

ГЕОДИНАМІЧНІ ТА ГЕОФІЗИЧНІ ЕФЕКТИ У ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЯХ ВЗАЄМОДІЙ ОБОЛОНОК ЗЕМЛІ

Проаналізовано перспективи створення нових фізичних моделей, що описують структури Землі та їхню еволюцію, а також методичних підходів щодо класифікації структур і вимірювання параметрів фізичних полів Землі. Зазначено, що дослідження глибинної будови, складу і геодинаміки літосфери континентів і океанів дає змогу виділити системи, пов'язані з глобальними процесами розвитку Землі (рифти, глибокі нескомпенсовані западини, континенти, океани) і регіональними явищами всередині континентів і океанів.

Ключові слова: геодинаміка, термодинаміка, тектоніка, структури Землі, моделювання, глибинні процеси, фізичне моделювання.

Вступ

Метод моделювання головний у науці. Створити деяку структурну модель – означає вилучити в досліджуваному об'єкті головні визначальні елементи і відтворити в чистому вигляді їхню взаємодію. Це відтворення, як відомо, можна реалізувати або математично (шляхом складання рівнянь), або за допомогою експерименту. Залежно від складності об'єкта і режиму його розвитку процес моделювання можна також розділяти на низку етапів, для кожного з яких можлива своя особлива модель.

Сучасна методологія геофізики і структурування геофізичного середовища

У загальному випадку виділяють три типи геофізичних завдань – побудова фізичних моделей об'єкта, одержання зображення об'єкта в геофізичних полях і геологічна класифікація об'єктів. Головна розбіжність між цими завданнями полягає в співвідношенні кількісно оцінюваної точності і геологічної інформативності одержуваних результатів, що впливає з принципу додатковості цих характеристик [Braitenberg et al., 2002; Фурман, 2011; Ebbing et al., 2001]. Під час конкретних геофізичних досліджень співвідношення значень важливості різних геофізичних задач в одержанні геологічної інформації залежить від декількох чинників: типу використовуваних полів, масштабу геофізичних досліджень, рівня розвитку конкретного геофізичного методу, ступеня комплексування різних геофізичних методів у цих дослідженнях та інтегрування цих досліджень з геологічними, гідродинамічними, геохімічними й іншими видами досліджень геологічного середовища. Для вивчення ж геологічного середовища за сейсмічним полем нині найважливіше значення має формування його сейсмічного зображення. Завдання побудови швидкісної моделі середовища відіграє тільки допоміжну роль, оскільки наближення сейсмічного зображення є значно вищим, ніж наближення сейсмічної моделі. Сейсмічне зображення не дає змоги визначити фізичні параметри середовища (і в цьому принципова відмінність зображення від моделі), проте за його допомогою можна успішно вирішувати структурні геологічні завдання та підготувати вихідний матеріал для

вирішення завдань третього типу – завдань класифікації.

Наприклад, у регіональних дослідженнях головна мета гравіметричного методу – побудова щільнісної моделі земної кори. У вивченні локальних структур можливості кількісної інтерпретації зменшуються внаслідок більшої складності досліджуваних об'єктів, а саме – через їхній взаємний вплив у гравітаційному полі. Тут ситуацію, зазвичай, може змінити використання матеріалів інших геофізичних методів, тобто комплексування різних геофізичних методів. У детальних гравіметричних дослідженнях, наприклад, у рудних районах провідну роль починають відігравати геофізичні аномалії [Фурман, 2007, Sang-Mook Lee, 2004].

Під час регіональних сейсмічних досліджень, наприклад, для глибинного сейсмічного зондування головне завдання полягає в побудові швидкісної моделі земної кори. У граничному випадку дрібномасштабних досліджень – вивчення Землі загалом – завдання побудови швидкісної моделі також домінує. Однак для вивчення локальних структур [Фурман, 2009] головну інформацію дає вирішення завдання побудови сейсмічного зображення. Водночас необхідно зазначити зміну послідовності вирішення геофізичних завдань для різних масштабів досліджень.

У детальних дослідженнях конкретних структур на етапі їхнього промислового використання, коли головним завданням геофізики є класифікація, завдання побудови фізичної моделі і зображення необхідно виконати раніше. Для цього недостатньо побудови фізичних моделей досліджуваних об'єктів, а необхідне їхнє високороздільне зображення в геофізичних полях і їхня геологічна класифікація по цих полях.

Важливим аспектом є проблема прикладних досліджень у науках про Землю, оскільки питання структурування середовища важливі для практики не менше, ніж для фундаментальних проблем, тому в багатьох працях можна використати їхні фундаментальні результати для вирішення прикладних проблем. Серед досліджень, присвячених вивченню блокових структур, важливими є праці з розломоутворення в літосфері у зонах стиску [Steven, 2002]. З'ясовано, що руйнування літо-

сфери під час тектонічного стиску відбувається значно повільніше, ніж під час розтягу і потребує великих витрат енергії. Виявлено розходження в тектонофізичних умовах формування, з одного боку, насувів і підкидів, та з іншого, – скидів і зсувів. Система блоків літосфери утворює дискретний ієрархічний ряд з визначеними модами переважних розмірів, що різні в регіонах з різними геодинамічними режимами. За допомогою математичного моделювання опрацьовано алгоритм розрахунку глибин проникнення розломів, що розвиваються в різних геологічних умовах.

Моделювання механізмів формування і перетворення структур

Дослідження глибинної будови, складу та геодинаміки літосфери континентів і океанів дає змогу виділити системи, пов'язані з глобальними процесами розвитку Землі (рифти, глибокі несконденсовані западини, континенти, океани) і регіональними явищами всередині континентів і океанів (рухливі пояси, кратони тощо). В [Braitenberg et al., 2002] запропоновано якісно новий підхід до проблеми вивчення і моделювання глобальних двошарових структур, характерних для земної кори і верхньої мантії, та започатковано опрацювання геотектонічної концепції, відповідно до якої Земля має вигляд сфери, внутрішній об'єм якої розігрівается і розширюється, а зовнішня оболонка, остигаючи і стискаючись, стримує це розширення, піддаючись відповідному деформуванню, руйнуванню і структуруванню. Згідно із зазначеною концепцією, головні процеси і структури в зовнішніх геосферах Землі повинні залежати від поведінки сферичної оболонки під час її деформування [Braitenberg et al., 2002; Фурман, 2011; Ebbing et al., 2001].

Втрата міцності континентальної літосфери й утворення мобільних поясів, розглянуті в [Фурман, 2011; Ebbing et al., 2001], ґрунтуються на гіпотезі про інфільтрації водовмісного флюїду з астеносфери. Внаслідок прояву ефекту Ребіндера літосфера втрачає міцність і з'являється можливість наступного сильного стиску континентальної кори в складчастий пояс.

Низка праць [Braitenberg et al., 2002; Sang-Mook Lee, 2004; Steven, 2002; Фурман, Хомяк, 2012; Davaille et al., 2008] присвячена дослідженню виявів зсувів у земній корі. Зсув наявний у твердому тілі в усіх видах напруженого стану, крім суто гідростатичного. Тому зсувні процеси відіграють важливу роль у формуванні структурних елементів на всіх масштабних рівнях. Доведено наявність двох стадій подрібнення: первинної, що відповідає досягненню межі міцності, і вторинної, пов'язаної із позамежним деформуванням зруйнованого середовища. Виявлено, що кожній стадії подрібнення відповідає свій статистичний розподіл шматків за розмірами. Досліджені в цих експериментах фізичні

явища характерні для процесів, масштаб яких зумовлений зонами всебічного стиску, що переважають у земній корі і створюють уявлення про механізми перетворення блокових структур у розломних зонах інтенсивних зсувних деформацій.

Дослідження конвективних плинів з використанням теоретичного й експериментального моделювання глибинної геодинаміки повинні визначати вивчення структури двошарової конвекції, а також створити можливість експериментального перебування межі виникнення турбулентного режиму конвекції в горизонтальному шарі, що підігрівается знизу. Тоді можна оцінити енергетичні, тимчасові й просторові параметри теплових плюмів і гарячих точок Землі. Отже, континенти постійно дрейфують по поверхні Землі, спричиняючи перебудову мантійних плинів під собою і, як наслідок, формуючи структури рельєфу.

Прогрес у вивченні тектоніки платформ нині залежить від опрацювання, насамперед, таких фундаментальних проблем [Braitenberg et al., 2002; Sang-Mook Lee, 2004; Steven, 2002]:

- моделі будови й особливості процесів у різних шарах кори від межі М (Мохо) до осадового чохла; взаємодія шарів;
- масштаби і форми тектонічної активності платформ, у тому числі (а з практичних розумінь насамперед) сучасної;
- джерела сил, механізми їхнього передавання і дії; напружений стан літосфери; взаємодія платформ і рухливих поясів;
- речовина: джерела, перерозподіл, перетворення і концентрація (у тому числі у вигляді родовищ мінеральної сировини) під час седиментогенезу і літогенезу та у процесі масообміну між оболонками.

Реальна неоднорідна тверда кора Землі досить складна, тому найінформативнішим видається використання регіонального підходу для аналізу геологічних структур, а не окремих локальних ділянок, а для глобальної моделі планети необхідним є врахування повного набору спостережуваних на Землі структур. Фізичне моделювання для виявлення зв'язку деформації розтягання зі зростанням розривів і зміною їхньої густини під час формування великих розривів засвідчило залежність між названими процесами у реальних геодинамічних моделях для різних ситуацій, що враховують внесок головних діючих сил і взаємодію різних шарів літосфери [Sang-Mook Lee, 2004] від осадових чохла до нижніх горизонтів кори.

Висновки

Отже, якщо з погляду фізики завданням досліджень є створення фізичної моделі досліджуваного об'єкта, то з погляду проблеми геофізичних досліджень опрацювання фізичної моделі перший етап досліджень, за яким настають етапи фор-

мування геофізичного зображення об'єкта, а потім вирішення завдання геологічної класифікації [Sang-Mook Lee, 2004; Фурман, Хомяк, 2012; Davaille et al., 2008; Cammarano et al., 2003], вивчення геодинамічних умов деформування порід у різних внутрішньоолитних обстановках з оцінкою внеску всіх сил, створення узагальнюючих моделей деформації для структур різного масштабу й у різних обставинах з урахуванням, коли це необхідно, взаємодії різних шарів земної кори, реконструкція і вивчення зон динамічного впливу.

Література

- Фурман В.В. Взаємозв'язок геодинамічних і геофізичних ефектів у фізичних моделях взаємодій оболонок Землі // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2007. Вип. 21. С. 3-34.
- Фурман В.В. Термодинамічні умови формування конвективних потоків верхньої мантії Землі // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2009. Вип.23., С. 82-88.
- Фурман В.В. Моделювання взаємозв'язку геологічних процесів в корі та мантії Землі // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. Вип.25. 2011, с. 63-87
- Фурман В.В., Хомяк М.М. Моделювання тепло-

- переносу та теплової дифузії плиннів мантійних плюмів мантії Землі // Елект. та інф. Технології", 2012, Вип. 2, с. 105-110.
- Braitenberg C., Ebbing J., Götze H.-J. Inverse modelling of elastic thickness by convolution method – the Eastern Alps as a case example // Earth and Plan. Sci. Lett. 2002. Vol. 202, P. 387-404.
- Cammarano F., Goes S., Vacher P., Giardini D. Inferring upper-mantle temperatures from seismic velocities // Phys. of the Earth and Plan. Int. – 2003. – Vol. 138. – P. 197-222
- Davaille A., Girard F., Bars M. Le. How to anchor hotspots in a convecting mantle // Earth Planet. Sci. Lett. – 2008. – Vol. 203. – P. 621-634.
- Ebbing J., Braitenberg C., Götze H.J. Forward and inverse modelling of gravity revealing insight into crustal structures of the Eastern Alps // Tectonophys. 2001. Vol. 337. N 3–s4. P. 191-208.
- Sang-Mook Lee. Deformation from the convergence of oceanic lithosphere into Yap trench and its implications for early-stage subduction // J. of Geodynamics. 2004. Vol. 37. P. 83-102.
- Steven P. Grand Mantle shear-wave tomography and the fate of subducted slabs // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 2002. A. Vol. 360. P. 2475-2491.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ОБОЛОЧЕК ЗЕМЛИ

В.В. Фурман, Н.Н. Хомяк

Проанализированы перспективы создания новых физических моделей, которые описывают структуры Земли и их эволюцию, а также методических подходов относительно классификации структур и измерение параметров физических полей Земли. Указано, что исследования глубинного строения, состава и геодинамики литосферы континентов и океанов дает возможность выделить системы, связанные с глобальными процессами развития Земли (рифты, глубокие некомпенсированные впадины, континенты, океаны) и региональными явлениями внутри континентов и океанов.

Ключевые слова: геодинамика, термодинамика, тектоника, структуры Земли, моделирование, глубинные процессы, физическое моделирование.

GEODYNAMIC AND GEOPHYSICAL EFFECTS IN THE PHYSICAL MODELS OF INTERACTIONS BETWEEN THE EARTH'S STRUCTURAL SHELLS

V.V. Fourman, N.N. Khomjak

Perspectives of the creating of the new physical models concerning the structure of the Earth, their evolution and methodology of the structure classification and parameter measuring of the Earth's physical fields are analyzed. It is pointed out that investigation of the deep structure, composition and geodynamics of the continental and oceanic lithosphere gives the possibility to distinguish the system connected with global processes of Earth's development (rifts, uncompensated deeps, continents, oceans).

Key words: Geodynamics, Thermodynamics; Tectonics, structure of the Earth; modelling; deep processes; physical modeling.