика Midland Valley. Эта дает возможность создать базу данных в атрибутивном, векторном и растровом видах с реальными их координатами, что способствует интерактивному построению сбалансированных разрезов, с возможностью редактирования или добавления данных в любой момент процесса построения. Представление результатов возможно во многих форматах, двух – и трехмерных, что обеспечивает лучшее восприятие информации. Результаты проведенных исследований показывают механизмы образования аккреционной призмы и параметры формирования бассейнов осадконакопления. Ширина бассейна осадконакопления, установленная на основе восстановленного разреза составляет минимум 401 км, что значительно больше, чем предлагалось в предыдущих исследованиях. Сокращение бассейна седиментации в результате складчато – надвигово процесса составляет 79,4 %, при величине денудации отложений 70,2 %. Полученные результаты свидетельствуют об особенностях стиля региональной тектоники, а именно – тонко-слоистым стилем, предусматривающим складчато-надвижные процессы в верхней части земной коры (осадочном чехле), без существенного включения пород фундамента в

процессы формирования аккреционной призмы. Также, полученные результаты дают возможность сравнивать различные параметры моделей, построенных другими авторами, не только на качественной, но и на количественной основе.

Ключевые слова: сбалансированный разрез; Внешние Карпаты; складчато–надвиговый пояс; аккреционная призма; бассейны осадконакопления

I.M. BUBNIAK¹, M.V. NAKAPELYUKH², Y.M. VIKHOT¹

¹Ivan Franko National University of Lviv, Department of Geology, 4 Hrushevsky Str., Lviv, Ukraine, 79005.

²S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 32 Palladin Av., Kyiv, Ukraine, 03680.

BALANCED CROSS SECTION OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS ALONG BEREHOMET–BURKUT

The presented balanced and restored geological sections demonstrate modern structure of the South–Western part of the Ukrainian Carpathians and quantitative parameters of the sedimentation basin development during the Lower Cretaceous and the Upper Cretaceous–Paleogene ages (~ 145–25 Ma). Balanced cross section is based on the field studies using modern geological maps and geophysical data. They result from the great amount of factual materials – published and collected from outcrops along the cross section. Data collection, processing and presentation were performed using modern computer programs and devices. Beddings and mesostructures (folds, joints, sliding plane) were measured at outcrops directly by mobile devices (smart phone) being equipped with geomagnetic and gravitational sensors, GPS devices and digital cameras, thus allowing it to be used as a geological compass, camera and navigator. This approach can increase the accuracy and productivity of work by several times. Processing of the collected data was carried out in an office, using program MOVE™ by Midland Valley software company. This makes it possible to assemble a database in the attribute, vector and raster form with their real coordinates, which facilitates the interactive construction of balanced cross–sections and the ability to edit or add data at any moment in the process of construction. The results can be presented in various formats, two–and three–dimensional for example, providing better information perception. The results of the undertaken study show the mechanisms of accretionary prism forming and parameters of sedimentary basins. The width of the sedimentary basin being determined on the basis of reconstructed cross section is at least 401 km, which is far greater than it was proposed in the previous studies. The contraction of the sedimentation basin due to a fold–thrusting process is 79.4 % with the magnitude of deposits denudation established at 70.2 %. The results obtained testify the specificity of regional tectonics style, namely, thin–skinned style which foresees fold–thrusting processes in the upper crust (sedimentary cover) of the Earth without significant involvement of accretionary prism basement rocks in this process. Also, the results of the study make it possible to compare various parameters of the models built by other authors not only on quality but also on quantitative basis.

Keywords: balanced cross–section; Outer Carpathians; folds–and–thrust belt; accretion prism

REFERENCES

- Byzova S.L., Bejer M.A., 1971. Tektonicheskoe stroenie juzhnoj chasti Sovetskikh skladchatyh Karpat. Otchet po teme: Tektonicheskoe issledovanie skladchatyh oblastej Ukrainskikh Karpat v svyazi s provedeniem geologicheskoy s#emki masshtaba 1:50000. [Tectonic southern Carpathians Soviet fold. Report on the theme: Tectonic study foldbelts Ukrainian Carpathians in conjunction with the Geological Survey scale 1:50000.]. Book. 1 (text). Moscow State University, 381 p. Fondi DP "Zug".
- Gabinet M.P., Ja.O. Kul'chickij, O.I. Matkovskij, 1976. Geologija i poleznye iskopaemye Ukrainskikh Karpat [Geology and Minerals of the Ukrainian Carpathians]. Part. I., Lions, 200 p.
- Gabinet M.P., Ja.O. Kul'chickij, O.I. Matkovskij, A.A. Jasinskaja, 1977. Geologija i poleznye iskopaemye Ukrainskikh Karpat [Geology and Minerals of the Ukrainian Carpathians]. Part. II., Lviv, Vishcha school, 220 p.
- Gajduk V., Prokop'ev A.V. Metody izuchenija skladchato–nadvigovyh pojasov [Methods of study of fold–thrust belts]. 1999, Novosibirsk: Nauka.. 160 p.
- Gajduk V.V., Prokop'ev A.V., 1999. Metody izuchenija skladchato–nadvigovyh pojasov. [Methods of study of fold–thrust belts]. Novosibirsk, 160 p.
- Geologichna karta Ukrai'ns'kyh Karpat. — 1 : 100 000. Zakarpats'ka, Ivano–Frankivs'ka, L'vivs'ka, Chernivec'ka oblasti Ukrai'ny / Sklaly V.V. Glushko, V.V. Kuzovenko, V.E. Shlapyns'kyj; red. Ju. Z. Krups'kyj: Zvit ZAT «Koncern Nadra» [Geological map of the Ukrainian Carpathians. – 1: 100 000. Ivano–Frankivsk, Lviv, Chernivtsi Ukraine / Made V. Glushko, V.V. Kuzovenko, V.E. Shlapynskyj; eds. YS Krupski: Report of JSC "Nadra Concern". Fund JSC "Nadra Concern", Kyiv, 2007, 228 p.

- Schakin W.A. Geologitscheckaja karta Ukrainckich Karpat macshtaba 1:200 000 / Pod red. W.A. Schakina i dr. [Geological map of the Ukrainian Carpathians scale 1:200 000 / ed. V.A. Shakin etc.] Lviv: UkrNIGRI, 1977.
- Shlapins'kyj V.Je. Geologichna karta Ukrai'ns'kyh Karpat, masshtab 1: 100 000. Zakarpats'ka, Ivano–Frankivs'ka, L'vivs'ka, Chernivec'ka oblasti Ukrai'ny. Sostavytely V.V. Glushko, V.V. Kuzovenko, V.E. Shlapynskij. Redaktor Ju. Z. Krupskij. [Geological Map of the Ukrainian Carpathians, scale 1: 100 000. Transcarpathian, Ivano–Frankivsk, Lviiv, Tscernivtsi Regions. Gkushko, V.V, Kuzovenko, V.V., Shlapinkyi, V.Ye]. Zvit ZAO «Koncern Nadra». Kyiv. 2007, 228 p. (in Ukrainian).
- Shlapins'kyj V.Je. Dejaki pytannja tektoniky Ukrai'ns'kyh Karpat // Praci naukovogo tovarystva imeni Shevchenka. Geologichnyj zbirnyk [Some problems of the Tectonics of the Ukrainian Carpathians, Praci naukovoho tovarystva imeni Shevchenka. Geologishnyi zbirnyk]. V. XXX, P. 48–67. (in Ukrainian)].
- Shlapins'kyj V.Je., Glushko V.V., Kuzovenko V.V. Vychennja geologichnoi' budovy i perspektyv naftogazonosnosti zony zchlenuvannja Dukljans'kogo, Chornogors'kogo i Krosnens'kogo pokryviv Ukrai'ns'kyh Karpat v 1991–1994 r.r [The study of the geological structure and hydrocarbon potential joint zone Dukla, Krosno Montenegrin and Ukrainian Carpathian nappes in 1991–1994 yy]. Report, vol 1. Lviv, 1994, 165 p. Funds SE "ZUH."
- Behrmann, J.H., Stiasny, S., Milicka, J., Pereszlenyi, M., 2000. Quantitative reconstruction of orogenic convergence in the northeast Carpathians. *Tectonophysics* 319, 111–127.
- Csontos, L., Vörös, A., 2004. Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 210, 1–56.
- Dahlstrom C. D. A., 1969. Balanced cross sections // Canada. *J. Earth Sci.* – 6, № 4. – P. 743–757.
- Fossen H., *Structural Geology* / Fossen H. // 2010. – Cambridge University Press. – P. 463.
- Gaęała Ł., Vergés J., Saura E., Malata T., Ringenbach J.–C., Werner P., Krzywiec P., 2012. Architecture and orogenic evolution of the northeastern Outer Carpathians from cross–section balancing and forward modeling. *Tectonophysics* 532–535, pp. 223–241.
- Golonka, J., Gahagan, L., Krobicki, K., Marko, F., Oszczytko, N., Ślącza, A., 2006. Platetectonic evolution and paleogeography of the circum–Carpathian region. In: Golonka, J., Picha, F.J. (Eds.), *The Carpathians and Their Foreland: Geology and Hydrocarbon Resources*. The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma, pp. 11–46.
- Hardy S., Ford M. Numerical modeling of trishear fault propagation folding // 1997. – *Tectonics*. – Vol. 16, Issue 5, P. 841–854.
- Ionesi L., 1971. Flișul paleogen din bazinul văli Moldovei. – București: Ed. Acad. R.S.R. – S. 250.
- Journal of Structural Geology* // 1986 – Vol. 8. – Issues 3–4, – P. 313–324.
- Journal of Structural Geology* // 2012 – Vol. 41. – Issues 1–5, – P. 1–5.
- Matenco L., Bertotti G., 2000. Tertiary tectonic evolution of the external East Carpathians (Romania). *Tectonophysics* 316, pp. 255–286.
- Morley, C.K., 1996. Models for relative motion of crustal blocks within the Carpathian region, based on restorations of the outer Carpathian thrust sheets. *Tectonics* 15, 885–904.
- Nemčok, M., Coward, M.P., Sercombe, W.J., Klecker, R.A., 1999. Structure of the West Carpathian accretionary wedge: insights from cross section construction and sandbox validation. *Physics and Chemistry of the Earth* 24, 659–665.
- Nemčok, M., Krzywiec, P., Wojtaszek, M., Ludhová, L., Klecker, R.A., Sercombe, W.J., Coward, M.P., 2006a. Tertiary development of the Polish and eastern Slovak parts of the Carpathian accretionary wedge: insights from balanced cross sections. *Geologica Carpathica* 57, 355–370.
- Nemčok, M., Nemčok, J., Wojtaszek, M., Ludhová, L., Klecker, R.A., Sercombe, W.J., Coward, M.P., Franklin, J., Keith, J., 2000. Results of 2D balancing along 20° and 21°30' longitude and pseudo–3D in the Smilno tectonic window: implications for shortening mechanisms of the West Carpathian accretionary wedge. *Geologica Carpathica* 51, 281–300.
- Nemčok, M., Nemčok, J., Wojtaszek, M., Ludhova, L., Oszczytko, N., Sercombe, W.J., Cieszkowski, M., Paul, Z., Coward, M.P., Slacza, A., 2001. Reconstruction of Cretaceous rifts incorporated in the Outer West Carpathian wedge by balancing. *Marine and Petroleum Geology* 18, 39–64.
- Patrulius D., Bombitá G., Kräutner H., Kräutner F., 1968. Notă explicativă la harta geologică sc. 1:200000, foaia Viseu. – București: Inst. Geol.,
- Ramsay J., *Modern Structural Geology* / Ramsay J.G., Huber M. // 1987. – Academic Press. – Vol. 2. – P. 700.
- Roca, E., Bessereau, G., Jawor, E., Kotarba, M., Roure, F., 1995. Pre–Neogene evolution of the Western Carpathians: constraints from the Bochnia–Tatra Mountains section (Polish Western Carpathians). *Tectonics* 14, 855–873.

- Roure, F., Roca, E., Sassi, W., 1993. The Neogene evolution of the outer Carpathian flysch units (Poland, Ukraine and Romania): kinematics of a foreland/fold-and-thrust belt system. *Sedimentary Geology* 86, 177–201.
- Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K., 2008. The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences* 101, 139–183.
- SRTM digital elevation data, <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>, Database v4.1.
- Suppe J., Medwedeff D.A., Geometry and kinematics of fault-propagation folding // 1990 – *Eclogae Geologicae Helveticae* – 83/3– P.409–454.
- Suppe J., Medwedeff D.A., Multibend fault-bend folding // 1997 – *Journal of Structural Geology*, Vol. 19 – Nos 34, P. 219–292.

Статтю рекомендували до друку д-р техн. наук, проф. О.Л. Дорожинський (Україна); д-р техн. наук, проф. Я.М. Костецька (Україна)

Надійшла 29.05.2014 р.