

ДЕФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ, РАЗУПЛОТНЕНИЯ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВО ВНУТРЕННИХ СТРУКТУРАХ ЗЕМЛИ

На основе нелинейной теории деформируемых твердых тел исследуются процессы уплотнения, разуплотнения, фазовых переходов и разрушений в условиях внутренних структур Земли. Показывается, что потери устойчивости состояния равновесия по геометрическому формоизменению (структурная неустойчивость) может предшествовать процессам разуплотнения, фазовых переходов и разрушениям.

Ключевые слова: плотность; деформация; фазовый переход; неустойчивость.

Распределения плотности, дебаевская температура, параметр Грюнаизена, решеточная часть коэффициента теплопроводности, удельная энтропия среды, адиабатическая температура, температура плавления и их градиенты, скачки энтропии и теплового эффекта при фазовых переходах, наклон кривого фазового равновесия и теплота кристаллизации для мантии и ядра являются основными параметрами внутреннего строения Земли в параметрических моделях [Жарков, 1983; Guliyev, 2010]. При их определении необходимо предварительно знать приращение плотности по глубине недр. Поэтому очень важно более точно определить этот параметр в реальных условиях. Данная проблема в той или иной степени затрагивают вопросы минералогии, петрологии, геотермии, тектоники, петрофизики и др. основ геологии и геофизики.

В данном сообщении, исходя из фундаментальных свойств основных систем уравнений механики деформируемых твердых тел показывается, что существуют некоторые общие геомеханические основы этого явления. Предлагаемый подход реализован с использованием результатов и данных знаменитых экспериментальных исследований Грина, Рингвуда и Лиу. Эти данные считаются достоверными и целесообразно проанализировать их результаты совместно с результатами, полученных с теоретических позиций и провести тестирования нового подхода. В случае успеха можно данный подход применить и к решению аналогичных региональных задач.

Используя известные соотношения нелинейной теории деформируемых твердых тел [Guliyev and Askerov, 2006; Кулиев и Аскеров, 2007] для определения изменений плотности в зависимости от изменений деформации получил следующие соотношения

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{1}{\sqrt{I_3}} - 1, \quad \Delta \rho = \rho_* - \rho;$$

$$\frac{dV^*}{dV} = \sqrt{I_3}; \quad (1)$$

$$I_3 = 1 + 2A_1 + 2(A_1^2 - A_2) + \frac{4}{3}(2A_3 - 3A_2A_1 + A_1^3);$$

$$A_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3;$$

$$A_2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2;$$

$$A_3 = \varepsilon_1^3 + \varepsilon_2^3 + \varepsilon_3^3,$$

ε_i - главные значения Тензора деформаций Грина; ρ, ρ_* - соответственно, плотность среды в естественном и актуальном состояниях; V, V^* - соответственно объемы среды в естественном и актуальном состояниях.

В современных моделях для определения приращения плотности применяется уравнение Адамса-Вильямсона [Жарков, 1983].

В научной литературе указывается, что изменение плотности глубин Земли формулой Адамса-Вильямсона хорошо описывается для глубин больше чем 670 км. Главными недостатками этой формулы считается:

1. не учет в ней фазовых переходов;
2. неравномерность деформированных состояний (которая характерна структурам до глубин 670 км).

В данной работе применяются формулы (1), которые свободны от этих изъянов и является точным и наиболее общим в рамках механики сплошных сред.

Следует, подчеркнуть важный универсальный характер этой зависимости. Природа деформаций (она может вызваться тектоническими, гравитационными, геохимическими, гидромеханическими, термическими, радиационными и др.) здесь произвольна и параметры напряженного состояния, физико-механических, химических, температурных, и др. полей в нее в явной форме не входят. Деформации могут быть малыми и большими (конечными), линейными и нелинейными, упругими, упруго-пластичными, пластичными, вязкими и т.д. и относиться к изотропным, анизотропным однородным и неоднородным (гетерогенным) средам. Эти факторы имеют очень важные значения для постановки и проведения экспериментальных исследований, а также для интерпретационных процедур сейсмических и других геофизических информаций из недоступных (для непосредственного наблюдения и измерения) глубин Земли.

Используя данные о физических свойствах этих пород [Жарков, 1983] и формулы (1) по-

лучено, что соответствующие изменения $\frac{\rho^*}{\rho}$ имеют следующие величины 8,45 %; 8,7 % и 7,4 %. На основе формул (1) численным моделированием получено, что такие плотностные изменения в этих фазовых переходах могут сопровождаться следующими напряженно-деформированными состояниями:

переход Энстатита в Гранат

$$\begin{aligned} \epsilon_{11} = \epsilon_{22} &\sim 2\%; \epsilon_{33} \sim 4\% \text{ при} \\ \sigma_{11} = \sigma_{22} &= -84,8 \text{ Кбар}, \\ \sigma_{33} &= -116,64 \text{ Кбар}, \end{aligned}$$

либо

$$\begin{aligned} \epsilon_{11} = \epsilon_{22} &\sim 1,1\%; \epsilon_{33} \sim 5,5\% \text{ при} \\ \sigma_{11} = \sigma_{22} &= -68,75 \text{ Кбар}, \\ \sigma_{33} &= -138,6 \text{ Кбар}, \end{aligned}$$

либо

$$\begin{aligned} \epsilon_{11} = \epsilon_{22} &\sim 3\%; \epsilon_{33} \sim 1,8\% \text{ при} \\ \sigma_{11} = \sigma_{22} &= -99,4 \text{ Кбар}, \\ \sigma_{33} &= -80,31 \text{ Кбар}. \end{aligned}$$

Аналогичные расчеты проведены и для фазовых переходов Гранат → Ильменит и Ильменит → Перовскит. Эти результаты получены в случае применения линейно-упругой модели изотропных сред при предположении малости деформаций.

Получены результаты также в пределах нелинейных упругих моделей изотропных сред при больших деформациях. В частности в таблице 1 приведены результаты расчетов соответствующие выше рассмотренным фазовым переходам при предположении всесторонней деформации. В качестве модели деформирования использован

квадратичный упругий потенциал. В этом случае физические составляющие тензора напряжений в рамках теории больших начальных деформаций определяются с помощью формулы

$$S_{\beta\beta} = \frac{\lambda}{2} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) + \mu (\lambda_\beta^3 - 1). \quad (2)$$

Здесь $\lambda_i (i = 1, 2, 3)$ - коэффициенты укорочения вдоль координатных осей. Для сравнения в последнем столбце таблицы проведены также величины напряжений, вычисленной по линейной теории.

Таблица 1

Параметр	Номера переходов		
	1	2	3
λ	662	1020	1512.35
μ	796	800	815.29
ϵ_0	-0.0264	-0.027	-0.0235
λ_1	0.9732	0.9726	0.9762
S_{11}^0	-114.634	-146.537	-163.418
σ_{11}	-94.4592	-125.82	-144.939

Предполагая, что в рассматриваемой зоне имеется цилиндрическая полость кругового поперечного сечения в однородном силовом поле и, используя нелинейную теорию больших деформаций с применением квадратичного упругого потенциала для различных пород вычислены численные значения критических величин параметров удлинения (λ_1), всесторонней деформации (ϵ_0), отношения плотностей $\left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)$ и напряжений (S_{11}^0) (таблица 2).

Таблица 2

Название породы	λ_1^*	$(\lambda_1)_*$	ϵ_0^*	$(\epsilon_0)_*$	$\left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)^*$	$\left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)_*$	$(S_{11}^0)^*$, Кбар	$(S_{11}^0)_*$, Кбар
Форстерит	0.839084	0.94392	-0.14797	-0.05451	1.692717	1.189035	-660.755	-250.057
Оливин ₁	0.832984	0.941711	-0.15307	-0.05659	1.730174	1.197423	-678,993	-258,444
Оливин ₂	0.851196	0.948289	-0.13773	-0.05037	1.62148	1.172674	-604,367	-226,173
Оливин ₃	0.892175	0.962906	-0.10201	-0.03641	1.408151	1.120078	-492,645	-177,917
Фаялит	0.891633	0.962714	-0.1025	-0.03659	1.410721	1.120747	-449,727	-162,493
Шпинель	0.889347	0.961905	-0.10453	-0.03737	1.42163	1.123577	-716,063	-259,218
Гранат ₁	0.863368	0.952658	-0.1273	-0.04622	1.553863	1.156617	-683,21	-252,898
Гранат ₂	0.851138	0.948268	-0.13778	-0.05039	1.621812	1.172752	-531,847	-199,044
Энстатит	0.829716	0.940525	-0.15579	-0.05771	1.7507	1.201958	-642,116	-245,174

Величини с нижнім індексом (*) відповідають локальній втраті стійкості стану рівноваги поруч циліндричеської порожнини [Кулієв, 1988], а с верхнім індексом (*) – втраті «внутрішньої» неустійчливості, т.е. втраті сплошності середь [Гузь, 1989; Кулієв, 1988].

Аналогічеські результати отримані в случает наявності в середь контактних і свободних плоских поверхностей, включення в виде полос и циліндричеських форм тел.

Ети результати показують, что вследствие деформационних процесов в середь реалізують різні процеси ущільнення, розуцільнення і фазових переходов. Послідовність этих процесов суттєвним образом зависят от структури середь, ее степені деформованності, вида напружено-деформованного стану. Из результатів следуєт, что процес структурної неустійчливості передшествує процесам фазових переходов і руйнувань. Така послідовність этих процесов може вносити суттєвнеські доповнення к інтерпретації експериментальних і польових даних.

Література

Гузь А.Н. Механіка руйнування композитних матеріалов при сжатті. – К.: Наук. думка, 1989. – 632 с.
 Жарков В.Н. Внутрішнеське строєніє Землі і планет. – М.: Наука., 1983. – 416 с.
 Кулієв Г.Г. Основи математичеської теорії устійчливості скважин. Б.: Элм, 1988. – 168 с.
 Кулієв Г.Г., Аскеров А.Д. Рєшеніє нєлінійної задачі о приращєніи плотності середь глубин Землі і его неустійчливості // Изв. НАНА, Серія Наук о Землє. – 2007. – №1. – С. 38-50
 Guliyev H.H. A new theoretical conception concerning the tectonic processes of the Earth // New Concepts in Global Tectonics Newsletter. – 2010. – №56. – P. 50-74.
 Guliyev H.H., Askerov A.D. Adams-Williamson's equation the limitation of non-classical linearized theory // Proceedings the sciences of earth Azerbaijan National Academy of sciences. – 2006. – №1. – P. 31-45.

ДЕФОРМАЦІЙНИЙ СУПРОВІД ПРОЦЕСІВ УЩІЛЬНЕННЯ, РОЗУЩІЛЬНЕННЯ ТА ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У ВНУТРІШНІХ СТРУКТУРАХ ЗЕМЛІ

Г.Г. Кулієв

На основі нєлінійної теорії деформівних твердих тіл досліджують процеси ущільнення, розуцільнення, фазових переходів і руйнувань в умовах внутрішніх структур Землі. Показуєтьсє, що втрати стійкості стану рівноваги по геометричній формозміні (структурна нестійкість) може передувати процесам розуцільнення, фазових переходів і руйнувань.

Ключові слова: густина; деформація; фазовий перехід; нестійкість.

DEFORMATION ACCOMPANYING OF PROCESSES OF CONSOLIDATION, DECONSOLIDATION AND PHASE TRANSITIONS IN INTERNAL STRUCTURES OF THE EARTH

H.H. Guliyev

The processes of consolidation, deconsolidation, phase transitions and destructions in the terms of internal structures of the Earth are studied on the base of non-linear theory of deformable solid bodies. It is shown that the loss of stability of equilibrium state can precede to the processes of deconsolidation, phase transitions and destructions on geometric form change (structural instability).

Key words: density; deformation; phase transitions; instability.

Институт Геологии Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку

140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----