

плексу. Відповідно до схеми товщин відкладів альб-сеноману (рис.2) і конфігурації підосви карбонатної товщі верхньої крейди можна виділити такі райони розвитку неантиклінальних пасток: Західно-Південно-Гамбурцевський, Одесько-Безим'яний, Східно-Зміїноострівський, Південно-Голіцинський, Східно-Голіцинський та Північно-Тарханкутський.

### Література

1. Есипович С.М. История развития планеты Земля – пульсирующее расширение под действием космического прессинга. – Одесса: Астропринт, 1998. – 165с.

2. Есипович С.М. Некоторые аспекты развития планеты Земля // Геодинамика. № 1/3. Выдано Астрономо-геодезичным товариством. – Львів, 2000. – С. 31-38.

3. Геофизические параметры литосферы южного сектора Альпийского орогена. – К.: Наук. думка, 1996. – 215с

4. Моргунов Ю.І., Калинин А.В., Куприн П.Н. и др. Тектоника и история развития северо-западного шельфа Черного моря. – М.: Недра, 1981. – 240 с.

5. Соллогуб В.Б., Чекунов А.В., Пустыльников М.Р., Старостенко В.И. и др. Геология шельфа УССР. Тектоника. – К.: Наукова думка, 1987. – 152 с.

6. Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории. – М.: Недра, 1980. – 462с.

УДК 551.21(477.8)

## ІНТЕГРАЦІЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ТА ГЕОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ДЕЯКИХ ПРОБЛЕМ ГЕОТЕКТОНІКИ (НА ПРИКЛАДІ ЗАХОДУ УКРАЇНИ)

<sup>1</sup>І.М. Бубняк, <sup>1</sup>А.М. Бубняк, <sup>2</sup>П.М.Бодлак, <sup>2</sup>В.Д.Чебан, <sup>3</sup>Р.Зутемеср

<sup>1</sup>Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України та НАК "Нафтогаз України", 79053, м. Львів, вул. Наукова, 3а, e-mail: bubniak@franko.lviv.ua

<sup>2</sup>Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція, 79040, м. Львів, вул. Данила Апостола, 9а, e-mail: zugre@is.lviv.ua

<sup>3</sup>Вільний університет, Де Булелан 1085, Амстердам, Нідерланди  
e-mail: zoete@ge.vu.nl

Приводятся результаты моделирования изгиба литосферы запада Украины по трем профилям, пересекающим Украинские Карпаты, Предкарпатский прогиб и Восточно-Европейскую платформу. Показаны результаты изучения динамики разрывных нарушений различными методами. Предложена модель развития Предкарпатского прогиба, связанного с отступающей континентальной субдукционной границей.

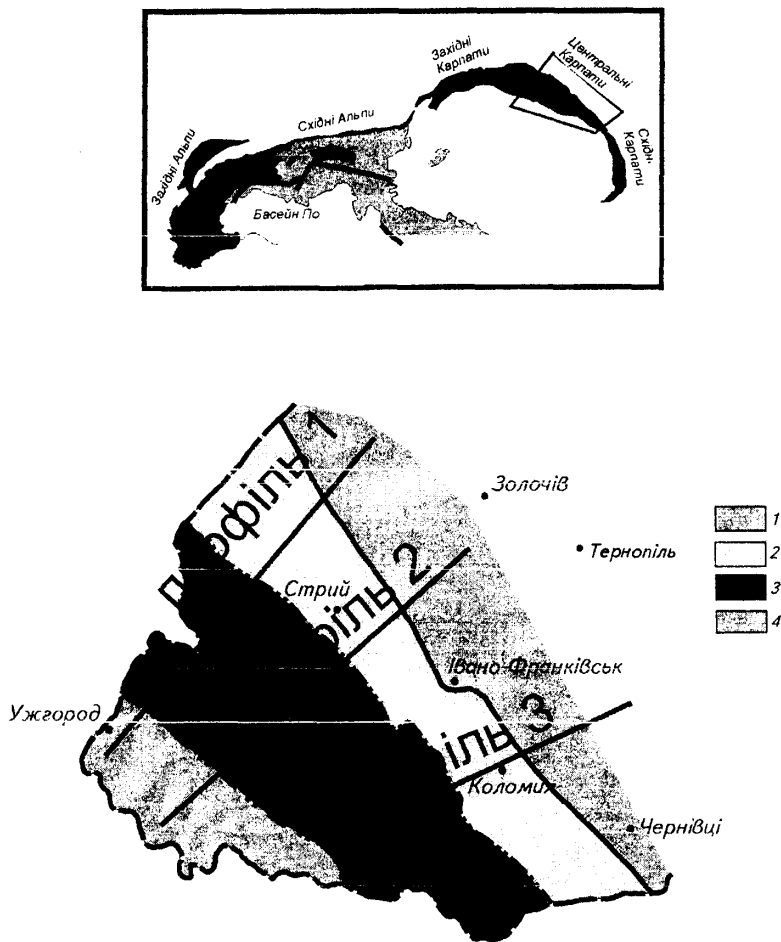
The results of the flexure modeling of Western Ukraine lithosphere along three profiles crossing the Ukrainian Carpathians, the Ukrainian Carpathian foredeep and East-European craton are presented. The results of the studies of the fault dynamics by different kinds of methods are shown. New geodynamic model of the Ukrainian Carpathian foredeep connected with retreating subduction zone is proposed.

### Вступ

70 % континентальної кори перекриті осадовими товщами потужністю понад 2 км. Вивчення осадових басейнів має не тільки теоретичне, але й практичне значення. Більшість із них вміщують корисні копалини – нафту, газ, вугілля, різноманітні солі, мідисті пісковики тощо. Значну групу цих басейнів складають такі, що виникли в умовах стискування. За останні 20 років був досягнутий значний прогрес у вивченні механічних та реологічних властивостей порід як океанської, так і континентальної літосфери. Поряд з традиційними геологічними методами почало широко застосовуватись математичне моделювання із використанням потужних комп'ютерів для вивчення процесів, що могли призвести до формування орогенів та оточуючих басейнів. Досліджувались як загальні

закономірності розвитку басейнів, що виникли в різних обстановках, так і окремі басейни. Неповний перелік районів, де проводились такі дослідження, включає Кордильєри [1], Альпи, Апенінський півострів, басейн Ебро в Іспанії, Західні та Південні Карпати. Тому для заповнення цієї прогалини нами проведено моделювання вигину літосфери заходу України, яке надалі може бути використане при створенні геодинамічних моделей, класифікації форландових басейнів України та для вивчення закономірностей розповсюдження корисних копалин, в першу чергу вуглеводнів.

Територія Заходу України є доволі зручним об'єктом для дослідження геодинамічних умов на різних етапах еволюції, бо тут на невеликій території (близько 100 км в поперечному перетині) відбувається зміна розтягу (Закарпатський прогин) стискуванням (Карпати) і субдукцією



**Геотектонічні одиниці досліджуваного району:**  
 1 – Східно-Європейська платформа; 2 – Передкарпатський прогин;  
 3 – Складчасті Карпати; 4 – Закарпатський прогин

**Рисунок 1 — Розташування профілів, вздовж яких проводилось моделювання**

континентального типу, що відступає (Передкарпатський прогин) (рис. 1). У вертикальному вимірі спостерігаємо заміну пасивної континентальної окраїни залишковим басейном (Карпати) і передовим прогином.

#### **Тектонічне положення досліджуваного регіону**

Українські Карпати з передовим прогином займають центральне місце в карпатській дузі (рис. 1). Українські Карпати разом з частиною Румунських Карпат складають Східні Карпати. Традиційно Карпати діляться на Внутрішні та Зовнішні. Підставою для такого поділу є час завершальної (головної) складчастості. Для Внутрішніх Карпат головними були крейдові, а для Зовнішніх кайнозойські складчастості. Структура, що розділяє ці два різні за часом утворення регіони представлена вузькою Пенінською зоною (рис. 1). Слід зазначити, що зміни віку тектонічних процесів мають місце не лише в поперечному перетині, але й в поздовж-

ньому також. Так, наприклад, останні насуповорчі рухи в Західних Карпатах відбувались в карпаті (16, 8 Ма), в центральній частині – Східні (Українські та Румунські) Карпати – в сарматі (11 Ма), а в Південних Карпатах – в пліоценовий час (5 Ма). Міграція тектонічних процесів має велике значення при реконструкції геодинамічних процесів в карпатській дузі. Передкарпатський прогин накладений на різновікові басейни форланду, що відображають етапи розвитку Східно-Європейської платформи від докембрію до неогену. Власне передовий прогин Українських Карпат виповнений моласовими утвореннями віком від егенбургію до сармату. Частина молас (нижні моласи, егенбургій – карпатій) захоплені останніми складчастонасуповними процесами. Верхні моласи (баден – сармат) залягають автохтонно. На захід від складчастих моласів ороген Українських Карпат складається із потужного насуповного комплексу, що є результатом розвитку впродовж крейдових та кайнозойських тектонічних процесів.

## Методи дослідження та дані

Р. Прайс [1] першим в рамках уявлень про тектоніку літосферних плит стверджував, що тектонічне навантаження, або іншими словами процеси насування, можуть призвести до утворення западини перед фронтом насувів (акреційної призми) і заповнення осадками, що зносились із гірської споруди. Прогин виникає в результаті ізостатичної реакції на навантаження. Завдяки жорсткості літосфера прогинається далеко за межами прикладеного навантаження. Перші результати досліджень підтвердили цю гіпотезу, але в подальшому при дослідженні інших регіонів було показано, що одного лише літостатичного навантаження для опускання літосфери, що спостерігається в багатьох форландових басейнах, недостатньо. Прості моделі конвергентних окраїн були замінені складнішими субдукційними – океанічного або континентального типу [2]. Результати досліджень виявили залежність між встановленою великомасштабною геометрією зон субдукції (топографія орогену, поверхня плити, що занурюється), гравітаційними аномаліями, з одного боку, та механічними параметрами, характерними для субдукції та силами, що діють в цих зонах, з другого. Численні публікації продемонстрували, що в першому наближенні зона колізії літосферних плит може розглядатися як тонка пружна пластина, розташована на астеносфері. Крім того, опублікована серія праць, де використана в'язко-пружна реологічна модель літосфери. Пружна плита характеризується жорсткістю до вигину  $D$  і пов'язаною з нею ефективною пружною потужністю (ЕЕТ). Слід зауважити, що тут не йдеться про реальну потужність літосфери, а лише виражений в кілометрах параметр пружності, який характеризує здатність плити до вигину. Загалом, чим менше значення ЕЕТ, тим легше згинається плита, і навпаки, при великому його значенні плита вигинається мало. Відповідно в першому випадку формуються глибокі та вузькі басейни, а у другому широкі та неглибокі. Величина ЕЕТ може змінюватись у вертикальному напрямі завдяки змінам у петрологічній будові та в латеральному напрямі – як результат доорогенних тектонічних процесів, наприклад, рифтоутворення на пасивній континентальній окраїні. В результаті тектонічних процесів континентальна кора може бути розламана. Така плита зазнає дії літостатичного навантаження орогену і осадків, що виповнюють передгірський прогин. Але не у всіх випадках літостатичне навантаження здатне викликати опускання поверхні плити перед фронтом орогенів. Тому була взята до уваги ще одна група сил – глибинні, що пов'язуються із інтрузіями аномально важких тіл, конвективними потоками, насувами на континентальну окраїну та динамічними напруженнями [9]. В розглядуваних моделях ці сили апроксимуються вертикальною перерізаючою силою  $P$  та моментом вигину  $M$ , які прикладені до ефективного краю літосферної плити [3]. За останній приймається місце, де зникають пружні власти-

вості плит, оскільки на глибині у зв'язку зі збільшенням температури і тиску літосфера починає проявляти пластичні властивості. Вигин літосфери описується загальним рівнянням

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ D(x) \frac{d^2 W}{dx^2} \right] + N \frac{d^2 W}{dx^2} + \rho_m g W(x) = q(x),$$

де:  $W(x)$  – опускання;

$g$  – гравітаційне прискорення;

$\rho_m$  – густина підстелюючої мантії;

$N$  – горизонтальні напруження;

$D$  – жорсткість літосфери до вигину.

Жорсткість  $D$  пов'язана з ефективною пружною потужністю

$$D(x) = \frac{E(T_e(x)^3)}{12(1-\nu^2)},$$

де:  $E$  – модуль Юнга;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона;

$T_e$  – ефективна пружна потужність.

Диференціальне рівняння четвертого ступеня розв'язується чисельним методом найменших квадратів.

Моделювання здійснювалось нами із застосуванням програмного забезпечення “Кобра-2”, “Кобра-3”, автором якого є Рейні Зутемеер (Вільний університет, Амстердам, Нідерланди). Моделювання полягає у підборі та комплексному аналізі параметрів, що найкраще співпадають із спостереженими даними і є адекватними реальній обстановці.

Для вирішення поставленого завдання нами були зібрані опубліковані та неопубліковані дані стосовно трьох регіональних профілів (рис. 1). Перші включають: а) топографічні карти масштабу 1:200000; б) структурно-тектонічну карту заходу України в масштабі 1:200000 [4]; в) положення розділу Мохо за А.П.Медведєвим [5], Ф.Хорватом [6]. Інші, загальноприйняті параметри, включають густину мантії, кори, води та осадкових утворень. Другі стосуються гравітаційних аномалій, які отримані з карти масштабу 1:500000 Державного геофізичного підприємства “Укргеофізика” та положення фундаменту Передкарпатського прогину за даними буріння.

## Результати моделювання

При проведенні моделювання нами прийнята модель розламаної літосфери, оскільки суцільна літосфера не може дати вклад параметрів, які ми маємо в досліджуваному регіоні (передусім положення фундаменту передового Передкарпатського прогину та величина гравітаційних аномалій). За ефективний край розламаної плити ми приймаємо Передкарпатський глибинний розлом, важливість якого постійно наголошується в літературі. Процедура моделювання вигину літосфери полягала у вивченні опускання вздовж трьох профілів, пов'язаних

найперше з різними значеннями параметрів ефективної пружної потужності ЕЕТ. Додатковим елементом моделювання було обчислення для теоретичного профілю опускання величини гравітаційних аномалій і порівняння їх із спостереженими (рис. 2). Профілі моделювання збігаються з регіональними профілями на геологічній карті Українських Карпат та їх прогинів. Усі модельовані профілі перетинають Зовнішні Українські Карпати, Передкарпатський прогин та Східно-Європейську платформу. Одержані результати моделювання (ЕЕТ,  $M$ ,  $V$ ) (рис. 2) дають підстави стверджувати, що навантаження карпатських покровів не здатне викликати опускання фундаменту Передкарпатського прогину, який ми спостерігаємо в сучасній структурі. Параметри  $M$  і  $V$  вказують, що повинні існувати глибинні сили, які викликають вигин літосфери. Важливим одержаним параметром моделювання є ефективна пружна потужність (ЕЕТ) та її латеральні зміни (рис. 2). Зменшення ЕЕТ до 5 км в межах Заходу України ми пов'язуємо із наявністю скидів у фундаменті та передовому прогині.

Порівняльний тектонічний аналіз Передкарпаття із іншими передгірськими регіонами Карпат (рис. 3), (таблиця 1) та отримані результати моделювання дають підстави висловити припущення, що розвиток Українських Зовнішніх Карпат та їх передового прогину на завершальному кайнозойському етапі був пов'язаний із континентальною зоною субдукції, що відступає.

Для більш детального вивчення еволюції передового прогину і оточуючих структур, а також для контролю вищеописаної моделі нами проводилися різномасштабні структурні дослідження розломів, дзеркал ковзання та тріщин. Диз'юнктивні структури вивчалися на регіональному та мезорівнях. Регіональний рівень передбачає вивчення структур з використанням карт та розрізів різних масштабів (1:200000 – 1:25000). Мезорівень включає дослідження у масштабах відслонень із подальшою інтерпретацією на основі сучасних методик структурної геології.

При вивченні конседиментаційних розломів Зовнішньої зони Передкарпатського прогину та його фундаменту ми використовували метод, запропонований Бішке Р. [7]. Цей метод графічно відображає конседиментаційну історію розрізів осадів. Графіки базуються на зміні потужностей одновікових осадів. Для визначення історії розломоутворення досліджується різниця потужностей одновікових горизонтів для двох свердловин  $\Delta d$  і відтак позначається на графіку для свердловини, що знаходиться в структурі вище.

Активність розломів на певний період часу оцінюється при аналізі зміни потужностей одновікових стратиграфічних одиниць вхрест простягання розломів при обчисленні коефіцієнта росту, або коефіцієнта активності  $K_r = (FW - HW) / FW$ , де  $FW$  – потужність в опущеному крилі,  $HW$  – потужність в підня-

тому крилі [8]. Ця методика дає змогу оцінити співвідношення між розломами прогину та його фундаменту. Конседиментаційні розломи були проаналізовані вздовж 15 поперечних профілів.

Наші результати вказують на високу активність конседиментаційних розломів як фундаменту, так і прогину. Конседиментаційні розломи фундаменту пов'язані із розвитком пасивної континентальної окраїни. Вони проявлялися також при переході пасивної континентальної окраїни до активної. Розломи прогину були поновлені завдяки континентальній субдукції та насувоутворенню. Для цих розломів було визначене найбільше значення  $\Delta d$  та  $K_r$  ( $\Delta d$  – до 1700 м,  $K_r$  – 0,9). Часто знак переміщення по цих розломах є змінним. Як результат вищенаведеного було показано, що формування Передкарпатського прогину почалося на фундаменті, розбитому розломами, і що розломи Передкарпатського прогину в багатьох випадках є успадкованими.

Визначення структур на мезорівні дає можливість визначити поля напружень та їх еволюцію в часі. Ці дослідження включають польовий опис та подальшу інтерпретацію. Під час роботи в полі замірювалися невеликі розломи, тріщини, дзеркала ковзання зі слідами переміщень по них. Важливим елементом було виявлення відносного віку структур. Дослідження проводилося в усіх тектонічних одиницях Заходу України. Для обробки великої кількості замірів використовувалася комп'ютерна програма Stereonet. Ця програма використовує теоретичні розробки Анжелє, Тарнера, Андерсона [9]. Дослідження дали змогу виділити декілька систем полів напружень та показати орієнтацію осей головних напружень, що пов'язані з певними етапами тектонічного розвитку району. Найскладніша система полів напружень характерна для Пенінської зони Карпат, що відображає принаймні чотири епізоди деформацій. В напрямі до платформи кількість етапів, які вдається виділити, зменшується, і в межах Передкарпаття впевнено виділяються дві фази деформацій, пов'язані із насувоутворенням та виникненням поперечних розломів трансформного напрямку [10]. Визначення головних осей полів напружень, що призвели до формування розломів Зовнішньої зони, вказує на специфічні умови їх утворення, а саме: їх розвиток ми пов'язуємо із відступаючою континентальною субдукцією.

## Висновки

Проведені дослідження, а також порівняльний тектонічний аналіз дають підстави запропонувати таку геодинамічну модель Заходу України.

– Формування сучасної структури було пов'язане із переходом пасивної континентальної окраїни до передового прогину;

– Пасивна континентальна окраїна зародилася після рифтоутворення та виникнення басейнів з океанічною корою в межах сучасного

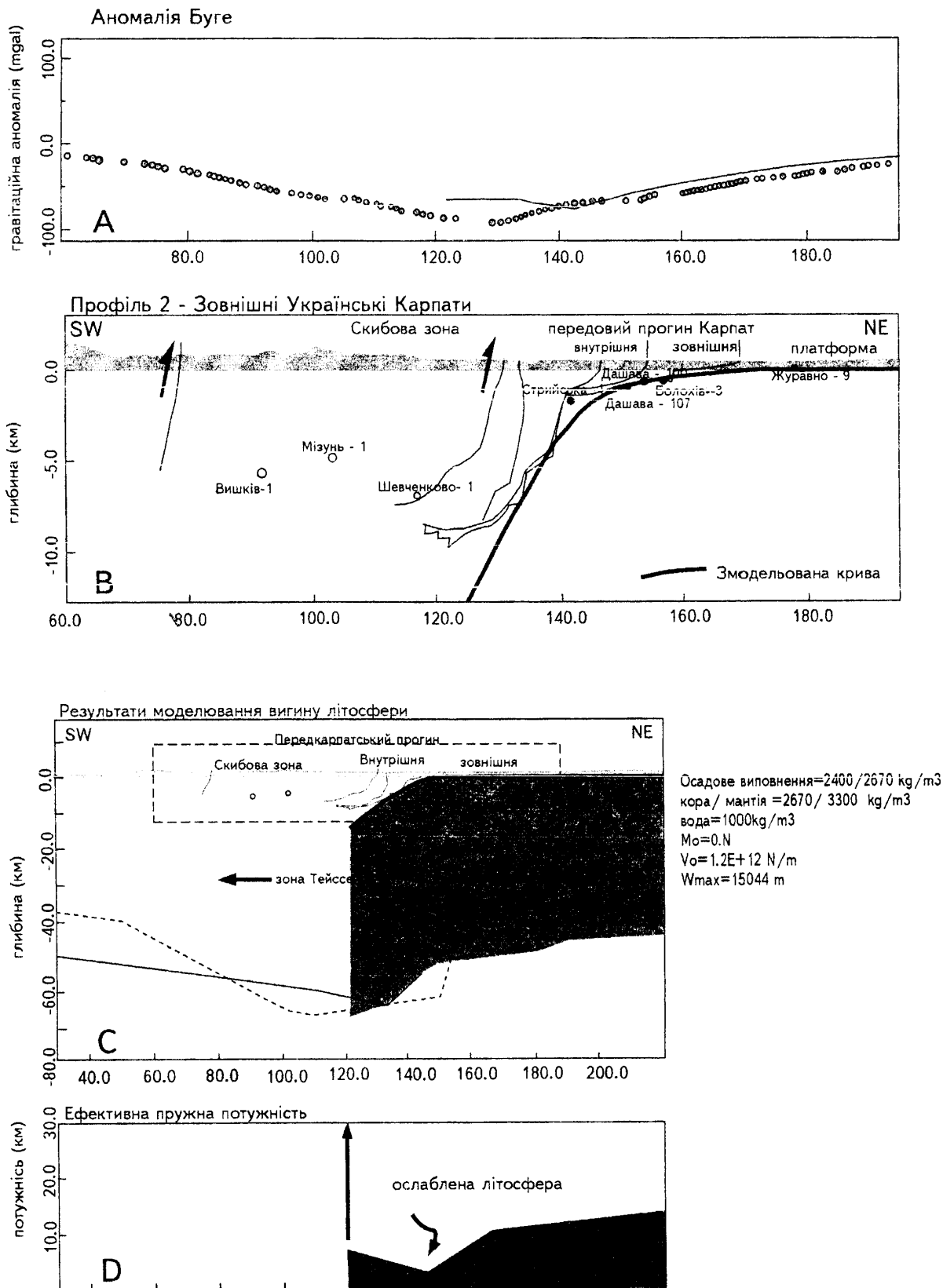
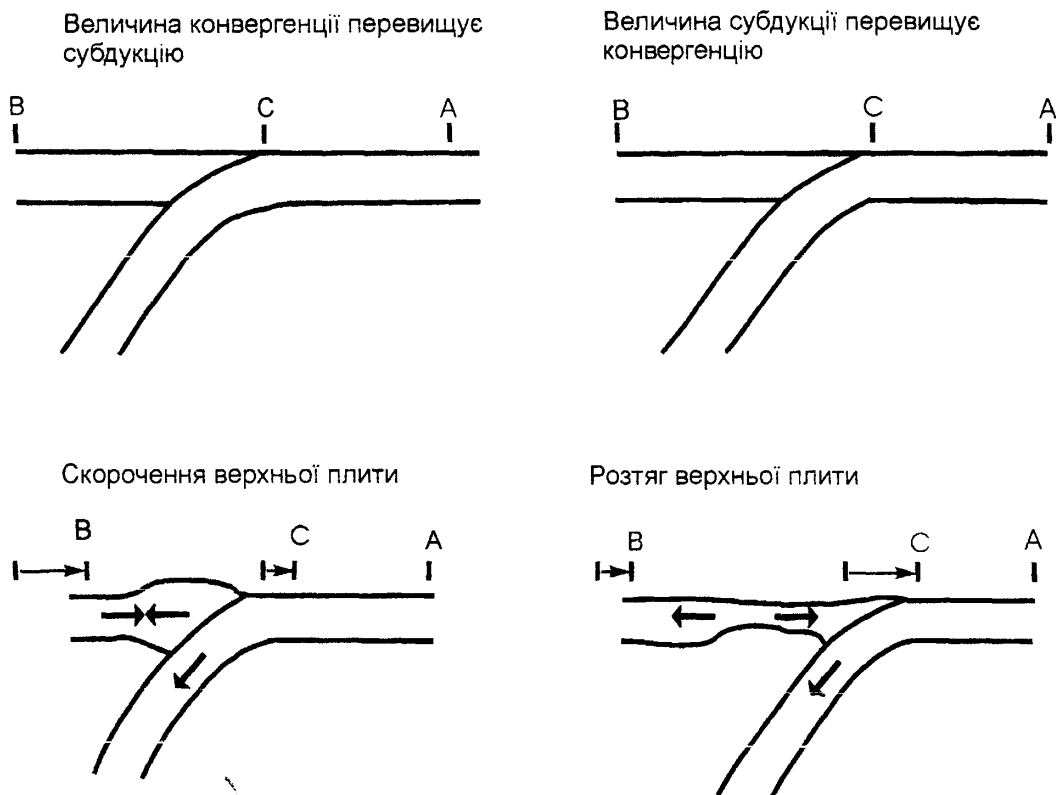


Рисунок 2 — Дані та результати моделювання вздовж профілю 2

Закарпаття в триас-юрський час. Про характер пасивного типу країни свідчать геологічні дані із Карпат та Передкарпаття. Ці аргументи були приведені в роботах авторів. Вони містять речовинне виповнення юрського Стрийського

прогину, послідовну зміну фацій та потужності юрських відкладів, структурні дані (наявність консидиментаційних розломів, неупутичних дайок). Іншим важливим доказом є той факт, що Краковецький розлом не є седиментаційним



**Рисунок 3** — Схематична діаграма регіональної деформації порід верхньої плити відносно величини конвергенції (вектор АВ) та субдукції (вектор АС). При розвинутій плитовій межі (ліва сторона рисунка) загальна величина конвергенції є більшою від субдукції, і верхня плита зазнає стиску. У випадку зони субдукції, що відступає (права сторона), загальна плитова конвергенція менша за величину субдукції, і верхня плита зазнає розтягу. (за L. Royden, 1993)

**Таблиця 1** — Характеристика континентальних зон субдукції

Основні характеристики континентальної зони субдукції	Розвинута континентальна зона субдукції	Континентальна зона субдукції, що відступає
Тип регіональних деформацій	стискання у перекриваючій плиті	розтяг у перекриваючій плиті, задугова обстановка
Середня топографія орогену, км	2-6	1-1,5
Глибина передового прогину порівняно з орогеном	Нормальна	аномальна глибока
Постколізійна конвергенція	Довготривала	короткотривала, або відсутня
Характер прикладеного навантаження	переважають поверхневі навантаження	переважають глибинні навантаження
Метаморфізм	середнього та високого ступенів	відсутній або низького ступеня

кордоном Стрийського прогину, а є лише межею розповсюдження юрських відкладів у сучасній структурі. Тому логічно припустити розповсюдження пасивної континентальної окраїни значно південніше.

– На межі ранньої і пізньої крейди крейди відбувається розпад пасивної континентальної окраїни, або іншими словами відбувається зміна геодинамічної обстановки від розтягу до стиску. Перед фронтом акреційної призми (насувів)

виникають басейни, які належать до залишкових басейнів і в яких формується потужна товща флішу верхньокрейдовооліоценового віку.

– На заключній стадії перед фронтом орогену виникає прогин, що заповнюється моласами міоценового віку. Виникнення цього прогину було пов'язане із відступаючою континентальною субдукцією. На це вказують приведені вище результати моделювання: нездатність топографічного навантаження викликати опус-

кання фундаменту Передкарпатського прогину на величину, що спостерігається в сучасній структурі, зміну ЕЕТ, наявність та характер розвитку скидів, еволюція полів напружень в Карпатах, Передкарпатті та на Східноєвропейській платформі.

Запропонована модель досить добре погоджується із моделями, що були запропоновані для всієї Карпатської дуги.

Отримані результати можуть бути використані при проведенні пошукових робіт на нафту та газ, оскільки поля напружень впливають як на формування колекторів, так і на умови збереження покладів вуглеводнів.

### Література

1. Price R. J. Large-scale gravitational flow of supracrustal rocks, Southern Canadian Rockies. In: Gravity and Tectonics, Wiley, New York (de Jong K.A., Scholten R. Eds). 1973. – pp. 491-502
2. Royden L. The tectonic expression slab pull at continental convergent boundaries // Tectonics, v. 12, № 2, 1993, pp. 303-325.
3. Hetenyi M. Beams of elastic foundation, theory with application in the fields of civil and mechanical engineering, University of Michigan Press, Ann Arbor Michigan. -19456.- 255 p.
4. Структурно-тектонічна карта західних областей України, масштаб 1:200000 / Під ред.

М.Д.Будеркевича, Є.С.Дворянина, Міністерство геології СРСР, Українське виробниче об'єднання по геофізичних роботах "Укргеофізика", Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція, 1991.

5. Медведєв А.П. Основные черты глубинного строения: Геотектоника Вольно-Подольи / Отв. ред. И.И. Чебаненко; АН УССР, Ин-т. геол. наук. – К.: Наукова думка, 1990 .

6. Horvath F. Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin // Tectonophysics, v. 225, 1993, pp. 333-357.

7. Bishke R. Interpreting sedimentary growth structure from well by and seismic data (with examples) // AAG Bulletin, vol. 78, № 6, pp. 878-892.

8. Nikol A., Walsh J.J., Waterson J., Bretan P.G. Three-dimensional geometry and growth of conjugate faults // J.Struc. Geol., № 6, pp. 847-862

9. Angelier J. Fault slip analysis and paleo-stress reconstruction. In Continental deformation Ed. P.L. Hancock, Pergamon Press, 1994, pp. 53-100.

10. Бубняк І., Бубняк А., Кілін І., Попп І. Структурно-седиментологічні дослідження добротівських відкладів Передкарпатського прогину (район Надвірної) // Праці Наукового товариства імені Шевченка. Том V. Геологічний збірник. – Львів, 2001. – с. 84-93.

Ювілейний симпозіум, присвячений  
10-й річниці проведення наукових  
конференцій про Землю в Алушті

## VII Міжнародний науково-технічний симпозіум

м. Алушта (АР Крим, Україна)  
7-14 вересня 2002 р.

Органітет симпозіуму

НУ "Львівська політехніка"  
вул. С.Бандери, 12  
79013, м. Львів, Україна

Третяк К. Р.

Тел. (0322) 39-88-32

Факс: (0322) 74-43-00

E-mail: kornel@polynet.lviv.ua

Глотов В.М.

Тел. (0322) 39-86-39

E-mail: v\_glotov@ukr.net

## Наукова програма симпозіуму

Блоки питань на пленарних  
та секційних засіданнях

### Секція 1:

сучасні досягнення GPS і GIS-технологій;  
апаратно-програмні засоби

### Секція 2:

комп'ютерні технології ведення кадастру  
та реєстрації земель я нерухомості

### Секція 3:

дистанційне зондування та геоінформаційні  
системи охорони навколишнього природного  
середовища;  
використання природних ресурсів  
та забезпечення екологічної безпеки

### Секція 4:

геодинамічний моніторинг на об'єктах  
паливно-енергетичного комплексу

### Секція 5:

геолого-геофізичне прогнозування техно-  
генно-екологічних надзвичайних ситуацій

### Секція 6:

GPS і GIS-технології для вирішення  
військових завдань

### Секція 7:

освітні та кадрові проблеми

В період проведення симпозіуму буде діяти виставка обладнання і програмних продуктів підприємств та організацій, які здійснюють науково-дослідні роботи і пропонують свої послуги у вирішенні геоінформаційних та GPS-проблем.