

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ГЕОСТРУКТУР В ЗОНІ КОЛІЗІЇ КОНТИНЕНТІВ

М.В. Лубков

*Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Мясоедова, 27/29, Полтава 36029, Україна, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru*

На основі варіаційної скінченно-елементної методики для в'язкопружних багат шарових ортотропних оболонок змодельовано процеси утворення геоструктур у зоні колізії континентів за умови деформування повного шару земної кори. Встановлено, що форми і швидкості росту відповідних великомасштабних складок суттєво залежать від розмірів площини зминання земної кори у напрямку дії субгоризонтальної геотектонічної сили і мало залежать від розмірів у напрямку, поперечному до дії сили. При цьому дії субгоризонтальних геотектонічних зусиль під різними кутами до площини зминання земної кори зумовлюють утворення локальних підняття і опускань земної поверхні. Встановлено також, що змінювання товщини земної кори не приводить до якісних змін загальної картини формування великомасштабних геоструктур у зоні колізії континентів, але проявляються помітні кількісні відмінності у швидкості росту відповідних складок.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, процеси формування геоструктур, зона колізії континентів, земна кора.

Вступ. Колізія континентів є процесом зіткнення і подальшої взаємодії двох і більше континентальних літосферних плит, які через відносно малу густину не можуть зануритися одна відносно іншої [10, 11]. Внаслідок взаємодії відбувається процес зминання земної кори і утворення геоструктур у різних масштабах – підняття і опускань земної поверхні. Цими геоструктурами формуються великі гірські ланки зі складними тектонічними покривами (шар'яжами), а також дрібніші за масштабами насуви. Як правило, процесу колізії континентів передують процеси субдукції океанічної літосфери, яка знаходилася раніше між взаємодіючими континентальними плитами. Найяскравішим прикладом процесу колізії є поява Альпійсько-Гімалайського складчастого поясу, який утворився внаслідок закриття давнього океану Тетісу і зіткнення Євразійської плити з Індійською, Аравійською та Африканською плитами. Внаслідок великомасштабної колізії потужність земної кори під складчастим поясом сильно збільшується. Наприклад, під Гімалаями вона сягає товщини 70 км [10, 11].

Розуміння процесів деформування континентальної літосфери в зоні колізії є ключовим для реалізації важливих проблем сучасної геотектоніки, таких як геоморфологія, орогенез, формування геоструктур в умовах тектонічного стискання та багатьох інших. Не випадково питанням вивчення колізії континентів присвячена велика кількість публікацій [1, 10–16]. В них відображено багато аспектів зазначених вище проблем. Утім досі залишається багато питань, які пов'язані із загальними механічними закономірностями утворення та розвитку геоструктур в зоні колізії у

відповідних умовах і масштабах. Для отримання повної картини цих геотектонічних подій необхідне розуміння процесів формування геоструктур у масштабі деформування всього шару земної кори. У цій статті на основі варіаційної скінченно-елементної методики для шаруватих в'язкопружних оболонок зроблено спробу моделювання процесів формування геоструктур у зоні колізії континентів за умови деформування повного шару земної кори.

Постановка і метод розв'язання задачі. Розглянемо процес формування великомасштабних геоструктур у зоні колізії континентів під дією субгоризонтальних стискальних геотектонічних зусиль, в якому деформується увесь шар земної кори. При цьому враховуємо дію сили тяжіння. Для описання механічної поведінки представленого тривимірного півпростору земної кори скористаємося теорією тришарових ортотропних в'язкопружних оболонок з урахуванням зсувної жорсткості [4, 5]. Досліджуватимемо оболонки у криволінійній системі координат (s, φ, z) , яку вважатимемо жорстко закріпленою з великим тектонічним мегаблоком $(s, \varphi$ – координати уздовж поверхні оболонки; z – координата за товщиною оболонки). Переміщення уздовж координат s, φ, z для j -го шару оболонки можна записати у вигляді [4, 5]

$$\begin{aligned} u_j &= u_0(s, \varphi) + z u_1(s, \varphi); \\ v_j &= v_0(s, \varphi) + z v_1(s, \varphi); \\ w_j &= w_0(s, \varphi) + z w_1(s, \varphi), \end{aligned} \quad (1)$$

де u_0, v_0, w_0 – компоненти переміщення середньої поверхні оболонки; u_1, v_1 – кути повороту

нормалі до серединної поверхні відносно координатних ліній $\varphi = \text{const}$, $s = \text{const}$ відповідно; w_1 – обчислення нормального елемента до серединної поверхні оболонки.

Процес деформування розглянутого півпростору земної кори під дією стискальних субгоризонтальних геотектонічних сил є досить повільним установленим урівноваженим процесом, протягом якого перехідними стадіями можна знехтувати. Таким чином, повільний нестационарний процес деформування в'язкопружного півпростору земної кори можна умовно розглядати як урівноважений процес повільних гармонічних (квазістационарних) коливань. У цьому випадку часову залежність можна врахувати на основі переходу в частотний простір, за умов якого диференціювання за часом може бути замінено множенням на $i\omega$, де i – уявна одиниця, ω – частота квазістационарних коливань [8]. Приймавши характерну циклічну частоту повільного встановленого процесу деформування в'язкопружного півпростору земної кори за ω , на основі теорії багат шарових в'язкопружних ортотропних оболонок складемо комплексний функціонал Лагранжа [5, 9], що виражає повну механічну енергію півпростору земної кори, який знаходиться в умовах квазістационарного навантаження, а також під дією сили тяжіння:

$$\begin{aligned} \tilde{W} = & \frac{1}{2} \sum_{j=1}^3 \int_{h_j} \int_S [E_{ss}^j \varepsilon_{ss}^{j2} + E_{\varphi\varphi}^j \varepsilon_{\varphi\varphi}^{j2} + E_{zz}^j \varepsilon_{zz}^{j2} + 2E_{s\varphi}^j \varepsilon_{ss}^j \varepsilon_{\varphi\varphi}^j + \\ & + 2E_{sz}^j \varepsilon_{ss}^j \varepsilon_{zz}^j + 2E_{\varphi z}^j \varepsilon_{\varphi\varphi}^j \varepsilon_{zz}^j + 4\tilde{G}_{s\varphi}^j \varepsilon_{s\varphi}^{j2} + 4\tilde{G}_{sz}^j \varepsilon_{sz}^{j2} + \\ & + 4\tilde{G}_{\varphi z}^j \varepsilon_{\varphi z}^{j2} + \omega^2 \rho_j (u_j^2 + v_j^2 + w_j^2) - 2\rho_j g w_j] \left(1 + \frac{z}{R_3}\right)^2 ds d\varphi dz - \\ & - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (T_s u_0 + T_{s\varphi} v_0) d\varphi - \int_{s_1}^{s_2} (T_{\varphi s} u_0 + T_{\varphi} v_0) ds. \end{aligned} \quad (2)$$

Тут R_3 – радіус кривизни Землі; g – прискорення сили тяжіння; S – площа поверхні півпростору земної кори; h_j – товщина j -го шару земної кори; ρ_j – густина j -го шару; $\varepsilon_{\alpha\beta}^j$ – компоненти тензора деформацій j -го шару; $E_{\alpha\beta}^j$ – дійсні модулі пружності j -го шару; $\tilde{G}_{\alpha\beta}^j = G_{\alpha\beta}^j + i\omega\eta_{\alpha\beta}^j$ – комплексні компоненти узагальненого модуля зсуву j -го шару, що складаються з дійсної частини для пружного матеріалу і комплексної частини для лінійно-в'язкого матеріалу; $\eta_{\alpha\beta}^j$ – коефіцієнт динамічної в'язкості j -го шару; T_{α} , $T_{\alpha\beta}$ – зусилля, які діють на контур півпростору земної кори в напрямках дотичних його поверхні. В'язкопружність півпростору земної кори у цьому випадку трактуємо на основі в'язкопружної моделі Кельвіна–Фойта [6], коли загальне напруження зсуву за заданих деформацій і швидкостей деформацій має вигляд лінійної суперпозиції пружного і в'язкого напру-

жень. За граничні умови задачі взято стискальні субгоризонтальні зусилля, які діють на контур півпростору. В умовах квазістационарного навантаження дії цих зусиль можуть бути замінені еквівалентним завданням швидкостей на відповідних ділянках контуру.

Для розв'язання представленої вище квазістационарної в'язкопружної задачі деформування півпростору земної кори скористаємося методом скінченних елементів, який ґрунтується на варіаційному принципі Лагранжа, що виражає мінімум повної механічної енергії системи [9]:

$$\delta \tilde{W}(u_0, v_0, w_0, u_1, v_1, w_1) = 0. \quad (3)$$

Для розв'язання варіаційного рівняння (3) застосуємо дев'ятивузловий ізопараметричний чотирикутний оболонковий скінченний елемент з криволінійною поверхнею [5]. Як глобальну систему координат, тобто систему, в якій поєднуються усі скінченні елементи (на які розбиваємо область досліджування), використовуємо криволінійну систему координат (s, φ, z) . Як локальну систему координат, у якій визначаємо функції форми скінченного елемента і проводимо чисельне інтегрування, застосуємо допоміжну нормалізовану систему координат (ξ, θ) . Під час побудови функцій форми, що апроксимують в межах скінченного елемента складові переміщень: $u_0, v_0, w_0, u_1, v_1, w_1$, для виконання умов гладкості та збіжності скінченно-елементного розв'язку, використовуємо алгебричні та тригонометричні поліноми [5].

Алгоритм скінченно-елементного розв'язання варіаційної задачі (3) полягає у такому [5]. На першому етапі в локальній системі координат (ξ, θ) апроксимуємо всі компоненти переміщень і деформацій, що входять до функціонала Лагранжа (2), які є функціями від складових переміщень: $u_0, v_0, w_0, u_1, v_1, w_1$. У цій самій системі проводимо аналітичне інтегрування усередині кожного шару оболонки, а потім підсумовування всього пакета шарів оболонки. На другому етапі варіюємо функціонал (2) за всіма вузловими складовими переміщень $u_0, v_0, w_0, u_1, v_1, w_1$ і прирівнюємо відповідні варіації до нуля. В результаті для кожного скінченного елемента одержуємо лінійну комплексну алгебричну систему, що складається з 54 рівнянь. На третьому етапі у глобальній системі координат (s, φ, z) підсумовуємо локальні лінійні системи комплексних алгебричних рівнянь за усіма скінченими елементами, на які розбито оболонку, і формуємо глобальну систему лінійних комплексних рівнянь. Подвійні інтеграли за площею оболонки обчислюємо чисельним інтегруванням на основі квадратурних формул Гауса [9]. Глобальну систему лінійних алгебричних рівнянь розв'язуємо за допомогою чисельного методу Гауса [9]. В результаті визначаємо комплексні складові пе-

ремішень $u_0, v_0, w_0, u_1, v_1, w_1$ в усіх вузлових точках скінченно-елементної сітки. За знайденими вузловими складовими переміщень можуть бути визначені комплексні квазістаціонарні компоненти переміщень, швидкостей, деформацій, напружень та інші величини у довільній точці скінченного елемента, тобто у будь-якій точці півпростору земної кори. Для переходу з частотного квазістаціонарного простору в часовий простір необхідно виділити реальну частину від отриманих комплексних значень.

Моделювання процесів формування великомасштабних геоструктур у зоні колізії. При моделюванні процесів формування великомасштабних

геоструктур у зоні колізії континентів розглянемо деформування прямокутних площин зминання земної кори різного масштабу, на які у поздовжньому напрямку діють квазістаціонарні стискальні субгоризонтальні геотектонічні зусилля. Дії цих зусиль еквівалентні заданню на одній з поперечних сторін площини деякої характерної швидкості руху в поздовжньому напрямку, при цьому протилежна сторона площини залишається жорстко закріпленою. Як характерну швидкість геотектонічного стискання виберемо значення 10 см/рік [7]. Зауважимо, що на розглянутий півпростір земної кори діє сила тяжіння. Виберемо деякі осереднені тришарові товщі земної

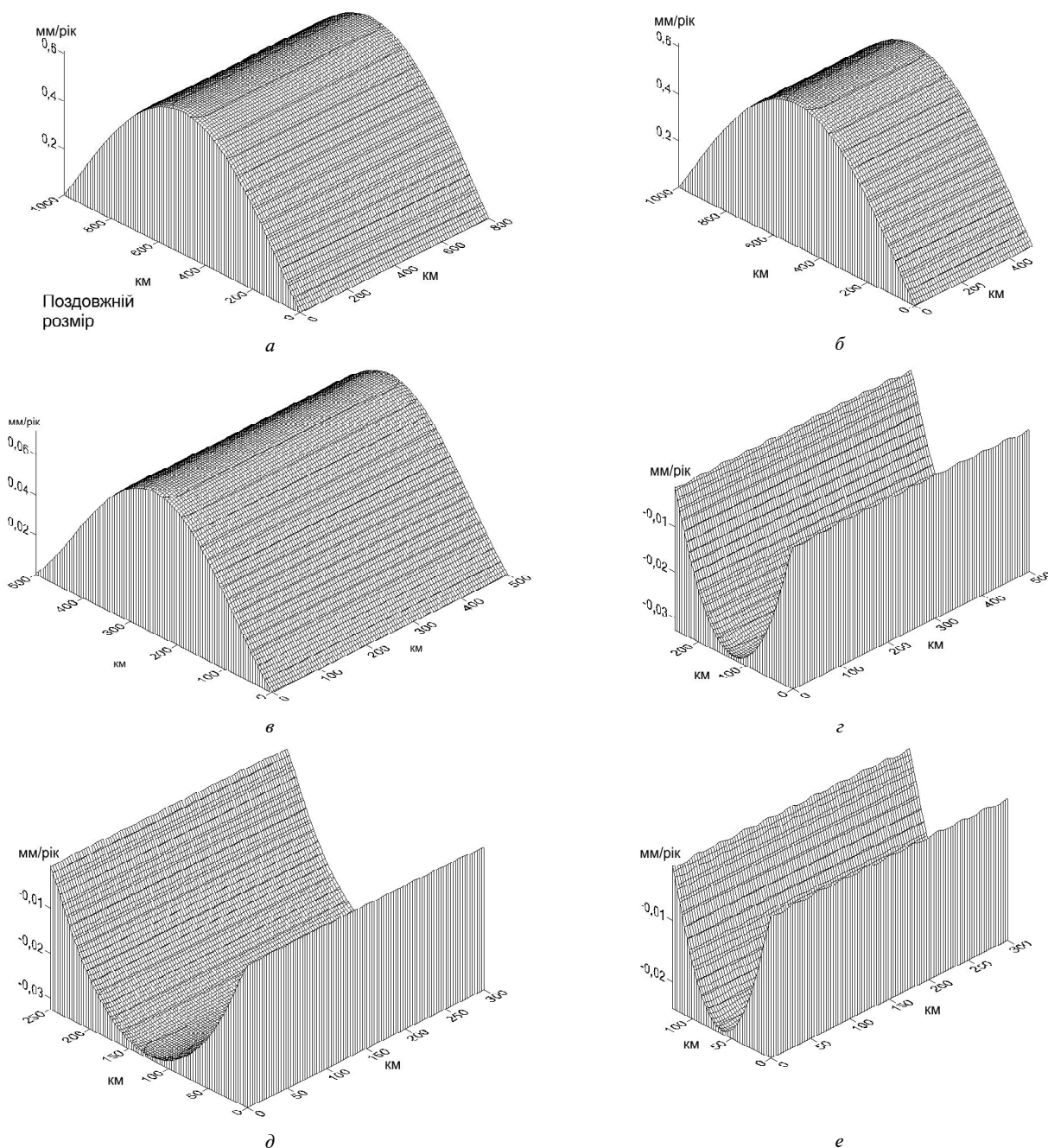


Рис. 1. Процеси формування геоструктур у зоні колізії під дією поздовжнього горизонтального геотектонічного стискання у земній корі середньої товщини: а – 1000×800 км; б – 1000×500 км; в – 500×500 км; г – 250×500 км; д – 250×300 км; е – 125×300 км

кори, які складаються з осадових порід, гранітів і базальтів. Припустимо, що тонка земна кора складається з 10-км шару осадових порід, 10-км – гранітів і 10-км шару – базальтів. Земна кора середньої товщини складається з 10-км шару осадових порід, 15-км – гранітів, 15-км шару – базальтів. Товста земна кора складається з 10-км шару осадових порід, 20-км – гранітів, 20-км шару базальтів. На основі даних публікацій [2, 3, 10] задамо для осадових, гранітних і базальтових порід відповідні механічні властивості: густина (кг/м³) – 2500, 2650, 2950; модуль Юнга ($\times 10^{10}$ Па) – 3,5; 6,0; 7,0; модуль зсуву ($\times 10^{10}$ Па) – 1,5; 2,5; 3,0; коефіцієнт Пуассона – 0,22; 0,24; 0,25; динамічна в'язкість ($\times 10^{20}$ Па·с) – 2, 9, 9. На рис. 1–4 представлені процеси формування великомасштабних геоструктур у земній корі різного типу в зоні колізії.

На рис. 1 показано, що процеси формування великомасштабних геоструктур у зоні колізії континентів суттєво залежать від розмірів площини зминання земної кори у напрямку дії субгоризонтальної геотектонічної сили і мало залежать від розмірів у поперечному напрямку. Так, для площин зминання земної кори з великими поздовжніми розмірами (у напрямку дії геотектонічних сил) від 1000 км і більше до 270 км характерний

процес утворення підняття земної поверхні (антиклінорії). Для площин зминання земної кори з поздовжніми розмірами менше цієї величини характерний процес утворення опускань земної поверхні (синклінорії). При цьому швидкості росту відповідних великомасштабних складок також залежать від поздовжніх розмірів площини зминання земної кори. Вони мають деякі характерні максимуми, а потім поступово зменшуються до нуля за наближення до нескінченності, точки перегібу ~ 270 км і нуля. За дії зминання земної кори горизонтальними геотектонічними зусиллями під різними кутами до поздовжнього напрямку формуються локальні підняття і опускання земної поверхні, при цьому геометрія цих утворень залежить від розмірів площини зминання (рис. 2). Швидкості росту відповідних складок незначно підвищуються зі збільшенням кута до поздовжнього напрямку. Змінення товщини земної кори не приводить до якісних змін загальної картини формування великомасштабних геоструктур в зоні колізії континентів (рис. 3, 4). Однак тут проявляються помітні кількісні відмінності у швидкості росту відповідних складок. Так, для тонкої кори характерні інтенсивніші процеси формування відповідних геоструктур у зоні колізії. В міру стовщення земної кори ці процеси уповільнюються.

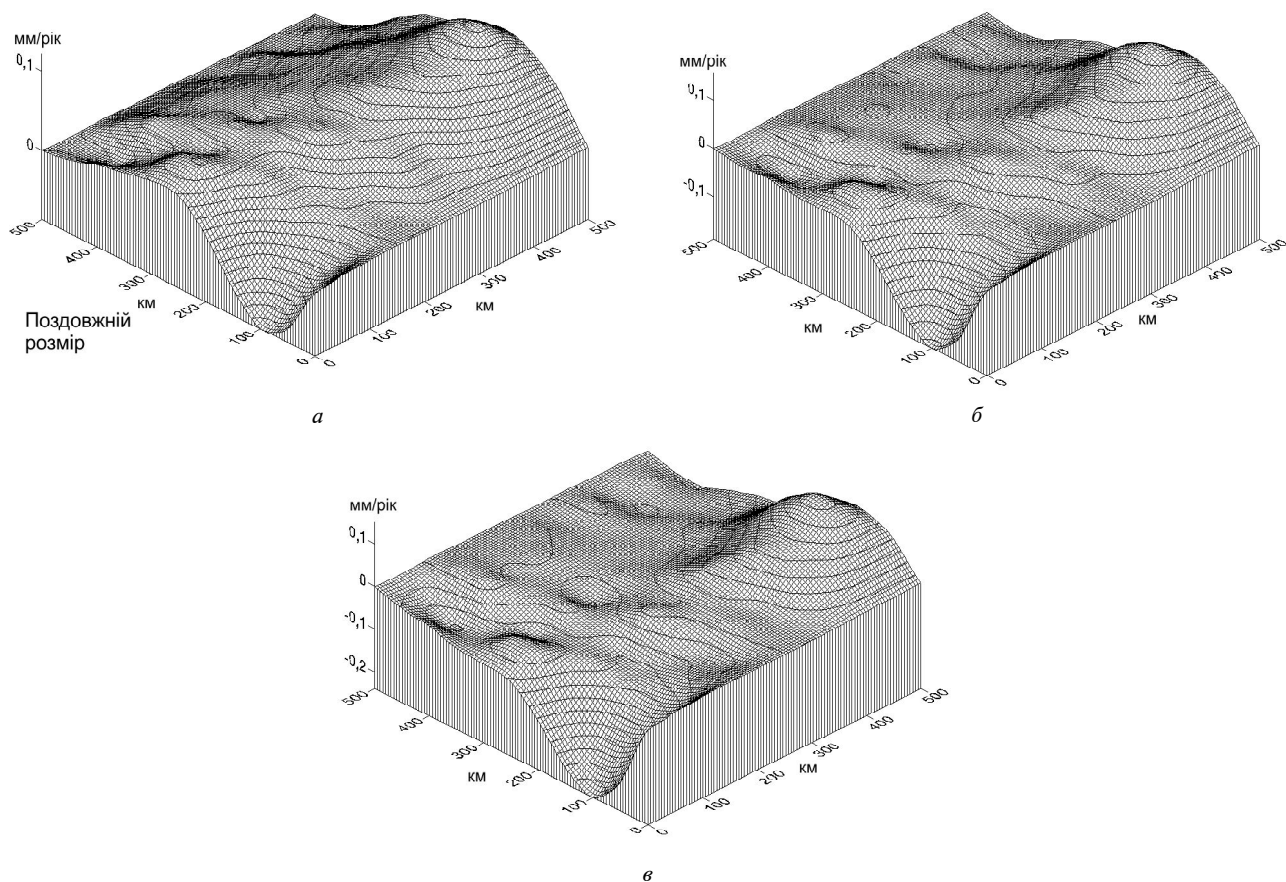
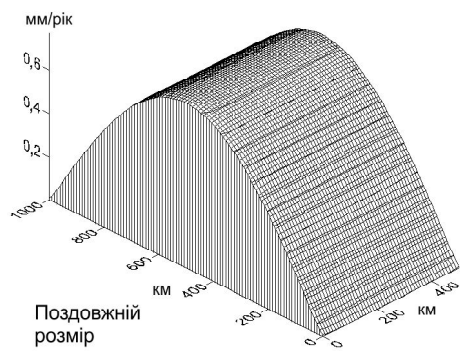
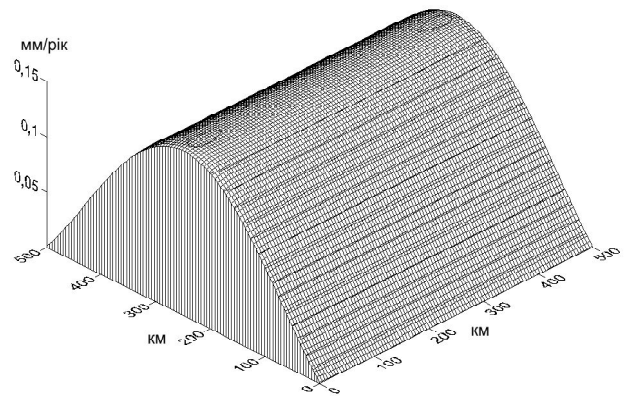


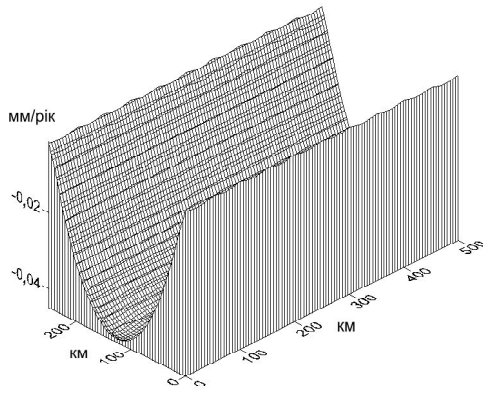
Рис. 2. Процеси формування геоструктур у зоні колізії під дією різноспрямованого горизонтального геотектонічного стискання у корі середньої товщини (з площиною зминання 500×500 км) під кутами до поздовжнього напрямку: а – 30°; б – 45°; в – 60°



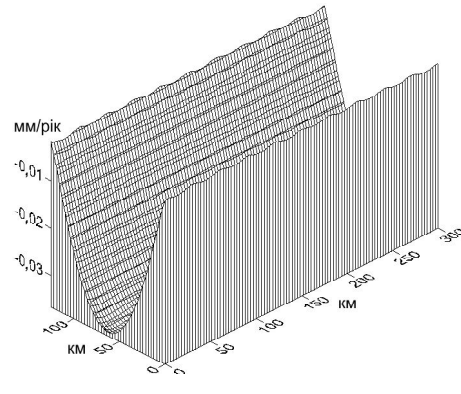
a



б

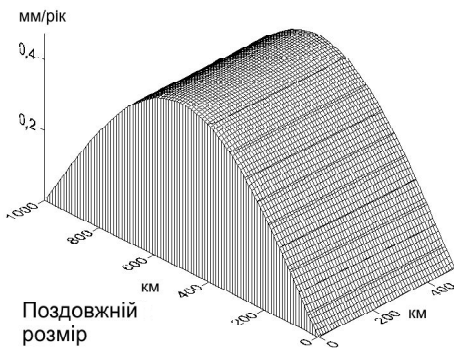


в

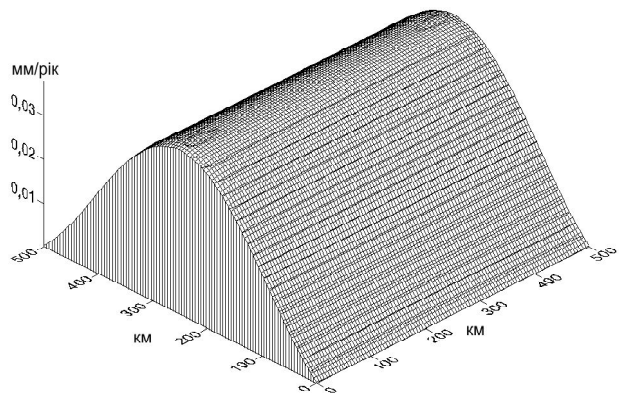


г

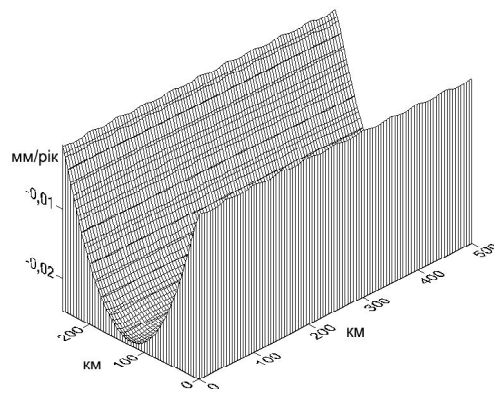
Рис. 3. Процеси формування геоструктур у зоні колізії під дією поздовжнього горизонтального геотектонічного стискання у тонкій земній корі з розмірами площини зминання: *a* – 1000×500 км; *б* – 500×500 км; *в* – 250×500 км; *г* – 125×300 км



a



б



в

Рис. 4. Процеси формування геоструктур у зоні колізії під дією поздовжнього горизонтального геотектонічного стискання у товстій земній корі з розмірами площини зминання: *a* – 1000×500 км; *б* – 500×500 км; *в* – 250×500 км

Висновки. Загальний аналіз результатів чисельного моделювання процесів створення великомасштабних геоструктур у зоні колізії континентів показав, що ці процеси суттєво залежать від розмірів площини зминання земної кори у напрямку дії субгоризонтальної геотектонічної сили і мало залежать від розмірів у поперечному напрямку до дії сили. Для площин зминання земної кори з великими поздовжніми розмірами (у напрямку дії геотектонічних сил) від 1000 км і більше до 270 км утворюються великомасштабні підняття (антиклінорії). Для площин зминання земної кори з поздовжніми розмірами менше зазначених характерний процес утворення великомасштабних опускань (синкліноріїв). При цьому швидкості росту відповідних великомасштабних складок також залежать від поздовжніх розмірів площин зминання земної кори. Вони мають визначені максимуми, а потім поступово зменшуються до нуля з наближенням поздовжніх розмірів площин зминання до нескінченності, точки перегібу ~270 км і нуля відповідно. Встановлено, що під дією субгоризонтальних геотектонічних зусиль, яка спрямована під різними кутами до поздовжнього напрямку площини зминання земної кори, формуються локальні підняття та опускання земної поверхні, при цьому геометрія цих утворень залежить від розмірів площини зминання.

Отримані результати можуть бути використані для дослідження процесів морфології, орогенезу і формування великомасштабних геоструктур в умовах сильного тектонічного стискання. У подальшому становить інтерес використання представленої методики для моделювання у зоні колізії континентів процесів утворення геоструктур у різних (за розмірами і складом) розрізах земної кори.

1. *Гзовский М.В.* Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
2. *Григорьев А.С.* Вопросы интерпретации современных движений земной поверхности, обусловленных движениями фундамента осадочного чехла / А.С. Григорьев, И.М. Волович, А.В. Михайлова // Современные движения земной коры. Морфоструктуры, разломы, сейсмичность. – М.: Наука, 1987. – С. 9–16.
3. *Дортман Н.Б.* Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Н.Б. Дортман. – М.: Недра, 1976. – 527 с.
4. *Карнаухов В.Г.* Связанные задачи теории вязкоупругих пластин и оболочек / В.Г. Карнаухов, И.Ф. Киричок. – Киев: Наук. думка, 1986. – 221 с.
5. *Козлов В.И.* Колебания многослойных ортотропных оболочек вращения с конечной сдвиговой жёсткостью / В.И. Козлов, М.В. Лубков // Труды 15-й науч. конф. молодых учёных Ин-та механики АН УССР, Киев, 1990. – Ч. 2. – Деп. в ВИНТИ 26.10.90, № 3802-В 90. – С. 439–445.
6. *Кристенсен Р.* Введение в теорию вязкоупругости / Р. Кристенсен. – М.: Мир, 1974. – 338 с.
7. *Кукал З.* Скорость геологических процессов / З. Кукал. – М.: Мир, 1987. – 245 с.
8. *Мориц Г.* Вращение Земли: теория и наблюдения / Г. Мориц, А. Мюллер. – К.: Наук. думка, 1992. – 512 с.
9. *Образцов И.Ф.* Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов / И.Ф. Образцов, Л.М. Савельев, Х.С. Хазанов – М.: Высш. шк., 1985. – 329 с.
10. *Тёркот Д.* Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред / Д. Тёркот, Д. Шуберт. – М.: Мир, 1985. – 730 с.
11. *Хаин В.Е.* Геотектоника с основами геодинамики / В.Е. Хаин, М.Г. Ломизе. – М.: Книжный дом Университет, 2005. – 560 с.
12. *Abbott L.D.* Structural evolution of a modern arc-continent collision in Papua New Guinea / L.D. Abbott, E.A. Silver, J. Galewsky // Tectonics. – 1994. – V. 13. – P. 1007–1034.
13. *Brown D.* The growth and destruction of the continental crust during arc-continent collision in the Southern Urals / D. Brown // Tectonophysics. – 2009. – V. 479, issues 1–2. – P. 185–196.
14. *Chemenda A.* Evolutionary model for the Taiwan collision based on physical modelling / A. Chemenda, R. Yang, C. Hseiesh, A. Groholsky // Tectonophysics. – 1997. – V. 274, issues 1–3. – P. 253–274.
15. *Huang C.Y.* Geodynamic processes of Taiwan arc-continent collision and comparison with analogs in Timor, Papua New Guinea, Urals and Corsica / C.Y. Huang, P.B. Yuan, C.W. Lin, T.K. Wang, C.D. Chang // Tectonophysics. – 2000. – V. 325, issues 1–2. – P. 1–21.
16. *Wu F.T.* Taiwan orogeny: thin-skinned or lithospheric collision? / F.T. Wu, R.J. Rau, D. Salzberg // Tectonophysics. – 1997. – V. 274, issues 1–3. – P. 191–220.

ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ГЕОСТРУКТУР В ЗОНЕ КОЛЛИЗИИ КОНТИНЕНТОВ

М.В. Лубков

*Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
ул. Мясоедова, 27/29, Полтава 36029, Украина, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru*

На основе трёхмерной вариационной конечно-элементной методики, в приближении вязкоупругих ортотропных многослойных оболочек, проведено моделирование процесса образования геоструктур в зоне коллизии континентов в случае деформирования полного слоя земной коры. Показано, что эти процессы существенно зависят от размеров плоскости смятия земной коры в направлении действия субгоризонтальной геотектонической силы и мало зависят от размеров в поперечном направлении действия силы. Для плоскостей смятия земной коры с большими размерами в направлении действия геотектонических сил (от 1000 км и больше до 270 км) проявляется процесс образования крупномасштабных поднятий (антиклинориев). Для плоскостей смятия земной коры с соответствующими размерами меньше этой величины характерен процесс образования крупномасштабных опусканий (синклинориев). При этом скорости роста соответствующих крупномасштабных складок зависят от размеров плоскостей смятия земной коры в направлении действия геотектонических сил. Установлено, что под действием субгоризонтальных геотектонических усилий, направленных под разными углами к плоскости смятия земной коры, формируется последовательность локальных поднятий и опусканий земной поверхности, при этом геометрия и скорости роста данных образований также зависят от размеров плоскости смятия земной коры. Изменение толщины земной коры не влияет на качественное изменение общей картины формирования крупномасштабных геоструктур в зоне коллизии континентов. Вместе с тем проявляются заметные количественные различия в скорости роста соответствующих складок. Так, для тонкой земной коры характерны более интенсивные процессы формирования соответствующих геоструктур, по мере увеличения толщины коры (ее общей жёсткости) эти процессы замедляются.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, процессы формирования геоструктур, зона коллизии континентов, земная кора.

PROCESS OF LARGE SCALE GEOSTRUCTURES FORMING IN THE CONTINENTAL COLLISION ZONE

M.V. Lubkov

*Poltava Gravimetric Observatory of Institute of Geophysics of Ukraine National Academy of Science,
27/29 Mysoedova Str., Poltava 36029, Ukraine, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru*

Purpose. Comprehension of the continental lithosphere deforming processes in the continental collision zone is the key point in realizing important problems of modern geotectonics, such as geomorphology, orogeny, geostuctures compress forming processes and many others. Not accidentally a lot of works are devoted to the study of the questions. There are many aspects of the above-mentioned problems presented in the works. But there still are questions connected with the common mechanical laws of the forming and developing of geostuctures in the continental collision zone in certain conditions and scales. The purpose of this article is to understand the geostuctures forming processes in the scale of the whole crust layer in order to get the whole picture of geotectonic events.

Design/methodology/approach. Based on the variation finite element method elaborated for viscoelastic foliated orthotropic shells in view of shift rigidity what permits to allow for heterogeneities of both rheological and geometrical characters of the geodynamic objects, in question, we carried out, modeling of the geostuctures forming processes in the continental collision zone in the case of the whole crust layer deforming.

Findings. The results of computer modeling of large-scale geostuctures forming processes in the continental collision zone show that such processes essentially depend on sizes of the crust contortion planes in the direction of the sub horizontal geotectonic forces action and depend little on the transversal plane sizes. For crust contortion planes with large sizes (in the direction of geotectonic forces action) from 1000 km and more to approximately 270 km, processes of forming large-scale risings (anticlinorium) occur. For crust contortion planes with respective sizes smaller than that value, large-scale fallings (synclinatorium) forming processes take place. Growth velocities of respective large-scale folds also depend on sizes of crust contortion planes in the direction of the geotectonic forces action. Subhorizontal geotectonic force actions at different angles to the crust contortion planes causes formation of alternations of local elevations and depressions, with geometry and growth velocities of the local formations also depending on the crust contortion plane sizes. Changing of the crust power was not found to cause qualitative changes of large-scale geostuctures forming processes in the collision zone. But there appear to be noticeable quantitative distinctions in the growth velocities of respective folds. For the thin crust, respective geostuctures forming processes are more intensive; as the crust thickness becomes bigger, the processes become slower.

Practical value/implications. The obtained results can be used in the study of morphology and orogeny processes, as well as for large-scale geostuctures forming processes under large tectonic compression conditions. For further investigation, it is interesting to use the presented method for modeling, in the continental collision zone, geostuctures forming processes in different (in scales and compositions) crust vertical incisions.

Keywords: computer modeling, geostuctures forming processes, continental collision zone, the crust.

References:

1. Gzovskij M.V. *Osnovy tektonofiziki* [The base of tectonophysics]. Moscow, *Nauka*, 1975, 536 p.
2. Grigor'ev A.S., Volovich I.M., Mihajlova A.V. *Voprosy interpretacii sovremennyh dvizhenij zemnoj poverhnosti, obuslovlennyh dvizhenijami fundamenta osadochnogo chehla* [The interpretation questions of the earth surface movements due to base of the sedimentary layer movements]. *Sovremennye dvizhenija zemnoj kory. Morfostruktury, razlomy, sejsmichnost* [Proc. the modern crust movements. Morphostructures, faults, seismicity]. Moscow, *Nauka*, 1987, pp. 9-16.
3. Dortman N.B. *Fizicheskie svoystva gornykh porod i poleznykh iskopaemykh (petrofizika): Spravochnik geofizika* [Physical properties of rocks and useful fossils (petrophysics): Hand-book of geophysicist]. Moscow, *Nedra*, 1976, 527 p.
4. Karnauhov V.G. *Svjazannye zadachi teorii vjazkouprugih plastin i obolochek* [The connected problems of the viscoelastic plates and shells theory]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1986, 221 p.
5. Kozlov V.I., Lubkov M.V. *Kolebanija mnogoslojnyh ortotropnyh obolochek vrashhenija s konechnoj sdvigovoj zhjostkost'ju* [The oscillations of orthotropic rotation shells with shift rigidity]. *Trudy 15-y nauch. konf. molodyh uchjonyh Instityta mehaniki AN USSR, Kyiv, 1990. chast' 2* [Proc. of 15th scientific conf. of young scientists of the Mechanics Inst. of AN USSR, Kiev 1990. Part. 2. Dep. in VINITI 26.10.90, N 3802-B 90, pp. 439-445.
6. Kristensen R. *Vvedenie v teoriju vjazkouprugosti* [Introduction in the viscoelasticity theory]. Moscow, *Mir*, 1974, 338 p.
7. Kukul Z. *Skorost' geologicheskikh processov* [Velocity of the geophysical processes]. Moscow, *Mir*, 1987, 245 p.
8. Moric G., Mjuller A. *Vrashhenie Zemli: teorija i nabljudenija* [The earth rotation: theory and observations]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1992, 512 p.
9. Obratsov I.F., Savel'ev L.M., Khazanov Kh.S. *Metod konechnykh elementov v zadachakh stroitel'noy mekhaniki letatel'nykh apparatov* [Finite element method in the building mechanics of flying devices problems]. Moscow, *High school*, 1985, 329 p.
10. Tjorkot D., Shubert D. *Geodinamika. Geologicheskie prilozhenija fiziki sploshnyh sred* [Geodynamics. Geophysical applications of the continuum physics]. Moscow, *Mir*, 1985, 730 p.
11. Hain V. E., Lomize M. G. *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with the base of geodynamics]. Moscow, *Knizhnyy dom Universitet*, 2005, 560 p.
12. Abbott L.D., Silver E.A., Galewsky J. Structural evolution of a modern arc-continent collision in Papua New Guinea. *Tectonics*, 1994, vol. 13, pp. 1007-1034.
13. Brown D. The growth and destruction of the continental crust during arc-continent collision in the Southern Urals. *Tectonophysics*, 2009, vol. 479, issues 1-2. pp. 185-196.
14. Chemenda A., Yang R., Hseiesh C., Groholsky A. Evolutionary model for the Taiwan collision based on physical modeling. *Tectonophysics*, 1997, vol. 274, issues 1-3. pp. 253-274.
15. Huang C.Y., Yuan P.B., Lin C.W., Wang T.K., Chang C.D. Geodynamic processes of Taiwan arc-continent collision and comparison with analogs in Timor, Papua New Guinea, Urals and Corsica. *Tectonophysics*, 2000, vol. 325, issues 1-2. pp. 1-21.
16. Wu F.T., Rau R.J., Salzberg D. Taiwan orogeny: thin-skinned or lithospheric collision? *Tectonophysics*, 1997, vol. 274, issues 1-3. pp. 191-220.

Надійшла до редакції 11.02.2015 р.
Received 11/02/2015