

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 2015 г. А. В. Зубков, К. В. Селин, С. В. Сентябов

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

Поступила в редакцию 13.05.2015 г.

Принята к печати 17.08.2015 г.

Установлено, что в верхней части земной коры до глубины 500–600 м напряженное состояние массива горных пород на отдельных участках может соответствовать гипотезам А. Гейма, А.Д. Динника, Н. Хаста и гипотезе, выдвинутой сотрудниками ИГД УрО РАН, что означает возможность их взаимозамещения в течение 11-летнего цикла солнечно-земных связей. В течение этого цикла 2–3 года наблюдается консолидация массива горных пород и подвижки по нарушениям отсутствуют или очень малы, затем 3–4 года сжатие массива уменьшается и сопровождается сбросовыми явлениями, после чего снова 1–2 года наблюдается консолидация массива, далее 4–5 лет увеличивается сжатие массива и земной коры, сопровождающееся надвиговыми явлениями. Анализ значений напряжений в элементах систем разработки показывает, что в 2020–2030 гг. доступ к полезным ископаемым на глубине более 500 м будет затруднен.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, деформация, земная кора, геологические циклы, астрофизические напряжения.*

Работа (хозяйственная деятельность) человека в подземных условиях связана со строительством подземных сооружений различной сложности, устойчивость элементов которых для обеспечения безопасности необходимо рассчитывать. Граничными условиями для таких расчетов являются физико-механические свойства массива горных пород и его напряженно-деформированное состояние (НДС).

На разных стадиях становления геомеханики в граничных условиях величина напряжения определялась в соответствии с теоретически обоснованными гипотезами А. Гейма и А.Д. Динника. 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. Основоположителем гипотезы гравитационно-тектонических напряжений является Н. Хаст (табл. 1).

Учитывая сложность и трудоемкость работ по определению НДС массива горных пород в подземных условиях, на рудниках обычно проводили одну серию измерений в конкретное время и на конкретной глубине и использовали эти результаты в дальнейшем, считая тектоническую составляющую ( $\sigma_T$ ) константой. На ряде рудников проводили по две, три и более серий измерений, по мере вскрытия новых горизонтов. Это дало возмож-

ность проследить изменение напряжений с глубиной и проанализировать их изменение во времени (Зубков, 2001). К сожалению, из 25 рудников Урала и Казахстана такую информацию удалось получить только на 13. На других рудниках России и мира, как правило, нет точной привязки результатов измерений во времени и даются лишь усредненные изменения напряжений с глубиной (табл. 2) (Zubkov, Sentyabov, 2014).

В общем виде приведенные результаты измерения напряжений можно представить следующими зависимостями:

- 1) Урал  $\sigma_Z^H = -0.03H$ ;  $\sigma_T^H = -(16 + 0.03H)$  (Зубков, 2001);
- 2) Скандинавия  $\sigma_Z^H = -0.027H$ ;  $\sigma_T^H = -(17.3 + 0.03H)$  (Brown, Hoek, 1978);
- 3) Канада  $\sigma_Z^H = -0.025H$ ;  $\sigma_T^H = -(12 + 0.04H)$  (Brown, Hoek, 1978);
- 4) США  $\sigma_Z^H = -(0 + 0.027H)$ ;  $\sigma_T^H = -(5 + 0.0225H)$  (Brown, Hoek, 1978);
- 5) Южная Африка  $\sigma_Z^H = -0.027H$ ;  $\sigma_T^H = -(7 + 0.012H)$  (Brown, Hoek, 1978);
- 6) Китай  $\sigma_Z^H = -0.0253H$ ;  $\sigma_{T_{\min}}^H = -(5.8 + 0.0225H)$ ;  $\sigma_{T_{\max}}^H = -(3.1 + 0.016H)$  (Yang Shu-Xin et al., 2012);
- 7) Австралия  $\sigma_Z^H = -0.02H$ ;  $\sigma_T^H = -(17 + 0.009H)$  (Brown, Hoek, 1978);
- 8) Япония  $\sigma_Z^H = -0.027H$ ;  $\sigma_T^H = (\sigma_{T_{\min}}^H + \sigma_{T_{\max}}^H) / 2 = -0.02H$  (Sugawara, 1997).

**Таблица 1.** Гипотезы формирования природных напряжений в массиве горных пород**Table 1.** The hypotheses of natural stresses formation in the rock mass

Автор	Гипотеза
А. Гейм, 1878 г.	$\sigma_X^H = \sigma_Y^H = \sigma_Z^H = -\gamma H$
А.Н. Динник, 1926 г.	$\sigma_Z^H = -\gamma H,$ $\sigma_X^H = \sigma_Y^H = -\lambda\gamma H$
Н. Хаст, 1960 г.	$\sigma_Z^H = -\gamma H,$ $\sigma_X^H = -\lambda\gamma H + T_1,$ $\sigma_Y^H = -\lambda\gamma H + T_2$
ИГД УрО РАН, 2013 г.	$\sigma_Z^H = \gamma H + \sigma_{ZT} + \sigma_{Z\Delta\Phi},$ $\sigma_X^H = \lambda\gamma H + \sigma_{XT} + \sigma_{X\Delta\Phi},$ $\sigma_Y^H = \lambda\gamma H + \sigma_{YT} + \sigma_{Y\Delta\Phi},$ где: $\sigma_{XT} + \sigma_{X\Delta\Phi} = T_1,$ $\sigma_{YT} + \sigma_{Y\Delta\Phi} = T_2,$ $\sigma_{Z\Delta\Phi; X\Delta\Phi; Y\Delta\Phi} = \sum_{I=K21}^{K12} \sigma_{I(t)}$

Примечание.  $\sigma_X^H, \sigma_Y^H, \sigma_Z^H$  – составляющие главных напряжений, МПа;  $\gamma$  – удельный вес пород, Н/м<sup>3</sup>;  $H$  – мощность налегающих горных пород, м;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора (определяемый коэффициентом Пуассона);  $T_1, T_2$  – главные составляющие тектонических сил (Н. Хаст не разделял  $\sigma_T$  и  $\sigma_{\Delta\Phi}$ ), МПа;  $\sigma_{ZT}, \sigma_{XT}, \sigma_{YT}$  – главные статические составляющие постоянных тектонических сил, действующих в период работы предприятия или сооружения, МПа;  $\sum_{I=K21}^{K12} \sigma_{I(t)}$  – суммарный вклад величин изменения НДС различных геологических циклов, МПа.

Note.  $\sigma_X^H, \sigma_Y^H, \sigma_Z^H$  – the main components of the stress, MPa;  $\gamma$  – the specific gravity, N/m<sup>3</sup>;  $H$  – thickness overlying rocks, m;  $\lambda$  – the coefficient of lateral thrust (defined-trolled Poisson's ratio);  $T_1, T_2$  – the main components of tectonic forces (N. Hast not share  $\sigma_T$  and  $\sigma_{\Delta\Phi}$ ), MPa;  $\sigma_{ZT}, \sigma_{XT}, \sigma_{YT}$  – the main static components of the constant tectonic forces acting during the operation of the enterprise or facility, MPa;  $\sum_{I=K21}^{K12} \sigma_{I(t)}$  – the total contribution of tens-deformation state (TDS) change values of various geological cycles, MPa.

Более детально изменение напряжений с глубиной на рудниках Урала и на некоторых рудниках в других регионах мира отображено на рис. 1–3 (Зубков и др., 2013) на (см. рис. 1–3), числовые обозначения соответствуют таковым в табл. 2.

На графиках видно, что значения напряжений выходят за пределы гравитационной составляющей ( $\gamma H$ ), так как добавляется тектоническая составляющая ( $\sigma_T$ ), увеличивающаяся по мере роста глубины и достигающая максимума на отметках 200–500 м.

Эволюция Земли неразрывно связана с ее периодическим расширением и сжатием. Е.Е. Милановский (1984) в обзорной статье по этой проблеме называет это явление пульсацией Земли. Гипотезу о пульсации Земли на фоне общего расширения высказали В. Бухер (1933 г.), М.М. Тетяев (1934 г.), В.А. Обручев (1940 г.), М.А. Усов (1940 г.), Н.Е. Мартынов (1968 г.), П.Н. Кропоткин (1970 г.), В.Е. Хаин (1973 г.). В своей работе В.Е. Хаин показывает, что за период 5–20 млн лет радиус Земли ( $R_3$ ) может изменяться на 1–3% и более (Хаин, Ломизе, 1995).

Гипотеза о причинах расширения Земли связана с удалением водорода из гидридов Fe, Ni, Co и других элементов во внутреннем ядре Земли. Этот процесс приводит к увеличению объема вещества и перемещению его во внешнее ядро, а затем в мантию<sup>1</sup>. В соответствии с этой гипотезой, на начало геологического развития радиус внутреннего ядра составлял 1300 км, внешнего ядра – 3700 км, а полный радиус Земли – 4000 км. В настоящее время радиус внутреннего ядра составляет 1278 км, внешнего – 3488 км, а радиус мантии с литосферой – 6378 км. В отношении же периодического сжатия (образно говоря, “поджатия”) Земли убедительной гипотезы нет, есть лишь констатация факта и объяснение этого явления периодическим остыванием мантии. Трудно объяснить пульсирующие изменения размеров земной коры кратковременными изменениями ее температуры, особенно в периоды пико- и наноциклов (табл. 3) (Афанасьев, 1998; Зубков и др., 2013).

Заслуживает особого внимания пикоцикл 21-го класса – 160 мин (2 ч 40 мин), который отметили геологи. Этот же цикл фигурирует у исследователей, рассматривающих влияние магнитозвуковых волн космоса на расширение и сжатие Земли<sup>2</sup>. В свою очередь астрономы в результате точных измерений обнаружили, что диаметр Солнца изменяется на несколько километров каждые 2 ч 40 мин, причем период сохраняется строго постоянно, при этом на доли процента меняется светимость Солнца, т. е. излучаемая им энергия  $S_0$ <sup>3</sup>.

В 2007 г. на шахте “Естюнинская” в г. Нижнем Тагиле на глубине –400 м вне зоны влияния горных работ был оборудован геодинамический полигон (ГП) для отслеживания конвергенции стенок выработки по ширине и высоте как реакции массива горных пород на изменение НДС, вызванного различными факторами. Вкрест простирания выработки установили вертикальную и горизонтальную ба-

<sup>1</sup> Клоков А.А. Расширяющаяся планета с эпохами сжатия. (<http://klokov-aa.nored.ru/planet.html>)

<sup>2</sup> Русинов Ю.И. Ионосфера в едином поле волн. ([http://www.ntpo.com/secrets\\_space/secrets\\_space/15.shtml](http://www.ntpo.com/secrets_space/secrets_space/15.shtml))

<sup>3</sup> Найманбаев М. О парадоксах в Солнечной системе. (<http://www.proza.ru/2010/03/02/759>)

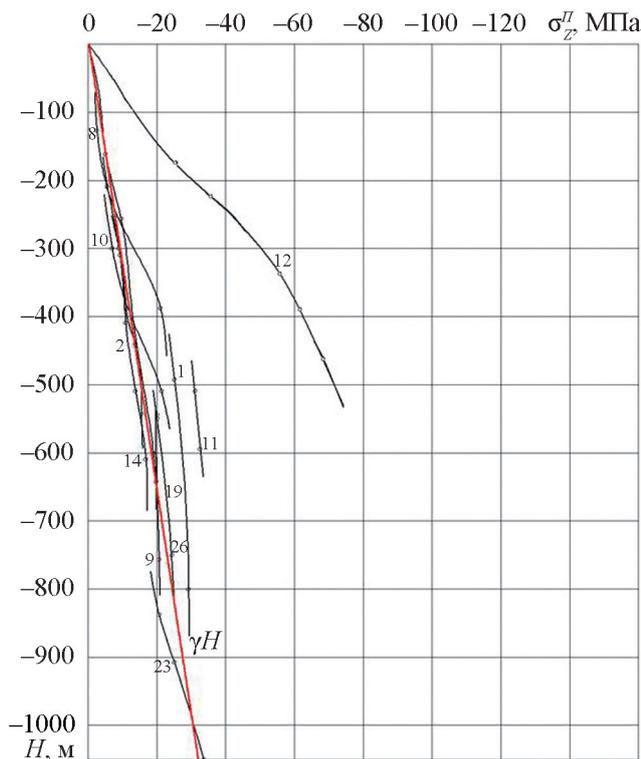
**Таблица 2.** Результаты определения первоначальных напряжений на месторождениях полезных ископаемых Урала и стран мира

**Table 2.** The results of determination initial stresses of mineral deposits resources in the Urals and some different countries

№	Город, месторождение	Год измерения	H, м	Первоначальные напряжения, МПа			Коэффициент, связывающий максимальные напряжения со средними
				Горизонтальные		Вертикальные	
				$\sigma_x^H$	$\sigma_y^H$	$\sigma_z^H$	$K = \frac{\sigma_x}{(\sigma_x + \sigma_y) / 2}$
1	Североуральск, Североуральское	1997	490	-54.0±13.5	-33.0±7.5	-25.0	1.24
		1981	800	-58.0	-38.0	-29.0	1.21
2	Красноуральск, Северо-Песчанское	1968	300	-10.3±2.2	-7.9±2.7	-9.0	1.13
		1968	380	-13.0±2.4	-8.0±4.4	-11.3	1.23
		1982	430	-16.3	-12.5	-15.5	1.73
8	Кушва, Валуевское	1969	125	-5.6 ± 2.4	-2.9 ± 4.4	-4.7 ± 2.2	1.3
		1983	380	-26.1 ± 4.0	-21.1 ± 8.6	-22.2 ± 3.2	1.1
9	Кушва, Гороблагодатское	1969	170	17.7	-14.0	-5.0	1.1
		1980	260	-	-	-9.0	1.14
		1980	600	-	-	-18.0	1.3
		1988	760	-	-	-22.0	1.5
10	Нижний Тагил, Лебяжинское I	1970	300	-15.5	-7.9	-6.9	1.3
		1983	510	-22.3±0.9	-19.3±0.9	-21.1±8.6	1.07
11	Нижний Тагил, Высокогорское I	1983	510	-41.0±13	-37.0±7.0	-32.0±5	1.05
		1983	590	-43.6±13	-39.4±7.3	-34.2±5	1.05
12	Нижний Тагил, Естюнинское I	1977	180	-25.4±4.6	-24.2±0.6	-20.9	1.02
		1980	220	-37.0±7.0	-28.5±7.0	-34.3±4	1.13
		1990	340	-77.0±8.9	-55±3.4	-53.0±2.1	1.16
		1994	400	-106.0	-84.0	-60.0	1.1
		2005	460	-115.0	-90.0	-68.0	1.12
14	Березовский Ш, Березовское Ш	1988	212	-9.4±	-8.3±	-5.9	1.06
		1988	314	-	-	-8.9	1.05
		1988	412	-	-	-11.5	1.05
		1987	512	-	-	-14.3	1.06
		1990	612	-	-	-17.1	1.05
19	Узельгинское Ш, Узельгинское I	1994	550	-38.5	-37.4	-26.5	1.01
		1996	550	-36.7	-25.7	-20.3	1.17
		1999	640	-36.4	-24.4	-20.6	1.19
23	Гай, Гайское VI, Гайское I	1998	830	-39.9±4.5	-18.7±1.2	-21.8	1.36
		2004	910	-41.6	-19.8	-25.0	1.35
		2008	1070	-48.7	-32.0	-33.3	1.2
24	Япония	1984	335	-8.9	-5.6	-5.2	1.03
		1983	370	-20.2	-11.1	-12.5	1.07
		1989	510	-15.5	-6.4	-11.2	1.1
25	Китай	1987	343	-9.2	-7.2	-6.0	1.05
		1988	401	-15.5	-3.7	-9.6	1.09
27	Юж. Уэльс	1986	360	-11.5	-11.2	-8.6	1.12
		1983	455	-26.0	-15.0	-11.0	1.31
		1986	540	-26.2	-24.8	-15.2	1.48

зы, выполненные в виде кварцевых деформометров, один конец которых жестко закреплен на стенке выработки, а второй расположен на креплении без жесткой фиксации. На креплении установлены датчики автоматической деформационной станции (АС

“Массив-П”). Таким образом, на этом ГП появилась возможность в автоматическом режиме получать данные об изменении вертикального и горизонтального диаметров выработки с точностью до 0.001 мм через заданный промежуток времени от 20 мин.



**Рис. 1.** Изменение природных вертикальных напряжений по глубине.

**Fig. 1.** Natural vertical stresses change in depth.

В 2013 г. все данные, полученные с использованием АС “Массив-II”, были проанализированы и использованы для определения изменения НДС массива. На рис. 4, 5 показаны графики изменения вертикального  $\Delta U_z$  и горизонтального диаметров выработки  $\Delta U_I$ .

Изменения напряжений определяли по следующей методике. Если принять отсчет по прибору в какой-то момент времени за нулевой  $U_{I(0)}$ , то последующий отсчет  $U_I$  покажет по отношению к нулевому деформацию рассматриваемой базы:

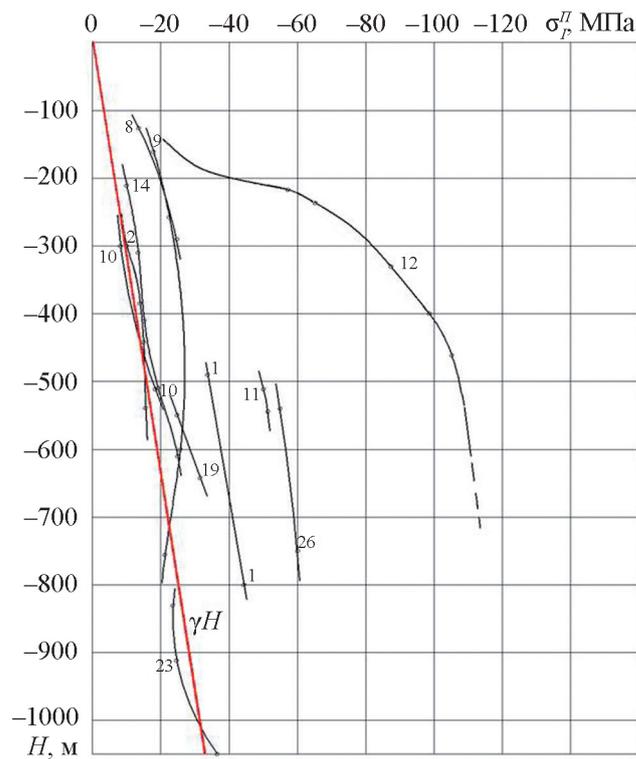
$$\Delta U_I = U_I - U_{I(0)}. \quad (1)$$

В рассматриваемый момент времени по деформациям баз можно найти изменения напряжений в массиве в направлении этих баз по формулам

$$\Delta \sigma_z = \frac{E}{C(1-\mu^2)} \left( \frac{\Delta U_z V_{I(I)}}{B_z} - \frac{\Delta U_I V_{Z(I)}}{B_I} \right), \quad (2)$$

$$\Delta \sigma_I = \frac{E}{C(1-\mu^2)} \left( \frac{\Delta U_I V_{Z(Z)}}{B_I} - \frac{\Delta U_z V_{I(Z)}}{B_z} \right), \quad (3)$$

где  $C = V_{I(I)} V_{Z(Z)} - V_{Z(I)} V_{I(Z)}$ ;  $B_I$  и  $B_z$  – базы по оси  $I$  (горизонтально) и  $Z$  (вертикально);  $V_{I(I)}$ ,  $V_{Z(I)}$  – условный коэффициент концентрации напряжения  $\sigma_I$  по



**Рис. 2.** Изменение минимальных сжимающих горизонтальных напряжений по глубине.

**Fig. 2.** The variation of minimum compressive horizontal stresses in depth.

оси  $I$  и  $Z$ ;  $V_{Z(Z)}$ ,  $V_{I(Z)}$  – то же, от напряжения  $\sigma_z$  по оси  $Z$  и  $I$ ;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль упругости.

Условные коэффициенты концентрации вычислены для прямоугольно-эллиптической выработки, выполненной в объемной модели из пенопласта. При приложении одноосных нагрузок  $\sigma_I$  или  $\sigma_z$  измерялась конвергенция стенок выработки  $U_I$ , а также почвы и кровли  $U_z$  при известных значениях  $E$  и  $\mu$  для пенопласта. Для круглой выработки  $V_{I(I)}$ ;  $V_{Z(Z)} = 3$ ;  $V_{Z(I)}$ ;  $V_{I(Z)} = -1$  – это общеизвестные значения (Тимошенко, Гудьер, 1975):

$$V_{I(I)} = \frac{U_I E}{B_I (1-\mu^2) \sigma_I}, \quad (4)$$

$$V_{Z(Z)} = \frac{U_z E}{B_z (1-\mu^2) \sigma_z}, \quad (5)$$

$$V_{Z(I)} = \frac{U_z E}{B_z (1-\mu^2) \sigma_I}, \quad (6)$$

$$V_{I(Z)} = \frac{U_I E}{B_I (1-\mu^2) \sigma_z}. \quad (7)$$

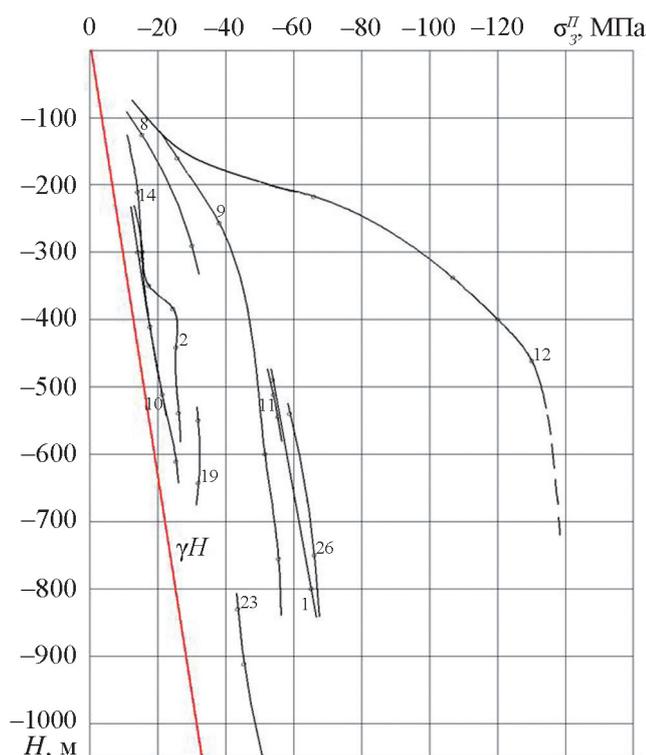


Рис. 3. Изменение максимальных горизонтальных напряжений по глубине.

Fig. 3. The change of maximum horizontal stresses in depth.

Относительные деформации массива ( $\varepsilon_I$  и  $\varepsilon_Z$ ) для баз в сечении выработки находим по формулам

$$\varepsilon_I \approx \frac{1}{E}(\Delta\sigma_I - \mu\Delta\sigma_Z), \quad (8)$$

$$\varepsilon_Z \approx \frac{1}{E}(\Delta\sigma_Z - \mu\Delta\sigma_I). \quad (9)$$

Исходные данные для определения напряжений и деформации имеют следующие значения:

$E \approx 0.7 \times 10^5$  МПа;  $B_I$  и  $B_Z = 3.5$  м;  $\mu = 0.3$ ;  $V_{Z(Z)} = 3.5$ ;  $V_{I(I)} = 3.4$ ;  $V_{I(Z)} = -0.7$ ;  $V_{Z(I)} = -0.75$ ;  $C = 11.4$ ;  $\Delta\sigma_I = 6.75 \times 10^3(\Delta U_I 1.00 - \Delta U_Z(-0.20))$ ;  $\Delta\sigma_Z = 6.75 \times 10^3(\Delta U_I 0.97 - \Delta U_Z(-0.21))$ .

На рис. 4 можно проследить пульсацию с периодом 2 ч 40 мин (К 21). При средних  $\Delta U_I \approx \Delta U_Z \approx 10$  мкм изменение напряжений не превысит  $\Delta\sigma_Z \approx \Delta\sigma_I \approx 0.08$  МПа, а относительная деформация  $\varepsilon_I \approx \varepsilon_Z \approx 0.08 \times 10^{-5}$ .

На этом же рисунке можно определить суточную пульсацию (К 20):

$$U_I \approx U_Z \approx U_{\text{пн}} - U_{\text{пд}} \approx 36 \text{ мкм},$$

где пн, пд – полночь, полдень и соответствующие этой пульсации  $\Delta\sigma_Z \approx \Delta\sigma_I \approx 0.3$  МПа,  $\varepsilon_I \approx \varepsilon_Z \approx 0.3 \times 10^{-5}$ .

По графику на рис. 5 можно проследить пульсацию с периодом 14 дней (К 19):

$$\Delta U_I \approx \Delta U_Z \approx 100-200 \text{ мкм}.$$

В результате получаем:

$$\Delta\sigma_Z \approx \Delta\sigma_I \approx 0.8-1.6 \text{ МПа};$$

$$\varepsilon_I \approx \varepsilon_Z \approx (0.8-1.6) \times 10^{-5}.$$

Подобное явление объемной деформации массива горных пород было зафиксировано на Гайском подземном руднике, где с 2013 г. ведется геодеформационный мониторинг изменения НДС крепи ствола “Клетевая”. На отметках –830, –910, –990, –1070 и –1390 м установлены станции для измерения горизонтальных и вертикальных деформаций крепи на базе 1600 мм как реакции на изменение НДС породного массива во времени. Периодичность измерений раз в четыре месяца. Полученные значения относительных деформаций пересчитывались в значения напряжений, определялась величина их изменения во времени. Результаты изменения величины вертикальных и горизонтальных деформаций (табл. 4), а также напряжений приблизительно равны с учетом возможной погрешности определения их значений, на основании чего можно сделать вывод о том, что наблюдаемая деформация является объемной.

Анализ результатов, приведенных в табл. 3, показывает, что постоянная пульсация НДС массива горных пород в пико- и наноциклах не может быть вызвана тектоническими силами, процесс влияния которых в данном случае можно характеризовать как медленный. Мы предполагаем, что эта пульсация есть следствие влияния астрофизических процессов, суть которых будет раскрыта ниже.

При поддержке РФФИ в 1998 г. ИГД УрО РАН начал изучение периода, амплитуды и азимута пульсации тектонических напряжений в земной коре Северного, Среднего и Южного Урала, в рамках наноцикла 15-го класса (К 15). Были оборудованы ГП под землей и на поверхности. Подземные ГП расположены на действующих рудниках вне зоны влияния горных работ, в районе городов: Краснотурьинск на глубине –600 м, Нижний Тагил (–480 м), Березовский (–512, –712 м), Гай (–830 м), а также на поверхности в окрестностях г. Екатеринбург.

Для подземных ГП выбраны различно ориентированные выработки, в которых заложены реперные линии на базах 40–50 м. Расстояния между реперами измеряются рулеткой по методике гибких нитей (Зубков, 2001), что обеспечивает точность измерения изменения базы до 0.2 мм. На поверхности измерения производили на базах от 1.5 км с помощью спутниковой навигационной системы GPS.

Обработка результатов заключалась в следующем: – была выбрана база  $L_0$  измеренная, к примеру, в декабре 1998 г., относительно которой оценивали изменение длины в последующие замеры;

**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	
	Тип	Класс			$\Delta\varepsilon \times 10^5$	$\Delta\sigma$ , МПа
Оболочки	Мега	1	4.6 млрд лет	История Земли	-	-
		2	1.4 млрд лет	Мегахрон		
		3	700 млн лет	Эон		
		4	215 млн лет	-		
Формации	Макро	5	190 млн лет	Эра	1000-3000	-
		6	58 млн лет	Период		
		7	14 млн лет	Эпоха		
Пачки	Мезо	8	3.7 млн лет	Век	-	-
		9	800 тыс. лет	Фаза		
		10	190 тыс. лет	Пора		
Слои	Микро	11	40 тыс. лет	Геоминута	-	-
		12	9.5 тыс. лет	Эпизод		
		13	1.6 тыс. лет	Полисекунда		
Слойки	Нано	14	220 лет	Геосекунда	50	≈30
		15	60 лет	Вековой наноцикл	13-26	10-20
		16	10-13 лет	Солнечный наноцикл		
		17	3.5 года	Геотерция		
18	1 год	Год				
Пульситы	Пико	19	3 месяца	Сезонный пикоцикл	-	-
		20	14 дней	Лунный пикоцикл	До 0.8-1.6	До 0.8-1.6
		21	1 день	Суточный пикоцикл	До 0.3	До 0.3
		22	160 мин	Трехчасовой пикоцикл	До 0.08	До 0.08

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

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

– по полученным изменениям длины линий  $\Delta(L-L_0)$  определяли относительную деформацию массива горных пород  $\varepsilon_i$ ;

– подбирали комбинации из трех линий и находили  $\Delta\sigma_1$ ;  $\Delta\sigma_2$  (МПа);  $\alpha_{i-1}$ , (град) по формуле (11);

– после статистической обработки получали средние значения  $\Delta\sigma_1$ ;  $\Delta\sigma_2$ ;  $\alpha_i$  и азимут действия  $\Delta\sigma_1$ ;

– за весь период наблюдений находили средний азимут действия  $\Delta\sigma_1$  или  $\Delta\sigma_2$ , который принимается за ось абсцисс  $X$ , и находили  $\Delta\sigma_x$ ;  $\Delta\sigma_y$ ;  $\Delta\tau_{xy}$ , которые более наглядно характеризуют изменение напряжений во времени:

$$\begin{aligned} \text{tg}2\alpha_{i-1} &= \\ &= 2 \frac{(E_I \varepsilon_I - E_{II} \varepsilon_{II}) \sin^2 \alpha_{I-III} - (E_I \varepsilon_I - E_{III} \varepsilon_{III}) \sin^2 \alpha_{I-II}}{(E_I \varepsilon_I - E_{III} \varepsilon_{III}) \sin 2\alpha_{I-II} - (E_I \varepsilon_I - E_{II} \varepsilon_{II}) \sin 2\alpha_{I-III}}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Delta\sigma_{1,2} = \frac{A(1 + \mu) \pm (E_I \varepsilon_I - E_{II} \varepsilon_{II})(1 - \mu)}{B(1 - \mu^2)}, \quad (11)$$

где  $A = E_I \varepsilon_I \cos 2(\alpha_{I-1} + \alpha_{I-III}) - E_{III} \varepsilon_{III} \cos 2\alpha_{I-1}$ ;  $B = \cos 2(\alpha_{I-II} + \alpha_{I-III}) - \cos 2\alpha_{I-II}$ ;  $\alpha_{I-II} + \alpha_{I-III}$  – углы, отсчитываемые от первой реперной линии ко второй и третьей против хода часовой стрелки,

град;  $\alpha_{i-1}$  – азимут действия  $\Delta\sigma_1$ , отсчитываемый от направления  $E_I \varepsilon_I$  по часовой стрелке, град;  $E_I$ ,  $E_{II}$ ,  $E_{III}$  – модули деформации массива на базе реперных линий;  $\mu$  – коэффициент Пуассона массива;  $\varepsilon_I$ ,  $\varepsilon_{II}$ ,  $\varepsilon_{III}$ , – относительная деформация массива на длине реперных линий (Зубков, 2001).

Анализ изменения во времени (пульсации) значений  $\Delta\sigma_1$ ,  $\Delta\sigma_2$  на месторождениях Урала показал, что они примерно равны, поэтому было принято решение в дальнейшем величину, характеризующую изменение горизонтальных напряжений, принимать как среднее значение ( $\Delta\sigma_{cp}$ )  $\Delta\sigma_1$  и  $\Delta\sigma_2$ . Поскольку мы предполагаем, что это изменение вызвано астрофизическими явлениями, то вышеописанное среднее значение ( $\Delta\sigma_{cp}$ ) обозначим  $\sigma_{АФ}$ :

$$\sigma_{АФ} = \Delta\sigma_{cp} = (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2)/2. \quad (12)$$

Наиболее близки к таким явлениям галактические космические лучи (протон-электронная плазма), периодичность интенсификации которых имеет 11-летний цикл и совпадает по фазе с  $\sigma_{АФ}$ , но в противофазе с интенсивностью пятнообразования ( $W$ ) и солнечной постоянной ( $S_0$ ) (Абдусаматов, 2013). Считается, что преобладание протонного излучения приводит к сжатию, а преобладание электронного – к расширению материала (Тарасов, 2009).

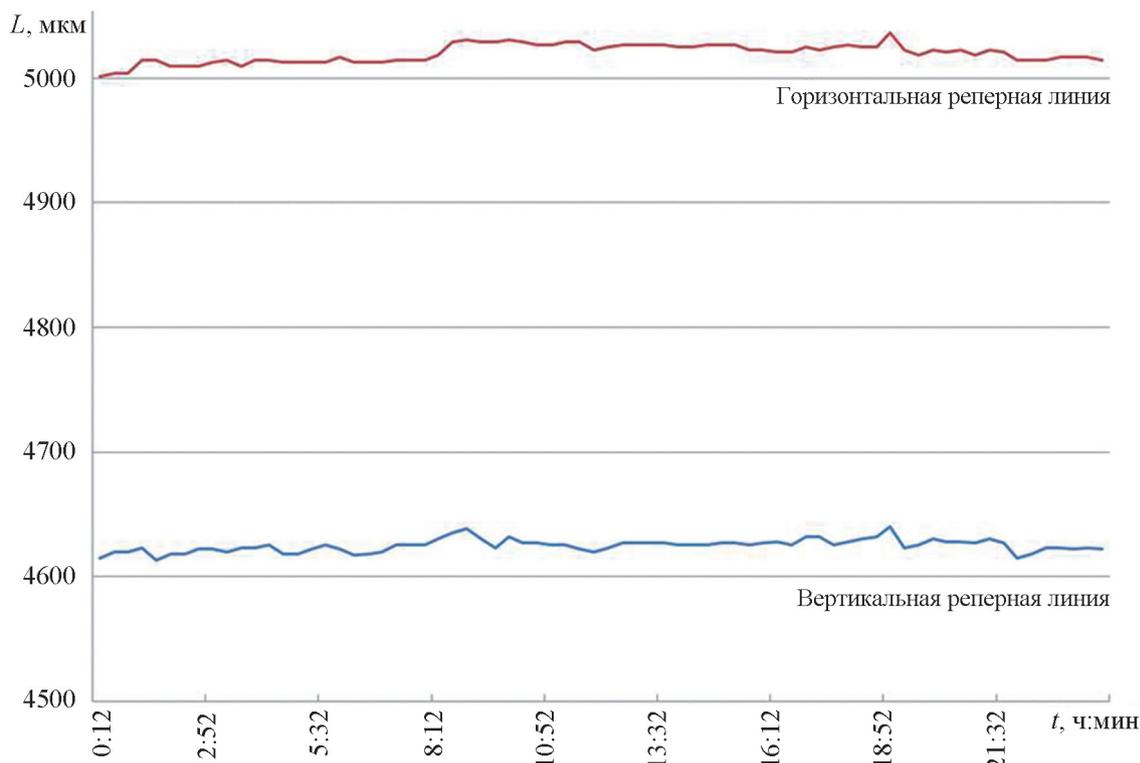


Рис. 4. Изменение линейных параметров сечения горной выработки за сутки.

Fig. 4. Changing linear section parameters of a mine opening for a day.



Рис. 5. Изменение линейных параметров сечения горной выработки за три месяца.

Fig. 5. Changing linear section parameters of a mine opening for three months.

На рис. 6 представлены графики изменения составляющих НДС массива  $\sigma_{\text{АФ}}$  (астрофизические напряжения) и  $\epsilon_{\text{АФ}}$  (деформация, вызванная действием  $\sigma_{\text{АФ}}$ ) на рудниках в городах Урала и Алтая

на фоне изменения излучения Солнца  $S_0$  в 11-летних циклах. Данные изменения НДС на рудниках Алтая были взяты из литературы (Синкевич, 2006). Из графика на рисунке видно, что измене-

**Таблица 4.** Величины замеренных деформаций и вычисленных напряжений в бетонной крепи ствола шахты “Клетевая” на базе 1600 мм,  $\Delta\sigma_k$  (МПа)

**Table 4.** The values of measured deformations and calculated stresses in the shaft of the “Kletevaya” mine on the 1600 mm base,  $\Delta\sigma_k$  (MPa)

	18.12.13	03.04.14	18.06.14	07.10.14	16.12.14
<b>–830 м</b>					
Z	–0.34	–0.6	–1.82	–2.6	–3.22
X	–0.34	–0.9	–2.0	–2.6	–3.33
<b>–910 м</b>					
Z	–0.63	–1.2	–1.8	–2.63	–3.1
X	–1.68	–2.3	–2.7	–3.4	–3.6
<b>–990 м</b>					
Z	–0.98	–1.4	–2.2	–3.27	–4.0
X	–2.4	–2.8	–3.5	–4.2	–4.5
<b>–1075 м</b>					
Z	–3.9	–4.7	–5.6	–6.4	–6.5
X	–3.3	–6.0	–6.8	–7.4	–7.7
<b>–1390 м</b>					
Z	–3.9	–4.4	–6.6	–8.0	–8.4
X	–3.3	–4.9	–10.1	–11.4	–11.5

ния тренда НДС массива точно повторяют изменения  $S_0$ .

Деформация Земли в классе К6 получена по прогнозу В.Е. Хаина (Хаин, Ломизе, 1995).

Экспериментальные наблюдения показали главное.

1. Массив горных пород сжимается и расширяется объемно и равномерно по всем направлениям, т. е. наблюдается 3D-деформация. Если бы происходило изменение напряжений только в горизонтальной плоскости, что и ожидалось при изменении тектонических напряжений, то базис в вертикальном направлении деформировался бы на 30% от деформации базиса горизонтального направления, причем с обратным знаком (Тимошенко, Гудьер, 1975).

2. По мере уменьшения класса пульсации изменение НДС массива увеличивается, что видно из табл. 3.

Пульсация НДС массива в классе К13 получена на основании анализа измерения радиуса Земли с 1818 по 1942 г.<sup>3</sup> (Штенгелов, 1982; Зубков, 2013) и согласуется с  $S_0^4$  (Lean, 2010).

На основании изложенного в ИГД УрО РАН предложена новая гипотеза формирования природных напряжений в массиве горных пород, в которой, наряду с условно постоянными гравитационно-

тектоническими напряжениями, присутствует переменная во времени составляющая  $\sigma_{\text{АФ}}$ , вызванная влиянием астрофизических полей и излучений, одинаково воздействующих на Солнце и Землю (см. табл. 1).

При сопоставлении данных из табл. 1 и графика на рис. 6 напрашивается вывод о том, что Земля, в том числе верхняя часть земной коры, в течение периода, примерно равного 11 годам, подвергается процессам сжатия и расширения. Период сжатия составляет примерно 5–6 лет, а период расширения около 4–5 лет.

В период возрастающего сжатия земной коры в ее приповерхностной части создаются условия среза и подвижки массива по наклонным плоскостям в соответствии с выполнением условия:

$$\frac{\sigma_{\Gamma}^{\text{II}} - \sigma_{\text{Z}}^{\text{II}}}{2} \sin 2\alpha + \text{tg}\varphi (\sigma_{\Gamma}^{\text{II}} \sin^2 \alpha + \sigma_{\text{Z}}^{\text{II}} \cos^2 \alpha), \quad (13)$$

где  $\sigma_{\Gamma}^{\text{II}} = \sigma_{\text{X}}^{\text{II}}, \sigma_{\text{Y}}^{\text{II}}$ ;  $\alpha$  – угол к горизонту плоскости среза;  $C$  – сцепление по сместителю;  $\varphi$  – угол трения по сместителю.

При цикле 11 лет за тысячелетия по этим сместителям происходят постоянные подвижки сбросо-надвигового характера, т.е. образуются постоянно работающие зоны (активные разломы), где  $C = 0$  и участвуют лишь напряжения и  $\text{tg}\varphi$ .

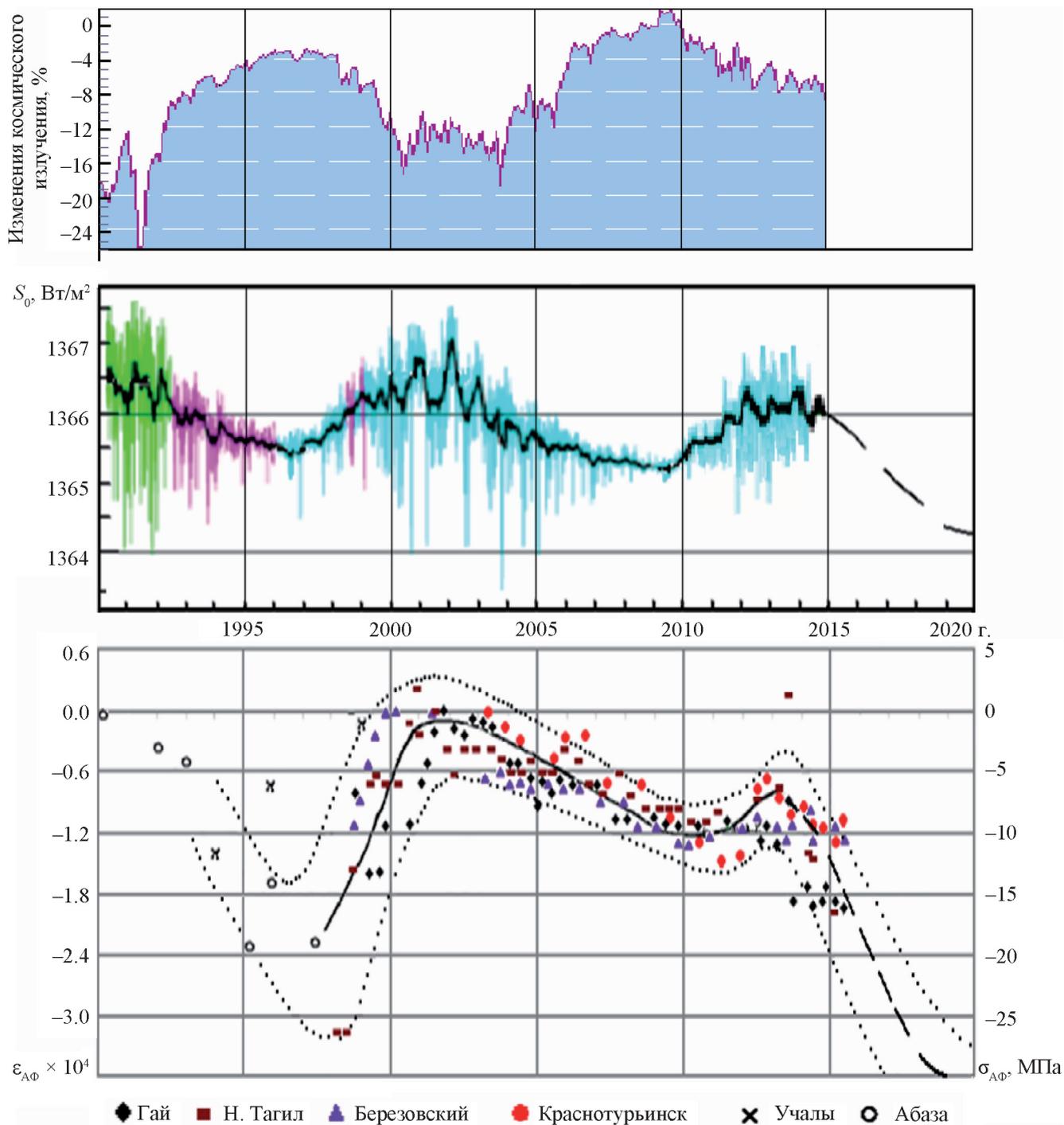
Оптимальный угол падения сместителей должен составлять  $40^\circ$ . В процессе деформации земной коры этот первоначальный угол может изменяться как в меньшую, так и в большую сторону, но не более чем на  $10^\circ$ . В противном случае должна образовываться новая плоскость скола.

Если рассматривать глобальные процессы, то образование и жизнь надвигов при сжатии земной коры можно увидеть по надвигам материковой земной коры на океаническую и на Урале при встречном движении Русской и Западносибирской платформ. Наблюдается выдавливание Уральского хребта по надвигам его западного и восточного склонов.

На восточном склоне Урала эта зона надвигов отчетливо проявляется в рельефе на расстоянии многих сотен километров, местами она образует уступ высотой от 10 до 100 м и более. Особенно отчетливо это видно на Северном и Южном Урале. Согласно геоморфологическим данным, развитие этих надвигов продолжается и на неотектоническом этапе развития (Буданов, 1957; Трифионов, 1963). В районе города Челябинска, например, отмечается образование разрывов в стенах сооружений, расположенных над зонами разломов.

Наиболее полная сводка надвиговых зон Западного склона Северного и Среднего Урала приведена в работе К.П. Плюснина (1969), который на основании данных о больших горизонтальных перемещениях надвинутых крыльев определяет их

<sup>3</sup> Solar Constant. Construction of a Composite Total Solar Irradiance (TSI) Time Series from 1978 to present. (<http://pmodwrc.ch/pmod/php?topic=tsi/composite/solarConstant>: 25.12.2014).



**Рис. 6.** 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. 6.** The variation of rock mass tens-deformation state (TDS)  $\sigma_{АФ}$  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.

как шарьяжи. Самой западной из установленных зон надвигов является Чусовская, соединяющаяся в южном направлении с Михайловским шарьяжем, расположенным западнее Нижне-Сергинской зоны

надвигов. Отмеченные зоны образуют естественную границу, отчетливо разделяющую Предуральский прогиб, испытывающий опускание относительно поднимающегося горного Урала. Отмеча-

**Таблица 5.** Угол внутреннего трения по плоскостям сместителей  $\varphi$ , град**Table 5.** The angle of internal friction on the removal' planes  $\varphi$ , degree

Глубина, м	Группа месторождений		Япония	Южный Уэльс	Китай
	С низким уровнем напряжений	С высоким уровнем напряжений			
200	12.0	7.4	13.5	7.9	9.8
300	14.4	11.7	15.5	8.4	12.4
400	14.4	15.3	14.0	15.9	13.9
500	14.5	14.8*	9.5	15.8	12.2
600	14.0	12.0	9.0	11.2	11.6

\* – данные для СУБРа.

\* – Data for SUBR.

ется, что рассматриваемая зона надвигов является тектонически активной и в неоген-четвертичное время, причем установлено поднятие “взброшенных” и погружение “опущенных” блоков.

Дизъюнктивные нарушения типа надвигов и взбросов известны не только на флангах, но и во внутренних областях складчатого Урала. К их числу можно отнести Главный Уральский разлом, а также ряд других разломов в пределах Тагило-Магнитогорского погружения.

О современных движениях по пологому надвигу в коренных породах горы Магнитной (Южный Урал) точно свидетельствуют маркшейдерские наблюдения (Шульц, 1968).

Переходя с глобального и регионального уровня на участки, приуроченные к конкретным месторождениям, при выполнении условий равенства срезающих и удерживающих усилий в тектонических сместителях от действия природных напряжений по вышеприведенным данным установлено (табл. 5):

– от поверхности и до глубины 100–200 м  $\varphi$  растет от минимума до 6–13°;

– на глубинах 400–500 м  $\varphi$  достигает максимума 14–16°;

– глубже можно прогнозировать скол только при уменьшении  $\varphi$ ; это свидетельствует о том, что ниже глубин 400–600 м подвижки по разломам в результате изменения природных напряжений за счет изменения  $\sigma_{\text{АФ}}$  происходить не будут, так как  $\varphi_{>600} < \varphi_{500}$  и мы имеем запас устойчивости;

– в дальнейшем при росте  $\sigma_{\text{АФ}}$  вполне возможно распространение подвижек по нарушениям на большие глубины –700, –800 м и более.

Анализ графиков изменения  $W_0$ ;  $S_0$ ;  $n(x)$ ;  $\sigma_{\text{АФ}}$  и  $\varepsilon_{\text{АФ}}$  в солнечно-земных 11-летних циклах указывает на то, что:

– в начале цикла 2–3 года наблюдается консолидация массива горных пород и подвижки по нарушениям отсутствуют или очень малы;

– далее 3–4 года сжатие массива уменьшается и сопровождается сбросовыми явлениями;

– далее 1–2 года наблюдается консолидация массива;

– затем 4–5 лет увеличивается сжатие массива и земной коры, сопровождающееся надвиговыми явлениями.

Следовательно, продолжительность цикла может составлять 10–14 лет. К примеру, 22-й цикл имел продолжительность 10 лет, а 23-й цикл – 13 лет.

Гипотетически поведение массива горных пород под влиянием изменяющегося в нем НДС можно проследить на примере геологического строения территории в районе Естюнинского месторождения (г. Нижний Тагил) по результатам мензульной съемки 1959–1960 гг. м-ба 1 : 27 000 (рис. 7, 8).

На представленной топонимике показаны выходы различных пород и крупные нарушения. По некоторым нарушениям зафиксированы опущенные и приподнятые крылья, что явно указывает на современную подвижность по ним.

Углы падения нарушений, за редким исключением, не определены, но по аналогии с Уралом можно принять, что под возвышениями они имеют встречное падение, формируя клинообразные массивы.

Если предположить, что  $\sigma_{\text{АФ}}$  полностью реализуются при подвижке по нарушениям I, II, III и IV, то в приповерхностном слое на базе  $B = 3600$  м, при  $\Delta\sigma_{\text{АФ}} = -15$  МПа,  $E = 0.6 \times 10^5$  МПа деформация массива составит:

$$U = \frac{B\Delta\sigma_{\text{АФ}}}{E} = \frac{3600(-15)}{0.6 \times 10^5} = -0.9 \text{ м.} \quad (14)$$

Следовательно, при  $\alpha = 40^\circ$  в точках II и III поднятие одного крыла нарушения относительно другого должно составить  $\Delta h = \frac{U}{2} \text{tg}40^\circ = -0.38$  м.

При подвижках по более мелким нарушениям в рамках указанной базы и неполной разгрузке  $\sigma_{\text{АФ}}$

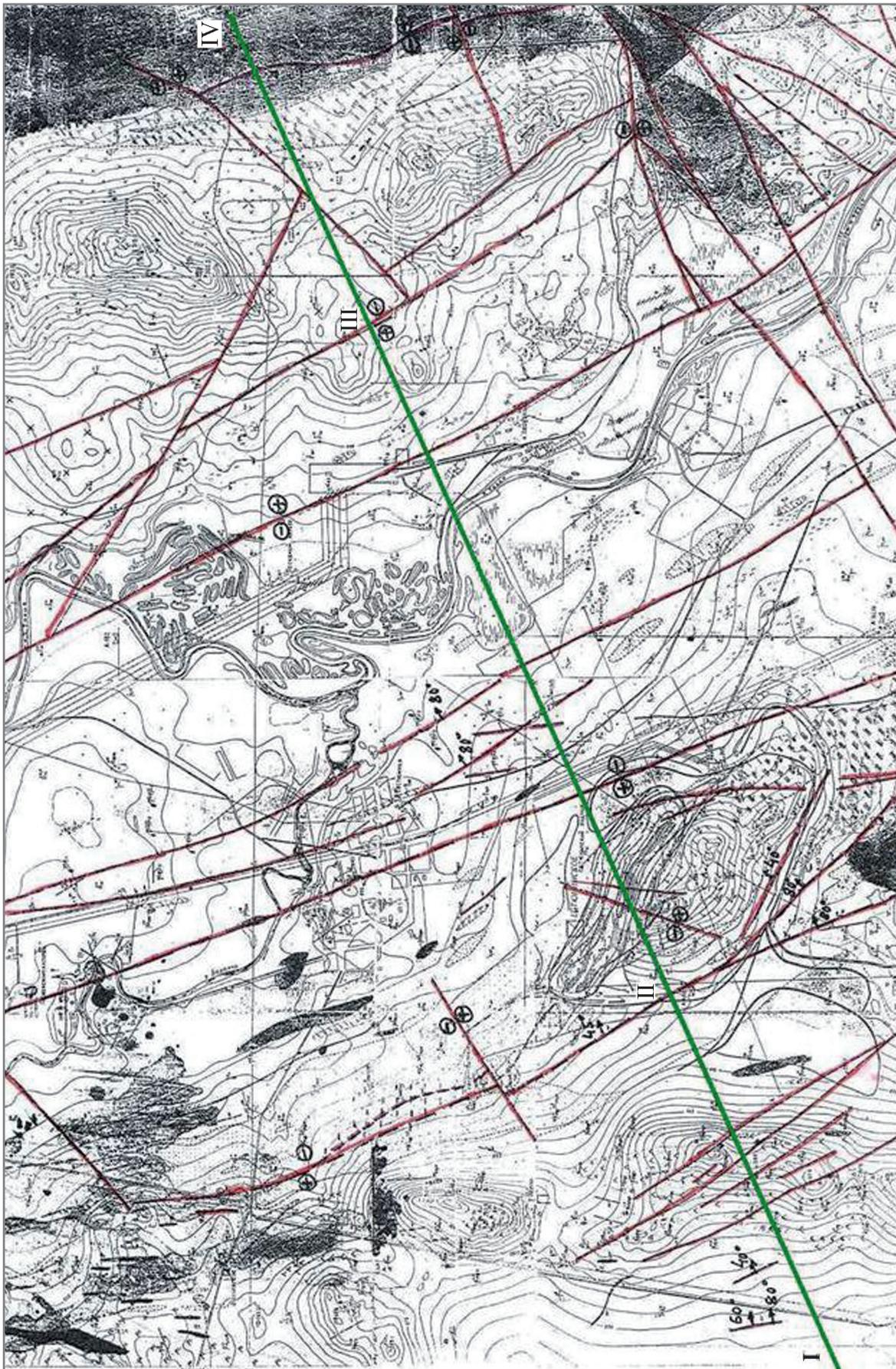


Рис. 7. План поверхности м-б 1 : 27 000. Окрестности г. Нижнего Тагила.

Fig. 7. The plan of Scale 1 : 27 000. Neighborhoods Nizhny Tagil.

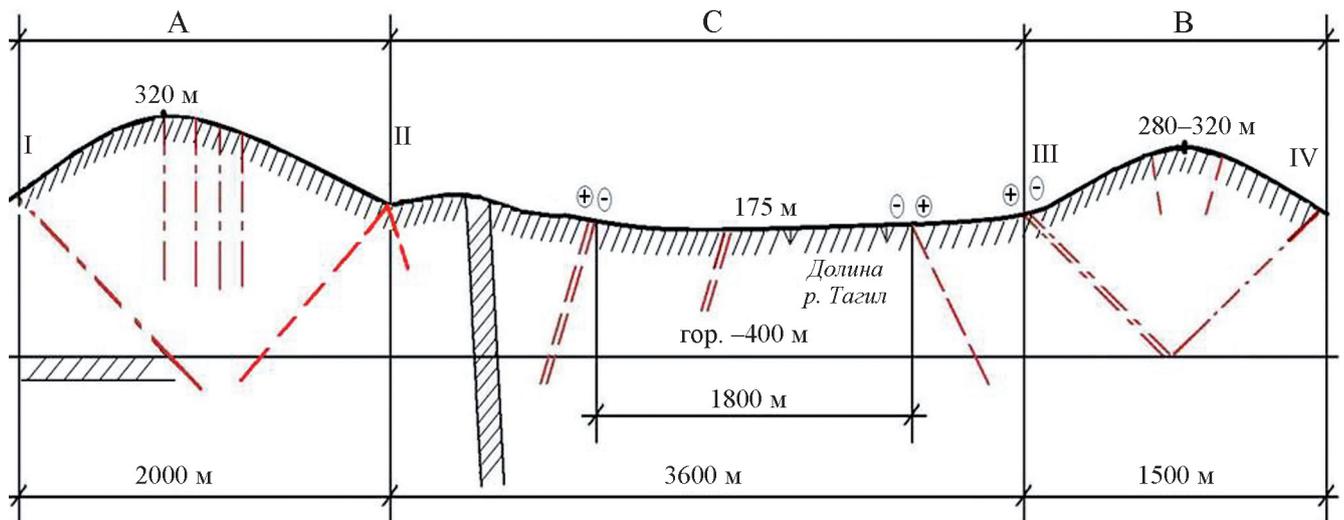


Рис. 8. Разрез по линии I-IV.

Fig. 8. Section along the line I-IV.

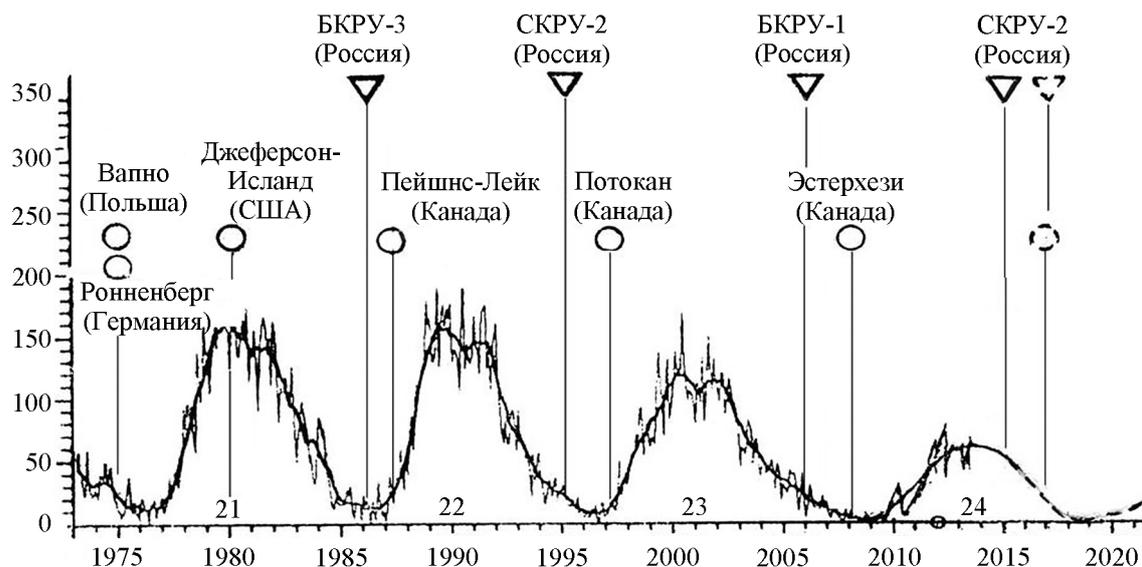


Рис. 9. Аварии на соляных рудниках России и за рубежом на фоне солнечных наноциклов и прогноз ситуации на перспективу.

Fig. 9. Accidents both in the Russia and abroad salt mines against the background of nano-cycles and prospects for the future situation.

относительное поднятие крыльев нарушений должно быть меньше.

Учитывая, что цикл подвижки по нарушениям составляет 3–6 лет, зафиксировать ее на поверхности сложно.

Прогнозируемые постоянные подвижки по нарушениям в течение 11-летних циклов на десятки сантиметров, на наш взгляд, являются главной причиной затопления десятков соляных рудников

в России и за рубежом (рис. 9). При подсечении активного разлома очистными выработками амплитуда сбросо-надвигов увеличивается и создаются благоприятные условия для прорыва воды через нарушенный водоупорный слой. За период с конца XIX по XXI в. только в Германии затоплено более 80 рудников (Липин, 2014).

Если принять во внимание все факторы, которые влияют на формирование НДС массива в про-

**Таблица 6.** Величины напряжений в приконтурной части капитальных и подготовительно-нарезных выработок на глубине 500 м**Table 6.** 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	
	$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_3'' + \sigma_1''}{2}$	$\sigma_{cp}$ при $H = 500$ м	$\sigma_3'' = 1.17\sigma_{cp}$	$\sigma = \sigma_3'' + \sigma_{АФ}$ при $\sigma_{АФ} = 0$ ; $\sigma_{АФ} = -20$ ; $\sigma_{АФ} = -40$	$\sigma_\theta = 2.1\sigma$ ; в конструктивных элементах системы разработки, в капи- тальных выработках	$\sigma_\theta = 6.3\sigma$ ; в подготовительно- нарезных выработ- ках
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 Аф- рика	-(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

странстве и во времени, то при измерении НДС на конкретном участке земной коры в пределах первых километров можно наблюдать формирование напряжений в соответствии с четырьмя гипотезами.

1. На глубинах 300–500 м и более, т.е. ниже зоны разгрузки массива, действуют напряжения в соответствии с гипотезами, разработанными в ИГД УрО РАН и Н. Хаста, где  $\sigma_{АФ}$  является составной частью  $\sigma_T$ .

2. На глубинах до 300–500 м в периоды, когда  $\sigma_{АФ} \rightarrow \max$  (цикл сжатия):

– на участках *A* и *B* (см. рис. 8) напряжения будут ближе к гипотезе Г. Гейма;

– на участке *C* напряжения формируются в соответствии с гипотезами Н. Хаста и ИГД УрО РАН с уменьшенной величиной  $\sigma_T$  и  $\sigma_{АФ}$ .

В периоды, когда  $\sigma_{АФ} \rightarrow 0$  (цикл расширения Земли):

– на участках *A* и *B* массивы будут проседать под собственным весом, и напряжения будут соответствовать гипотезе А.Н. Динника;

– на участке *C* в соответствии с местоположением относительно участков *A* и *B* напряжения будут изменяться от соответствия гипотезам А.Н. Динника, Г. Гейма до гипотезы Н. Хаста с малой величиной  $\sigma_T$ .

Следовательно, если не обращать внимания на время измерения и местоположение, то на месторождении можно получить разнообразнейшую картину НДС массива и сомнительную возможность использования результатов в будущем при оценке устойчивости горных конструкций.

Представленная информация дает основание утверждать, что изучать деформацию земной коры можно на полигонах, заложенных:

– под землей на глубинах более 500–600 м;

– на поверхности при оборудовании постоянных наблюдательных пунктов на вершинах возвышенностей типа *A* и *B* при использовании геодезических методов.

В конечном счете это позволит сделать надежный прогноз изменения НДС массива во времени и пространстве.

В качестве примера приводим возможное формирование напряжений в горно-капитальных и подготовительно нарезных выработках при ведении горных работ в различных регионах мира при прогнозируемом к 2020–2030 гг. росте  $\sigma_{АФ}$  до –20 и –40 МПа (табл. 6).

К 2020–2030 гг. напряжения в горных конструкциях могут в 1.5–2 раза превысить прочностные характеристики массива горных пород, в результате чего доступ к полезным ископаемым на глубинах более 500 м (вне зоны разгрузки массива) будет чрезвычайно затруднен, а в ряде случаев невозможен при существующих технологиях и способах ведения горных работ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы УрО РАН № 15-2-5-20.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаматов Х.И. (2013) Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду. СПб.: Нестор–История, 246 с.
- 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.
- Буданов Н.Д. (1957) Роль новейшей тектоники и связанных с ней трещинных нарушений в гидрогеологии Урала. *Сов. геология*. (58), 24-29.

- Зубков А. В. (2001) Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 335 с.
- Зубков А.В., Зотеев О.В., Смирнов О.Ю., Липин Я.И., Худяков С.В., Криницин Р.В., Селин К.В., Ершов А.А., Валиулов Л.Р. (2010) Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния земной коры Урала во времени. *Литосфера*. (1), 84-93.
- Зубков А.В. (2013) Периодическое расширение и сжатие земли как вероятный механизм природных катаклизмов. *Литосфера*. (2), 145-156.
- Зубков А.В., Селин К.В., И.В. Бирючев И.В., Сентыабов С.В. (2014) Изменение относительной деформации земной коры во времени. *Геомеханика в горном деле*. (1), 45-53.
- Липин Я.И. (2014) Связь техногенных аварий на соляных рудниках с пульсацией напряжений в земной коре. *Геомеханика в горном деле*. (1), 233-240.
- Милановский Е.Е. (1984) Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсации Земли. *Проблемы расширения и пульсации Земли*. М.: Наука, 8-24.
- Плюснин К.П. (1969) Шарьяжи западного склона Северного и Среднего Урала, их возраст и структурное положение. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* (4).
- Синкевич Н.И. (2006) Исследование напряженно-деформированного состояния в призабойном массиве вертикальных стволов Абаканского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. (5), 32-35.
- Тарасов Б.Г. (2009) Пульсация земли и циклы геодинамической активности в потоках космической плазмы. СПб: МАНЭБ, 319 с.
- Тимошенко С.П., Гудьер Дж. (1975) Теория упругости. М.: Наука, 576 с.
- Трифонов В.П. (1963) Геолого-геоморфологические признаки современных тектонических движений Урала. М.: Наука.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. (1995) Геотектоника с основами геодинамики. М.: МГУ, 463 с.
- Штенгелов Е.С. (1982) Современное раздвижение земной коры и гипотезы тектоники плит. *Бюл. МОИП Отд. геол.*, 57(2), 3-17.
- Шульц С.С. (1968) О новейшей тектонике Урала. *Материалы по геоморфологии и новейшей тектонике Урала и Поволжья*. (2). Уфа, 127 с.
- Brown E.T., Hoek E. (1978) Trends in relation between measured in situ stresses with depth. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.* (4), 211-215.
- Lean J.L. (2010) Cycles and trends in solar irradiance and climate. *John Wiley & Sons. Ltd. Climat change*. (1), 111-122.
- Sugawara K. (1997) Department of Civil Engineering and Architecture, Japan. *Measuring rock stress and rock engineering in Japan*. (1), 15-24.
- Yang Shu-Xin, Yao Rui, Cui Xiao-Feng, Chen Qun-Ce, Huang Lu-Yuan (2012) *Chinese J. Geophys.* (6), 708-718.
- Zubkov A.V., Sentyabov S.V. (2014) Forecast Stability of Mining Excavation and HPS's Dams After 2020. *East. Europ. Sci. J.* (1), 153-166.

Рецензент С.Н. Тагильцев

## The regularities of rock mass stressed state formation in the upper part of the Earth crust

A. V. Zubkov, K. V. Selin, S. V. Sentyabov

*The Institute of Mining, Urals Branch of RAS*

It was determined that in the upper part of Earth crust up to 500–600 m depth the rock mass stressed state in some areas may correspond to the A. Geim, A.D. Dinnik, N. Hast hypotheses, as well the hypotheses developed in UB RAS and is mean interchanged for 11 year cycle of solar terrestrial relations. During this cycle 2–3 years rock mass consolidation is observed, and progress on displacement is absent or very small; then rock mass compression decreases for 3–4 years and is accompanied by an array of fault events, after that rock mass consolidation is again observed for 1–2 years. Further, both rock mass and earth's crust compression increases for 4–5 years accompanied by thrust phenomena. The analysis of stresses values in the elements of mining systems shows that by 2020–2030 years the access to minerals in these workings at over 500 m depth will be difficult.

Key words: *stressed-deformed state, deformation, Earth crust, geological cycles, astrophysical stresses.*