

## ВПЛИВ СУБГОРИЗОНТАЛЬНИХ РУХІВ НА РОЗВИТОК ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

© М.В. Лубков, 2008

*Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Полтава, Україна*

On the basis of computer modeling of the mechanical behavior in the Dneper-Donets depression under the impact of the slow sub horizontal movements it was shown that stretching efforts from the driving lower part of the consolidate crust promote a more effective putting down of the before rifting fundamental blocks of the hollow than the process that takes place due to the compression of the hollow sides. Moreover, compression side movements cause the fold forming not only on the sides of the depression, but in its central part, meanwhile stretching movements cause the fold forming only on its sides. The analysis of the mechanical behavior of the consolidate cross crust section in the before rifting period shows that sub horizontal compressions only cannot cause the putting down of crystalline fundamental blocks, at the same time stretching movements could cause the formation of a narrow and deep dyke, which might have become the ancestor of the present rift.

**Вступ.** Накопичені на цей час знання засвідчують, що Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) протягом свого зародження та розвитку піддавалася послідовному впливу як розтяжних, так і стискних зусиль у субгоризонтальному напрямку. Так, початок активної фази магматичного рифтогенезу ДДЗ, пов'язаний із підійманням серії потужних мантийних діапирів (астенолітів), датується періодом приблизно 380 млн років тому [1]. Зокрема, дані щодо осадонагромадження [2] дають змогу дійти висновку про те, що протягом тимчасового інтервалу, 380–360 млн років тому, ДДЗ зазнала послідовної дії трьох астенолітів, або так званих квантів тектонічної дії (КТД). Передбачається, що на першій стадії дія астеноліту зумовила короткочасне та незначне підіймання кори із подальшим переміщенням нижньокорової речовини в субгоризонтальному напрямку до периферій рифтогену. Це привело до істотного розтягування консолідованої земної кори, її стоншення і, як наслідок, опускання блоків дорифейського фундаменту. Постгерцинська історія розвитку ДДЗ характеризується різким зниженням інтенсивності осадонагромадження [2], однак відома кімерійська активізація ДДЗ, а також зафіксована сучасна активізація південного сходу ДДЗ та Донецького складчастого спорудження (ДСС), які теж пов'язують із діями КТД [2, 3].

Разом з тим існує чимало фактів, які вказують на те, що протягом усього свого розвитку ДДЗ зазнавала субгоризонтальне стискання. Так, протягом останніх  $1650 \pm 50$  млн років район Східноєвропейської континентальної плити, до складу якої входить ДДЗ, корелювався з режимом розвитку палеоокеанів: Палеоуральського, Палеотетису, Тетису та інших, які розміщувалися по периметру літосферної плити та були марко-

вані складчастими системами байкалід, каледонід, герценід і кімеридо-альпід [4, 5]. Втім у розрізах осадового чохла Дніпровсько-Донецького авлакогену встановлені різноманітні структури, що фіксують стискання у широкому стратиграфічному діапазоні (від  $D_2$  до KZ) – скиди, скидо-насуви, зсуви, горст-антиклиналі [5].

Таким чином, у формуванні й розвитку Дніпровсько-Донецького авлакогену брали участь як розтяжні, так і стискні субгоризонтальні рухи земної кори. Становить інтерес дослідження впливу цих рухів на розвиток ДДЗ із механічного погляду.

У статті на основі варіаційної скінченно-елементної методики [6] описано моделювання повільних вертикальних рухів в околі ДДЗ, які виникають під дією горизонтальних розтяжних зусиль і які прикладені до нижньої межі консолідованої кори, а також під дією бічних стискних зусиль у дорифейській та сучасний періоди.

**Постановка задачі.** Під час моделювання динамічної поведінки ДДЗ під впливом субгоризонтальних рухів розглянуто три її складові частини: південно-східна (Харківський мегаблок), центральна (Полтавський мегаблок), північно-західна (Чернігівський мегаблок). Оскільки поперечні розміри мегаблоків істотно менші за їхні поздовжні розміри для моделювання їх механічну поведінку можна розглядати як плоску. Нехтуючи анізотропією, пов'язаною із тріщинуватістю порід, для описання реологічних процесів скористаємося ізотропною в'язкопружною моделлю Кельвіна [7]. У цьому випадку загальна механічна постановка задачі в системі відліку, яка жорстко пов'язана з розглянутими тектонічними мегаблоками, має вигляд:

$$\rho \ddot{u}_i + \sigma_{ij,j} + F_i = 0; \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = 2\mu \varepsilon_{ij} + 2\eta_v \dot{\varepsilon}_{ij} + k\theta \delta_{ij}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} n_j - f_i = 0; \quad u_i = u_i^*; \quad (4)$$

$$\dot{u}_i = \dot{u}_i^*. \quad (5)$$

Тут (1) – рівняння руху; (2) – фізичні співвідношення; (3) – співвідношення Коші; (4) – граничні умови I й II роду відповідно; (5) – початкові умови;  $u_i$  – компоненти переміщень;  $\sigma_{ij}$  – компоненти тензора напружень;  $\varepsilon_{ij}$  – компоненти тензора деформацій;  $F_i$  – компонента об'ємної сили, яка в цьому випадку збігається із силою тяжіння;  $f_i$  – поверхневі зовнішні сили;  $n_j$  – одиничний вектор нормалі до поверхні;  $\rho$  – густина;  $\mu$  – модуль зсуву;  $k$  – модуль всебічного стиснення;  $\theta$  – дилатація;  $\eta_v$  – динамічна в'язкість;  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера.

Взявши за  $\omega$  характерну циклічну частоту повільного встановленого процесу, складемо функціонал Лагранжа, що виражає повну енергію розглянутого об'єкта у формі переміщень [6], у нерухомій декартовій системі координат:

$$E = \frac{1}{2} \iint_S [C_1 (\varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{yy}^2) + 4C_2 \varepsilon_{xy}^2 + 2C_3 \varepsilon_{xx} \varepsilon_{yy} - \rho \omega^2 (u^2 + w^2) - 2\rho g w] dx dy - \int_L (f_{xn} u + f_{yn} w) dl, \quad (6)$$

де

$$C_1 = k + 4(\mu + i\omega\eta_v)/3,$$

$$C_2 = \mu + i\omega\eta_v,$$

$$C_3 = k + 4(\mu + i\omega\eta_v)/3 -$$

комплексні коефіцієнти;  $u, w$  – компоненти переміщень уздовж осей  $x$  і  $y$  відповідно;  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $i$  – уявна одиниця;  $S$  – площа поперечного перерізу розглянутого об'єкта;  $L$  – контур, що охоплює площу  $S$ ;  $dl$  – елемент контуру.

**Моделювання механічної поведінки ДДЗ під дією субгоризонтальних рухів.** Для розв'язання системи рівнянь (1)–(5), застосовували метод скінченних елементів у формі переміщень, заснований на варіаційному принципі Лагранжа [6], що виражає мінімум повної енергії системи і зводиться до розв'язання варіаційного рівняння:

$$\delta E(u, w) = 0. \quad (7)$$

Скінченно-елементна методика розв'язання задачі наведена у статті [8]. В результаті розв'язання визначають компоненти переміщень в усіх вузлових точках скінченно-елементної сітки. Виходячи із знайдених вузлових компонент, визначають переміщення та будь-які величини, що цікавлять, у довільній точці скінченного елемента, тобто в будь-якій точці досліджуваного об'єкта.

Під час моделювання динамічної поведінки ДДЗ під дією розтяжних і стискних у горизонтальному напрямку зусиль як об'єкти дослідження були вибрані умовні розрізи консолідованої

кори, характерні для північно-західного (Чернігівського), центрального (Полтавського) і південно-східного (Харківського) мегаблоків ДДЗ [9]. Для кожного мегаблока вибрано характерні геологічні розподіли осадових, гранітизованих і базальтових порід.

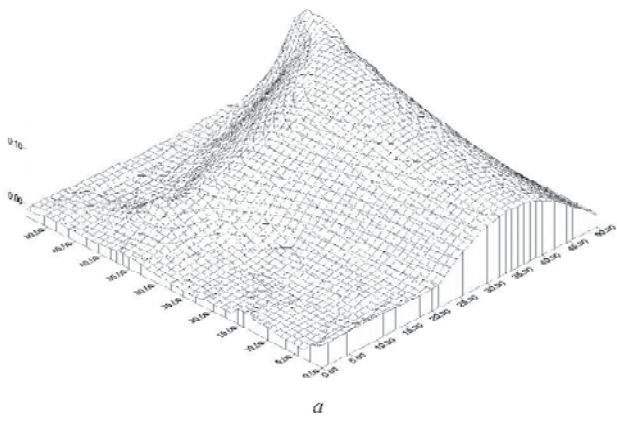
Так, для Чернігівського мегаблока розподіл на осі авлакогену взято у співвідношенні: глини, алеврити – 2 км; пісковики – 1; алевроліти – 1; доломіти – 1; гранітизовані породи – 19; породи базальтового шару – 13 км. Потім цей розподіл плавно переходить у відповідні мегаструктури Українського щита (УЩ) і Воронезького кристалічного масиву (ВКМ), які в цьому місці мають приблизно однакову будову: 0,5 км – осадових порід; 44,5 – гранітизованих порід, 10 км – порід базальтового шару.

Для Полтавського мегаблока розподіл на осі авлакогену взято у співвідношенні: глини, алеврити – 2 км; пісковики – 4; алевроліти – 2; доломіти – 2; граніти – 8; базальти – 15. Далі цей розподіл плавно переходить у відповідні мегаструктури УЩ і ВКМ, які в цьому місці мають будову, подібну до будови аналогів Чернігівського мегаблока.

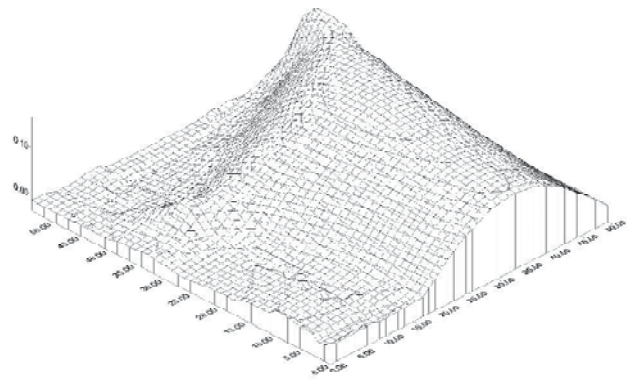
Для Харківського мегаблока розподіл на осі авлакогену взято у співвідношенні: глини, алеврити – 2 км; пісковики – 8; алевроліти – 5; доломіти – 3; граніти – 5; базальти – 17 км. Потім цей розподіл плавно переходить у відповідні мегаструктури УЩ і ВКМ, які також мають приблизно однакову будову: 0,5 км осадових порід; 39,5 – гранітизованих порід, 10 км – порід базальтового шару [5, 9].

Під час моделювання динамічної поведінки ДДЗ під впливом субгоризонтальних рухів у дорифейський період було вибрано розподіл порід, відповідний мегаструктурам УЩ і ВКМ, які знаходяться на межі із Полтавським та Чернігівським мегаблоками.

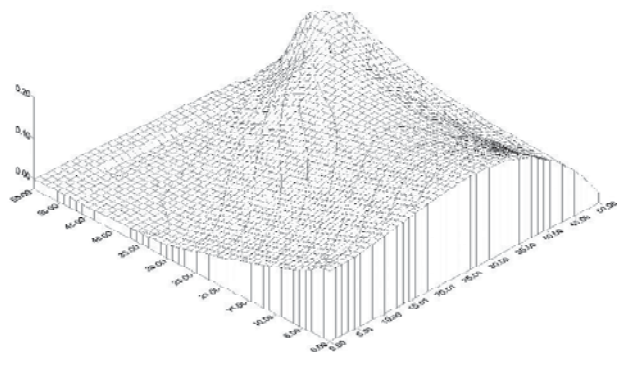
Внаслідок приблизно симетричної будови зазначених мегаблоків ДДЗ [5, 9], для моделювання обмежимося розглядом їх симетричних фрагментів. На рис. 1–3 показано поверхневі діаграми залежності вертикальної складової швидкості повільних рухів розглянутих структур Чернігівського, Полтавського й Харківського мегаблоків під впливом гравітації та субгоризонтальних рухів. Тут по осі  $z$  відкладена вертикальна складова швидкості, мм/рік; по осі  $x$  – відкладена відстань від осі авлакогену у бік бортової зони, км; по осі  $y$  – глибина, км. Діаграми (а) описують механічне розтягнення відповідних структур, що виникає в результаті руху нижньої межі консолідованої кори від осі авлакогену у бік периферії зі швидкістю 1 мм/рік. Діаграми (б) описують механічне стиснення структур, що виникає в результаті бічного руху бортів западини у бік її осі зі швидкістю 1 мм/рік. На рис. 4 відображено ме-



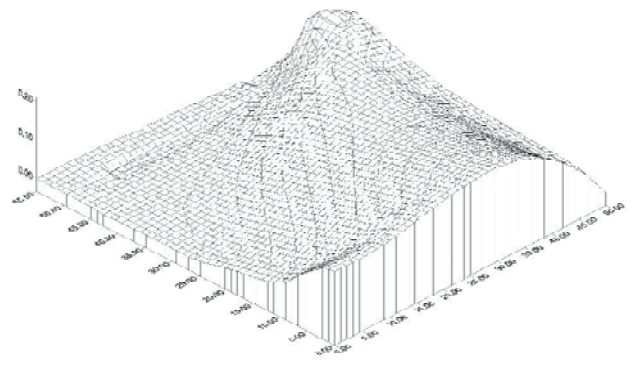
a



a



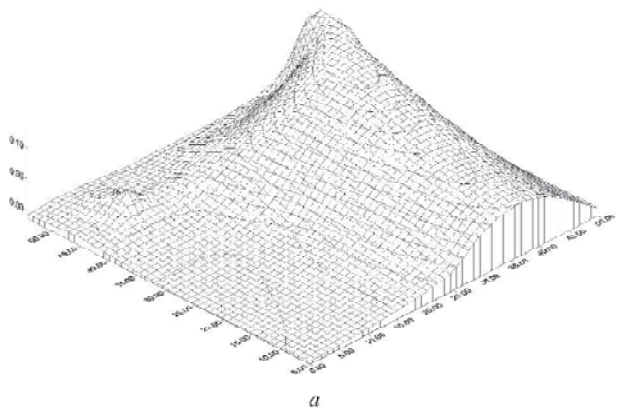
б



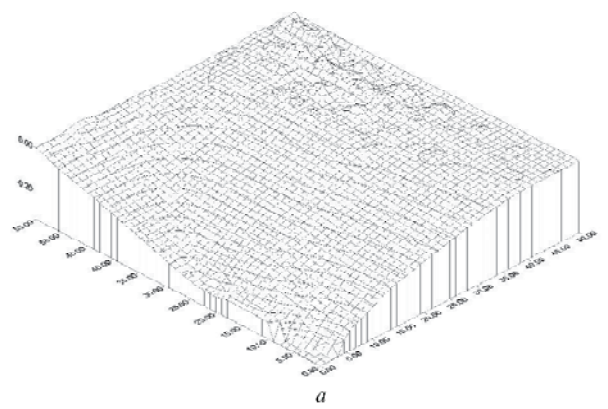
б

Рис. 1. Моделі повільних вертикальних рухів під впливом розтяжних (a) та стискних (б) горизонтальних зусиль у північно-західному (Чернігівському) мегаблоці ДДЗ

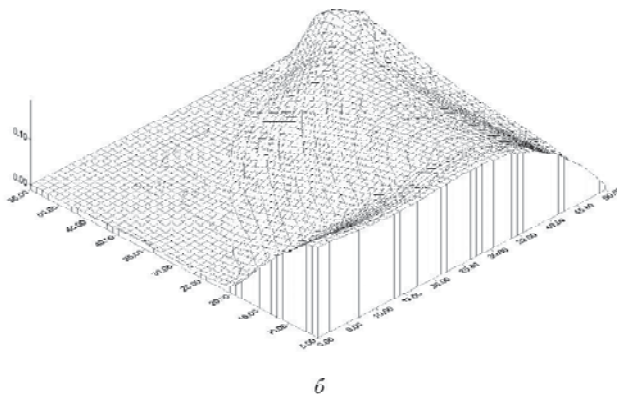
Рис. 2. Моделі повільних вертикальних рухів під впливом розтяжних (a) та стискних (б) горизонтальних зусиль у центральному (Полтавському) мегаблоці ДДЗ



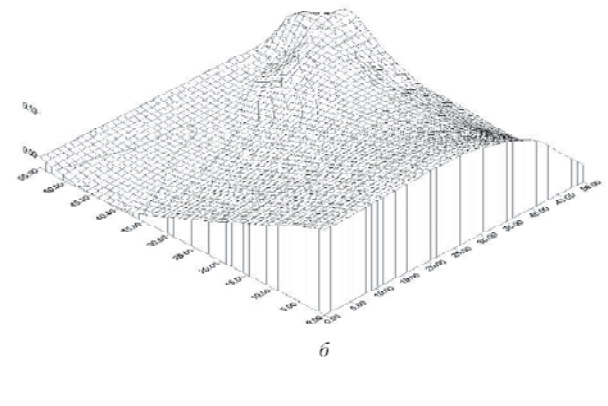
a



a



б



б

Рис. 3. Моделі повільних вертикальних рухів під впливом розтяжних (a) та стискних (б) горизонтальних зусиль у південно-східному (Харківському) мегаблоці ДДЗ

Рис. 4. Моделі повільних вертикальних рухів під впливом розтяжних (a) та стискних (б) горизонтальних зусиль на місці ДДЗ у дорифейській період



ханічну поведінку розрізу консолідованої кори на місці ДДЗ під дією описаних вище субгоризонтальних рухів у дорифейський період. Під час моделювання розглянутих повільних механічних рухів значення швидкості 1 мм/рік вибрано умовно, його не можна прив'язати до будь-яких конкретних подій в історії розвитку ДДЗ.

Аналіз діаграм показує, що розтяжні рухи зумовили ефективніше просідання центральної частини авлакогену, ніж це могло бути спричинено рухами бічного стиснення. Більше того, бічне стиснення приводить до помітного складкоутворення не лише на бортах авлакогену, а й у його центральній частині, тоді як розтяжні рухи сприяють складкоутворенню тільки на його периферії. Зіставлення отриманої інформації відносно складових частин ДДЗ (Чернігівського, Полтавського, Харківського мегаблоків) показало, що чим глибше розміщується блок западини, тим інтенсивнішою дією з боку субгоризонтальних рухів він зазнає.

Згідно з аналізом механічної поведінки розрізу консолідованої кори на місці розміщення ДДЗ у дорифейський період, одні лише субгоризонтальні стиснення не могли привести до осідання блоків дорифейського фундаменту і, таким чином, до рифтоутворення. Водночас субгоризонтальні розтягання в цьому місці могли обумовити формування вузького й глибокого рову, що міг виявитися прабатьком нині існуючого авлакогену (рис. 4, б).

*М.В. Лубков*

## ВПЛИВ СУБГОРИЗОНТАЛЬНИХ РУХІВ НА РОЗВИТОК ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

На основі чисельного моделювання механічної поведінки Дніпровсько-Донецького авлакогену під впливом повільних субгоризонтальних рухів було показано, що розтяжні з боку рухомої частини нижньої консолідованої кори зусилля сприяють ефективнішому осіданню блоків дорифейського фундаменту авлакогену, ніж у результаті стиснення його бортів. Більше того, стискні бічні рухи приводять до складкоутворення не лише на бортах авлакогену, а й у його центральній частині, тоді як розтяжні рухи сприяють утворенню складок тільки на його периферіях. Аналіз механічної поведінки розрізу консолідованої кори ДДЗ в дорифейський період показав, що одні лише субгоризонтальні стиснення не в змозі привести до осідання блоків кристалічного фундаменту, водночас субгоризонтальні розтягнення певною мірою могли обумовити утворення вузького та глибокого рову, який міг стати засновником сучасного авлакогену.

*М.В. Лубков*

## ВЛИЯНИЕ СУБГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

На основе численного моделирования механического поведения Днепро-Донецкого авлакогена под влиянием медленных субгоризонтальных движений было показано, что растягивающие со стороны движущейся нижней части консолидированной коры усилия способствуют более эффективному проседанию блоков дорифейского фундамента авлакогена, нежели в результате бокового сжатия его бортов. Более того, сжимающие движения приводят к образованию складчатости не только на бортах авлакогена, но и в его центральной части, в то время как растягивающие движения способствуют образованию складчатости только на его перифериях. Анализ механического поведения разреза консолидированной коры ДДЗ в дорифейский период показывает, что одни лишь субгоризонтальные сжатия не в состоянии привести к проседанию блоков кристаллического фундамента, в то же время субгоризонтальные растяжения вполне могут обусловить образование узкого и глубокого рва, который мог оказаться родоначальником современного авлакогена.

1. *Гавриш В.К., Рябчун А.И.* О связи рифтообразования и вулканизма // Вулканизм и рудные формации Днепро-Донецкой впадины и Донбасса. – Киев: Наук. думка, 1997. – С. 23–34.
2. *Гордиенко В.В., Усенко О.В.* Процесс рифтогенеза на примере герцинского Днепро-Донецкого рифта // Геофиз. журн. – 2002. – 24, № 4. – С. 42–59.
3. *Гавриш В.К., Забелло Г.Д., Рябчун Л.М.* Геология и нефтегазоносность Днепро-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие. – Киев: Наук. думка, 1989. – 208 с.
4. *Истомин А.Н.* Научно-теоретическое обоснование выявления крупных месторождений углеводородов в зонах сжатия (на примере Днепро-Донецкой впадины) // Питання розвитку газової пром-сті України. – 1999. – Вип. 27. – С. 63–80.
5. *Истомин А.Н., Евдошук Н.И.* Геодинамические условия формирования Днепро-Донецкой впадины // Геофиз. журн. – 2002. – 24, № 6. – С. 143–155.
6. *Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С.* Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высш. шк., 1985. – 329 с.
7. *Буллен К.Е.* Плотность Земли. – М.: Мир, 1978. – 442 с.
8. *Лубков М.В.* Определение статических чисел Лява и Шида методом конечных элементов // Геофиз. журн. – 2004. – 26, № 6. – С. 147–150.
9. *Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины. – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.

*Надійшла в редакцію 25.03.2008 р.*