

ЗАКОН ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 2016 г. А. В. Зубков

Институт горного дела УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
E-mail: sentyabov1989@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2016 г.

Принята к печати 08.08.2016 г.

В статье экспериментально обоснован физический закон формирования природного напряжения состояния земной коры в результате наложения полей напряжений, обусловленных гравитационными и тектоническими силами Земли, а также астрофизическими силами, вызванными физическими процессами в космосе. Закон представлен нормальными компонентами тензора напряжений:

$$\sigma_z^n = -\gamma H + \sigma_{zT} + \sigma_{zAF}, \sigma_x^n = -\lambda\gamma H + \sigma_{xT} + \sigma_{xAF}, \sigma_y^n = -\lambda\gamma H + \sigma_{yT} + \sigma_{yAF}$$

Ключевые слова: напряженное состояние, земная кора, гравитационные, тектонические и астрофизические силы.

Для эффективной и безопасной добычи полезных ископаемых необходимо знать законы формирования природных напряжений в массиве горных пород и закономерности перераспределения их в создаваемых подземных конструкциях. В этом случае появляется возможность, изменяя размеры, форму, последовательность образования полостей и технологию ведения работ, обеспечить их устойчивость или извиниться перед силами природы и отступить, как это произошло на Кольской сверхглубокой скважине. Там на глубине более 12 км действующие напряжения в массиве превысили его прочностные характеристики, массив разрушался, зажимал буровой снаряд, его обрывали, оставляли в скважине, снова и снова забуривали с глубины 8–9 км, доходили до 12 км, и снова происходила авария.

На различных стадиях становления геомеханики в граничных условиях расчета устойчивости гор-

ных конструкций величина напряжений определялась в соответствии с теоретически обоснованными гипотезами А. Гейма и А.Д. Динника [8]. После проведения экспериментальных работ по измерению напряжений в массиве горных пород было установлено, что наряду с гравитационными напряжениями действует еще одна составляющая, которую назвали тектонической. Основоположником гипотезы гравитационно-тектонических напряжений является Н. Хаст [14] (табл.1).

Институт горного дела УрО РАН начал измерение первоначального напряженного состояния массива горных пород на рудниках вне зоны влияния горных работ с 60-х гг. XX в. На настоящее время напряжения были определены на 32 рудниках на 60 горизонтах на месторождениях Кольского полуострова, Урала, Казахстана, Алтая и Дальнего Востока [3, 4, 7, 8].

Таблица 1. Гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород

Table 1. The hypotheses of natural stresses formation in the rock mass

Авторы	Напряжения
А. Гейм, 1878 г.	$\sigma_x^n = \sigma_y^n = \sigma_z^n = -\gamma H$
А.Н. Динник, 1926 г.	$\sigma_z^n = -\gamma H, \sigma_y^n = \sigma_x^n = -\lambda\gamma H$
Н. Хаст, 1960 г.	$\sigma_z^n = -\gamma H, \sigma_x^n = -\lambda\gamma H + T_x, \sigma_y^n = -\lambda\gamma H + T_y$

Примечание. $\sigma_x^n, \sigma_y^n, \sigma_z^n$ – составляющие природных напряжений, МПа; γ – удельный вес пород, н/м³; H – мощность перекрывающих пород, м; λ – коэффициент бокового распора (определяется коэффициентом Пуассона); T_x, T_y – главные составляющие тектонических напряжений, МПа.

Note. $\sigma_x^n, \sigma_y^n, \sigma_z^n$ – the main components of the natural stress, МПа; γ – specific gravity, N/m³; H – thickness overlying rocks, m; λ – the coefficient of lateral thrust (defined by Poisson's ratio); T_x, T_y – the main components of tectonic stresses.

Наряду с тысячами измерений, проведенных другими исследователями во всех регионах мира были получены дискретные результаты, характеризующие величину напряжений в конкретном участке массива и в конкретный момент времени. В дальнейшем эти результаты использовались как навсегда заданные.

Случай помог поставить исследования на новую ступень познания. В штольне, пройденной в сопке до глубины 700 м и на 300 м выше ее подножия, на пикетах ПК21, ПК57, ПК103, ПК138, были установлены 7 фотоупругих датчиков. Периодические измерения дали возможность отследить изменения напряжений вдоль штольни за период с 1990 по 1996 годы (табл. 2).

Было зафиксировано изменение напряжений там, где горные работы не велись, на величину до 8 МПа за период 7 лет. С учетом открывшегося обстоятельства в 1998 году были начаты исследования этого необычного явления на рудниках в городах Краснотурьинск, Нижний Тагил, Березовский и Гай по программам:

– РФФИ 98-05-64152 (1998-2000 гг.) “Экспериментальное исследование амплитуды и периода пульсации тектонических напряжений в земной коре Урала”;

– РФФИ 04-05-96082 (2004 г.) то же;

– Президиума РАН №13 (2004-2006 гг.) “Исследование пульсирующих напряжений в литосфере как спускового механизма землетрясений”;

– Президиума РАН №16 часть 3 (2006-2008 гг.) “Влияние изменения солнечной активности на напряженное состояние и геодинамику земной коры Урала”;

– Президиума РАН №16 часть 3 (2009 г.) “Исследование явления расширения и сжатия Земли, коррелирующегося с циклами солнечной активности”;

– Программы 12-П-5-1022 “Исследование периодического расширения и сжатия Земли как основного механизма природных катастроф”;

– Программы 15-2-5-20 “Адаптация стратегии добычи полезных ископаемых к условиям изменяющегося во времени напряженно-деформированного состояния земной коры”.

Первоначально такие изменения напряжений были названы переменными тектоническими напряжениями, и для их выявления было разработано несколько методик.

1. В околоствольных дворах на нижних горизонтах различно ориентированных выработок на базах 40–50 м оборудовались реперные линии, изменения этих базисов, измеряемые через 3–4 мес., определяли относительную деформацию массива, а затем эти относительные деформации пересчитывались в напряжения по аналитической зависимости теории упругости [3, 4].

2. Относительную деформацию массива во времени изучали в процессе наблюдения за сдвиге-

Таблица 2. Изменение горизонтальных напряжений, МПа

Table 2. Changing the horizontal stress, MPa

Годы	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
$\sigma_{гор}$	-1.4	-1.4	-5.4	-7.6	-7.5	-6.8	-3.3

нием пород при ведении подземных горных работ. Использовали получаемую относительную деформацию массива по линиям в период, когда они еще не попадали в зону влияния от образуемого выработанного пространства [6].

На начало 2016 года по результатам 25-летних исследований были построены графики изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород (рис. 1) в результате анализа которых было установлено [8]:

1. Переменные напряжения не являются тектоническими, а обусловлены физическими полями космоса одинаково воздействующими на Землю и Солнце, что дало возможность назвать их астрофизическими напряжениями.

2. Массив горных пород сжимается и расширяется под действием $\sigma_{АФ}$ объемно и равномерно. По мере уменьшения класса пульсации изменения НДС массива увеличивается.

Из вышеизложенного вытекает новый физический закон о том, что **природное напряженное состояние земной коры формируется в результате наложения полей напряжений, обусловленных гравитационными и тектоническими силами Земли, а также астрофизическими силами, вызванными физическими процессами в космосе, и оно представлено нормальными компонентами тензора напряжений:**

$$\begin{aligned} \sigma_z^h &= -\gamma H + \sigma_{zT} + \sigma_{zАФ}, \\ \sigma_x^h &= -\lambda\gamma H + \sigma_{xT} + \sigma_{xАФ}, \\ \sigma_y^h &= -\lambda\gamma H + \sigma_{yT} + \sigma_{yАФ}, \end{aligned} \quad (1)$$

где: σ_{zT} , σ_{xT} , σ_{yT} – составляющие тектонических напряжений, остающиеся неизменными длительное время (десятки лет), МПа;

$$\sigma_{zАФ, xАФ, yАФ} = \sum_{i=K21}^{K12} \sigma_{i(t)} - \text{суммарный вклад в напряженное состояние массива горных пород}$$

переменных физических процессов космоса различных классов (астрофизических явлений) со средней продолжительностью: K21 – 160 мин, K20 – 1 день, K19 – 14 дней, K18 – 3 мес., K17 – 1 год, K16 – 3.5 года, K15 – 11 лет, K14 – 90 лет, K13 – 200 лет и т.д. (табл. 3) [1].

Предлагаемый физический закон базируется на ряде фундаментальных законов.

1. Закон всемирного тяготения Ньютона

$$\gamma = \frac{m}{v} q = \frac{m}{v} \cdot \frac{GM_3}{R_3^3}, \quad (2)$$

где q – ускорение силы тяжести, m – масса единичного объема, V – единичный объем, G – гравита-

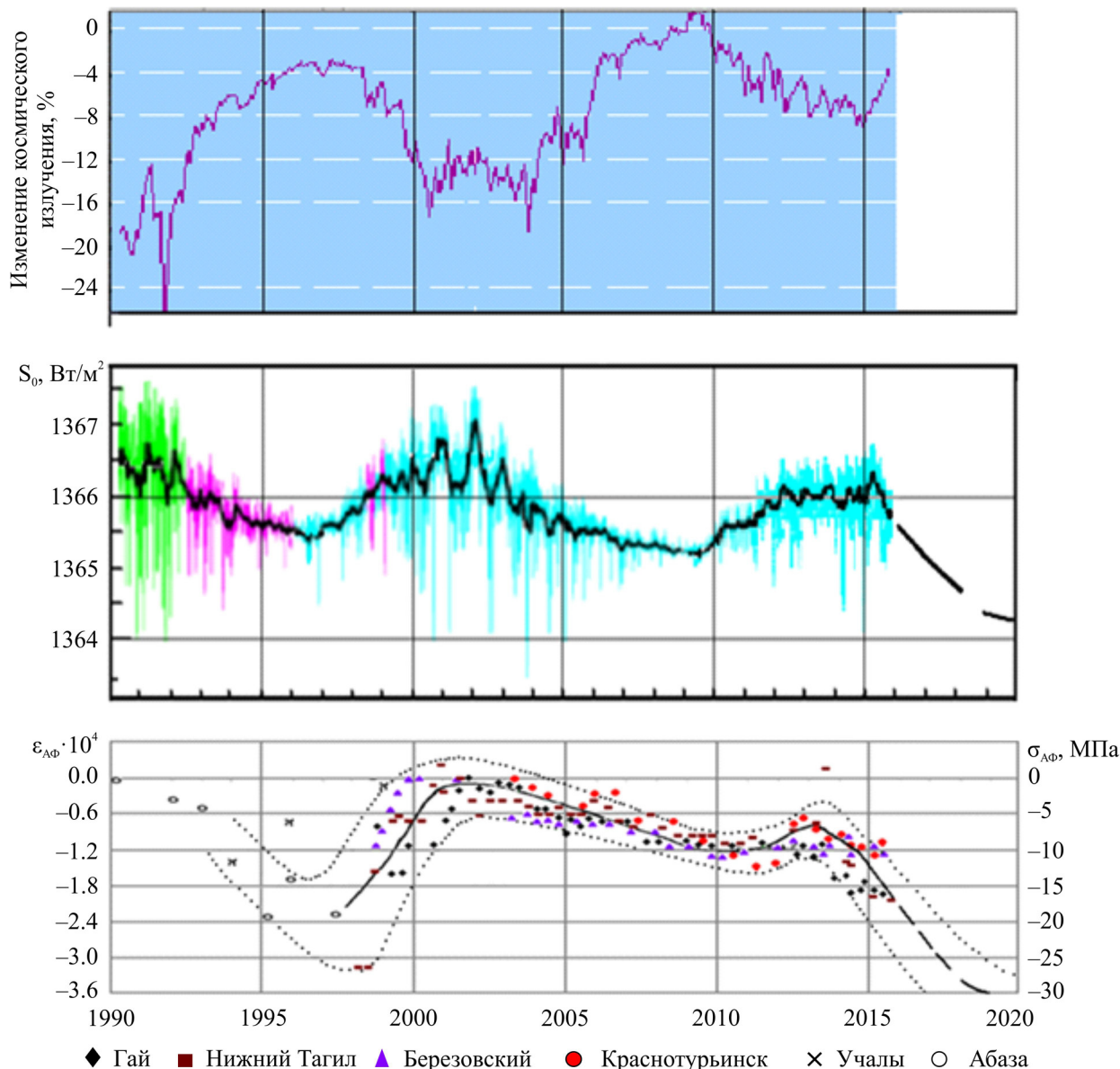


Рис. 1. Изменение НДС массива $\sigma_{АФ}$ и $\epsilon_{АФ}$ на рудниках в городах Урала и Алтая на фоне изменения излучающей способности Солнца (S_0) и интенсивности космического излучения.

Fig. 1. The variation of rock mass VAT $\sigma_{АФ}$ and $\epsilon_{АФ}$ in both the Ural and Altai mines and cities against the background of the Sun emissivity change S_0 and cosmic radiation intensity.

ционная постоянная, M_3 – масса Земли, R_3 – радиус Земли.

В то же время в формуле 2 значение G является самой непостоянной среди других фундаментальных констант, и ее величина зависит от широты, долготы и времени измерения [13].

К тому же при наблюдаемой относительной деформации земной коры ($\epsilon_{АФ}$) радиус Земли (R_3) также будет переменным.

2. Тектонические силы возникают в результате упругого горизонтального сжатия коры силой вязкого трения мантийного потока о земную кору в соответствии с законом Амонтона: **сила F трения**

скольжения прямо пропорциональна силе N нормального давления (вес земной коры) между поверхностями трущихся тел, где f – безразмерный коэффициент трения скольжения

$$F = fN \tag{3}$$

3. Формирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород происходит по закону Гука: **напряжение σ при упругой деформации тела пропорционально относительной деформации**

$$\sigma = E(\Delta x/x), \tag{4}$$

где E – модуль упругости, Δx – деформация, x – база деформации.

Таблица 3. Уровни организации, геологические циклы и физические явления**Table 3.** The levels of arrangement, geological cycles and physical phenomena

Уровни организации	Циклы		Средняя продолжительность цикла	Геохронологическое подразделение (геологическое время)	Физические явления по данным ИГД УрО РАН	
	Типы	Классы			$\Delta\varepsilon \times 10^5$	$\Delta\sigma$, МПа
Оболочки	Мега	1	4.6 млрд лет	История Земли Мегаэон Эон – Эра	–	–
		2	1.4 млрд лет			
		3	700 млн лет			
		4	215 млн лет 190 млн лет			
Формации	Макро	5	58 млн лет	Период Эпоха Век	1000–3000	–
		6	14 млн лет			
		7	3.7 млн лет			
Пачки	Мезо	8	800 тыс. лет	Фаза Пора Геоминута	–	–
		9	190 тыс. лет			
		10	40 тыс. лет			
Слои	Микро	11	9.5 тыс. лет	Эпизод Полисекунда Геосекунда	50	≈30
		12	1.6 тыс. лет			
		13	220 лет			
Слойки	Нано	14	60 лет	Вековой наноцикл Солнечный наноцикл Геотерция Год	13–26	10–20
		15	10–13 лет			
		16	3.5 года			
		17	1 год			
Пульситы	Пико	18	3 месяца	Сезонный пикоцикл Лунный пикоцикл Суточный пикоцикл Трехчасовой пикоцикл	–	–
		19	14 дней			
		20	1 день			
		21	160 мин			

Примечание. $\Delta\varepsilon$ – относительная деформация массива горных пород, $\Delta\sigma$ – изменение напряжений массива горных пород.

Note. $\Delta\varepsilon$ – relative deformation of the rock mass, $\Delta\sigma$ – change the stress of the rock mass.

Таблица 4. Величины напряжений в приконтурной части капитальных и подготовительно-нарезных выработок на глубине 500 м**Table 4.** The stresses' values in the marginal part of capital and set-threaded openings at 500 m depth

Регион	Напряжения в массиве, МПа				Напряжения в конструкциях, МПа	
	$\sigma_{cp} = (\sigma_3^п + \sigma_1^п)/2$	σ_{cp} при $H = 500$ м	$\sigma_3^п = 1.17\sigma_{cp}$	$\sigma = \sigma_3^п + \sigma_{АФ}$ при $\sigma_{АФ} = 0$, $\sigma_{АФ} = -20$, $\sigma_{АФ} = -40$	$\sigma_0 = 2.1\sigma$ В конструктивных элементах системы разработки, в капитальных выработках	$\sigma_0 = 6.3\sigma$ В подготовительно-нарезных выработках
Урал	–(16 + 0.03Н)	–31	–36	–36/–56/–76	–76/–118/–160	–227/–353/–479
Скандинавия	–(17.3 + 0.03Н)	–32	–37	–37/–57/–77	–78/–120/–162	–233/–359/–485
Канада	–(12 + 0.04Н)	–32	–37	–37/–57/–77	–78/–120/–162	–233/–359/–485
США	–(5 + 0.0225Н)	–16	–19	–19/–39/–59	–40/–82/–105	–120/–246/–315
Южная Африка	–(7 + 0.012Н)	–13	–15	–15/–35/–55	–32/–74/–116	–95/–220/–347
Китай	–(4.4 + 0.019Н)	–14	–16	–16/–36/–56	–34/–76/–118	–101/–227/–353
Австралия	–(17 + 0.009Н)	–22	–26	–26/–46/–66	–55/–97/–139	–164/–290/–416
Япония	–(0 + 0.02Н)	–10	–12	–12/–32/–52	–25/–67/–109	–76/–202/–328
Япония*	–(20 + 0.026Н)	–33	–38	–38/–58/–78	–80/–122/–164	–239/–365/–491

Если принять за основу график изменения солнечной активности (интенсивность излучения Солнца S_0), то в 2020–2030 гг. закончатся и начнутся новые 11-и, 90, 200 и 400 летние циклы [15], в результате чего $\sigma_{АФ}$ может достичь значений –20, –40 и более МПа (см. рис. 1). В результате этого на-

пряжения в горно-капитальных и подготовительно-нарезных выработках на глубинах более 500 м в 1.5–2.0 раза превысят прочностные характеристики массива горных пород, в результате чего доступ к полезным ископаемым будет чрезвычайно затруднен или даже невозможен (табл. 4) [8].

У истоков формирования $\sigma_{\text{АФ}}$ находится астрофизика, и было бы чрезвычайно полезно знать природу и закономерности формирования этих напряжений. Анализ большого разнообразия гипотез объяснения этого явления, на наш взгляд, показывает, что заслуживают внимания две следующие.

1. Причиной всему являются сверхдлинные гравитационные волны, пронизывающие все космическое пространство и проходящие через Землю, с периодами 2.0–2.5 года, 7.7 лет и 40–60 лет, наложенные друг на друга и влияющие на взаимное притяжение по-разному, в зависимости от географического положения и времени измерения (Э. Халилов) [13]. Этот исследователь считает, что в результате неточного определения гравитационной постоянной G , заложенной при расчетах траекторий космических объектов, происходит их сход с орбит, “уход” в открытый космос или преждевременное сгорание в атмосфере.

2. В обзорной статье М.М. Лаврентьев и Ц.А. Еганова [11] предсказывают возможный вариант возникновения $\sigma_{\text{АФ}}$, как функции времени, период которой отслеживают по шкале длительности (И. Ньютон) [10], а амплитуду обуславливает физическая реальность неизвестной пока природы, гипотезу о которой высказали Н.А. Козырев и Дж.Л. Синг [9, 12]. Из четырехмерности физической реальности по Н.А. Козыреву следует возможность мгновенного действия одного объекта на другой при любом расстоянии между ними по “временному каналу”.

Совместные усилия астрофизиков и геомехаников позволят спрогнозировать изменение $\sigma_{\text{АФ}}$ на следующие 5–10 лет. Это даст возможность делать проекты разработки месторождений с соответствующими расчетами устойчивости конструкций при использовании природных напряжений не в момент их измерения, а на момент ведения горных работ, определяя напряжения в соответствии с зависимостью [8], к примеру:

$$\sigma_{x,y(2018)}^{\text{II}} = \sigma_{x,y(1999)}^{\text{II}} - \sigma_{\text{АФ}(1999)} + \sigma_{\text{АФ}(2018)},$$

где 1999, 2018 – годы, когда на конкретном месторождении измерили напряжения и когда необходимо их использовать для расчетов.

ВЫВОДЫ

В данной статье сформулирован физический закон о формировании напряженного состояния земной коры в результате наложения полей напряжений, обусловленных гравитационными и тектоническими силами Земли, а также астрофизическими силами, вызванными физическими процессами в космосе. Закон включает гипотезы Г. Гейма, А.Н. Динника и Н. Хаста о формировании напряже-

ний в массиве горных пород и базируется на законах: Ньютона о всемирном тяготении, Амонтонна – о силе трения, Гука – о неразрывности напряжений и деформаций.

Работа выполнена по программе РАН № 15-2-5-20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев С.Л. (1998) Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Циклическая динамика в природе и обществе. Т.1. М.: Науч. мир, 88-94.
2. Бирючев И.В., Зубков А.В., Криницын Р.В., Липин Я.И., Селин К.В., Сентябов С.В. (2013) Патент 2187888 Российская Федерация, МПК Е 21 С 39/00 (2006.01) Бюл. № 4 опубл. 10.02.15.
3. Зубков А.В. (2001) Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 335 с.
4. Зубков А.В. (2002) Напряженное состояние земной коры Урала. *Литосфера*, (3), 3-18.
5. Зубков А.В. (2013) Периодическое расширение и сжатие Земли как вероятный механизм природных катаклизмов. *Литосфера*, (2), 145-156.
6. Зубков А.В., Бирючев И.В., Криницын Р.В. (2012) Исследование изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. *Горный журнал*, (1), 44-47.
7. Зубков А.В., Липин Я.И. (1997) Напряженное состояние верхней части земной коры Урала, *Докл. АН* **356**(6), 792-793.
8. Зубков А.В., Селин К.В., Сентябов С.В. (2015). Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры. *Литосфера*, (6), 166-129.
9. Козырев Н.А. (1980). Астрофизическое доказательство четырехмерной геометрии Минковского. Проявление космических факторов на Земле и звездах. *Проблемы исследования Вселенной*, **9**, 85-93.
10. Крылов А.Н. (1936–1956) Собрание трудов. Т. 7. М.; Л.: Изд. АН СССР.
11. Лаврентьев М.М., Еганова И.А. (1997) Физические явления, предсказанные и обнаруженные Н.А. Козыревым, в свете адекватности пространства–времени физической реальности. *Философия науки*, (3), 34-43.
12. Синг Дж.Л. (1973) Беседы о теории относительности. М.: Мир. 168 с.
13. Халилов Э.Н. (2014) Установление влияния на землетрясения гравитационных волн <http://www.sieitec-library.com/rus/catalog/pages/5589.htm> 15.:25.12.2014
14. Хаст Н., Нильсон Т. (1967) Измерение напряжений в скальных породах и их значение для строительства плотин. “Проблемы инженерной геологии”, вып. 4. М., “Наука”. 163 с.
15. Zubkov A.V., Sentyabov S.V. (2014) Forecast Stability of Mining Excavation and HPS's data after 2020. *East Europ. Sci. J.* (1), 153-166.

The law of natural stress formation of the Earth's crust

A. V. Zubkov

The Institute of Mining, Ural Branch of RAS

The article experimentally proved law of physical principle that the natural stress condition of the Earth's crust is formed due the result of stress fields superposition caused by gravitational forces of the Earth and by tectonic and astrophysical forces caused by physical processes in space and it is represented by the normal components of the stress tensor:

$$\sigma_z^n = -\gamma H + \sigma_{zT} + \sigma_{zA\Phi}, \sigma_x^n = -\lambda\gamma H + \sigma_{xT} + \sigma_{xA\Phi}, \sigma_y^n = -\lambda\gamma H + \sigma_{yT} + \sigma_{yA\Phi}$$

Key words: *stress-condition, the Earth's crust, gravity, astrophysical and tectonic forces.*

REFERENCES

1. Afanas'ev S.L. (1998) Atlas of the temporal variations of natural, human and social processes. *Tsiclicheskaja dinamika v prirode i obshchestve. T.1.* [Cyclical dynamics in nature and society. V.1.] Moscow, Nauch. mir Publ., 88-94. (In Russian)
2. Biryuchev I.V., Zubkov A.V., Krinitsyn R.V., Leepin Ja.I., Selin K.V., Sentjabov S.V. (2013) Patent RF no 2187888, MPK E 21 S 39/00 (2006.01) Bull. №4 publ. 10.02.2015
3. Zubkov A.V. (2001) *Geomekhanika i geotekhnologija* [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN Publ., 335 p. (In Russian)
4. Zubkov A.V. (2002) The stress state of the crust of the Urals. *Litosfera*, (3), 3-18. (In Russian)
5. Zubkov A.V. (2013) The periodic expansion and contraction of the Earth as a likely mechanism for natural disasters. *Litosfera*, (2), 145-156. (In Russian)
6. Zubkov A.V., Biryuchev I.V., Krinitsyn R.V. (2012) A study of stress-strain state of the rocks. *Gornyj zhurnal*, (1), 44-47. (In Russian)
7. Zubkov A.V., Lipin Ja.I. (1997) Stress state of the upper crust of the Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **356**(6), 792-793. (In Russian)
8. Zubkov A.V., Selin K.V., Sentjabov S.V. (2015). Laws of formation of the stress state of the rock mass in the upper crust. *Litosfera*, (6), 166-129. (In Russian)
9. Kozyrev N.A. (1980). Astrophysical evidence Minkowski four-dimensional geometry. The manifestation of cosmic factors on the Earth and in the stars. *Problemy issledovaniya Vselennoj. Vyp. 9* [Problems of research of the Universe. V. 9], 85-93. (In Russian)
10. Krylov A.N. (1936–1956) *Sobranie trudov. T. 7.* [Collected works. V.7]. Moscow; Leningrad, AN SSSR. Publ. (In Russian)
11. Lavrent'ev M.M., Eganova I.A. (1997) Physical phenomena predicted and discovered by N.A. Kozyrev, in the light of the adequacy of the physical space-time reality *Filosofija nauki*, (3), 34-43. (In Russian)
12. Sing Dzh.L. (1973) *Besedy o teorii otositel'nosti* [Talks about the theory of relativity] Moscow, Mir Publ. 168 p. (In Russian)
13. Halilov E.N. (2014) Establishment of the impact of the earthquake on gravity waves. Available at: <http://www.sieiteclibrary.com/rus/catalog/pages/5589.html>:25.12.2014.
14. Hast N., Nil'son T. (1967) Measurement of stresses in rocks and their significance for the construction of dams. "Problemy inzhenernoj geologii", vyp. 4. ["Engineering Geology Problems" V. 4. Moscow, Nauka Publ. 163 p. (In Russian)
15. Zubkov A.V., Sentyabov S.V. (2014) Forecast Stability of Mining Excavation and HPS's data after 2020. *East Europ. Sci. J.* (1), 153-166.