

УДК 622.831.3

А.В. Зубков, Л.Р. Валиуллов

ГИПОТЕЗА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД*

Проведен анализ экспериментальных результатов изменений горизонтальных и вертикальных напряжений в массивах горных пород в зависимости от глубины.

Ключевые слова: массив горных пород, тектонические напряжения, открытые горные работы, геологические щиты.

Семинар № 9

A.V. Zubkov, L.R. Valiullov
A HYPOTHESIS OF FORMING GRAVITY AND TECTONIC STRESSES IN THE ROCK MASS

The analysis of experimental results of variations of horizontal and vertical tectonic stresses in rock mass depending on the depth.

Key words: rock mass, tectonic stress, open pit works, geological shield.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ и Совета по грантам Президента РФ ведущих школ

Природное напряженное состояние массива горных пород является исходной информацией для расчета устойчивости конструктивных элементов систем разработки при ведении открытых и подземных работ, а так же расчетов несущих элементов при строительстве капитальных подземных выработок и подземных сооружений.

Знание закономерностей формирования природных напряжений в массивах горных пород позволит прогнозировать их величину на более глубокие горизонты, если они были определены на верхних горизонтах, или даже прогнозировать их на новых

месторождениях. Особенно это касается открытых горных работ, где природное напряженное состояние не изучается. В настоящее время нами установлено, что природные напряжения включают следующие составляющие.

Вертикальные напряжения

$$\sigma_z^n = \gamma H + \sigma_{zt}, \quad (1)$$

где γ – удельный вес вышележащих пород, МН/м³; H – фактическая глубина до рассматриваемой точки, м; σ_{zt} – тектоническая составляющая вертикальных напряжений, МПа.

Горизонтальные напряжения

$$\sigma_{1T}^n = \gamma H + \sigma_{1T}^n + \sigma_{пт}, \quad (2)$$

$$\sigma_{3T}^n = \gamma H + \sigma_{3T}^n + \sigma_{пт}, \quad (3)$$

где σ_{1T}^n , σ_{3T}^n – природные главные нормальные постоянные тектонические напряжения, действующие в горизонтальной плоскости, МПа; $\sigma_{пт}$ – составляющая горизонтальных тектонических напряжений изменяющаяся во времени (пульсация), МПа.

За 40-летний период на Урале были произведены измерения напряжений на 25 месторождениях [1]: Североуральском – 1; Северо-Песчанском – 2; Гороблагодатском – 9; Лебяжинском – 10; Высокогорском –

11; Естюнинском – 12; Березовском (замеры в руде) – 14; Березовском (замеры в породе) – 14*; Узельгинском – 19; Гайском – 23; Таштагольском – 26. График изменения σ_{zp} по глубине приведен на рис. 1 (месторождения, на которых были сделаны по одному замеру в графике не учтены).

На большинстве месторождений $\sigma_z^n = \gamma_n$, а $\sigma_{zt} + \sigma_{пвт} = 0$ при $\gamma = 0,027 \div 0,033 \text{ МН/м}^3$ и угле падения рудных тел 0° или 90° . В тоже время на ряде рудников σ_{zt} изменяется с поверхности от нуля, достигает максимума на глубине $300 \div 500$ м и к отметкам $800 \div 1000$ м уменьшается до нуля.

Так максимального значения σ_{zt} достигает на месторождениях:

– Североуральском (1) на $H=400 \div 500$ м, $\sigma_{zt}=0,9\gamma_n$

– Гороблагодатском (9) на $H=300 \div 400$ м, $\sigma_{zt}=0,5\gamma_n$

– Высокогорском (11) на $H=400$ м, $\sigma_{zt}=1,0\gamma_n$

– Естюнинском (12) на $H=400$ м, $\sigma_{zt}=4,2\gamma_n$

На указанных месторождениях угол падения рудных тел составляет $27 \div 40^\circ$. На рис. 2 и 3 приведены графики изменения напряжений σ_1^n и σ_3^n с глубиной. Для построения этих графиков были взяты результаты измерения напряжений из работы [1], скорректированы с учетом выявленных σ_t^n пульсирующих $\sigma_{пт}$ так, чтобы получить максимальные ожидаемые напряжения на рассматриваемом горизонте.

При проведении экспериментальных работ на рудниках установлено, что на месторождениях: Североуральском $\sigma_{пт} = 5$ МПа; Северо-Песчанском $\sigma_{пт} = (6 \div 7)$ МПа; Естюнинском $\sigma_{пт} = (30 \div 35)$ МПа; Березов-

ском $\sigma_{пт} = (7 \div 8)$ МПа; Узельгинском $\sigma_{пт} = 7$ МПа; Гайском $\sigma_{пт} = (15 \div 20)$ МПа. На остальных месторождениях $\sigma_{пт}$ были приняты на Валувевском и Гороблагодатском по аналогии с Гайским, на Высокогорском и Таштагольском по аналогии с Березовским и Узельгинским.

Все измерения напряжений, выполненные ИГД УрО РАН, имели привязку по времени. В соответствии принятым характеристикам измерения величины пульсирующих напряжений в течении 11-ти летнего цикла они достигали максимума в 1965-66 гг., 1975-76 гг., 1986-87 гг., и 1996-97 гг. Минимальны значения $\sigma_{пт}$ имели в 1970-72 гг., 1981-83 гг., 1991-93 гг. и 2001-03 гг.

Как видно из графиков на рис. 2 и 3 на фоне изменения горизонтальных напряжений тектоническая составляющая $\sigma_{1г}^n + \sigma_{пт}$ и $\sigma_{3г}^n + \sigma_{пт}$ возрастает с глубиной, достигает максимума и становится постоянной с глубины $300 \div 400$ м.

Анализ представленных экспериментальных результатов, полученных самоотверженным трудом трех поколений, позволяет высказать геомеханическую гипотезу о формировании гравитационно-тектонических напряжений в верхней части земной коры.

Уменьшение тектонической составляющей с приближением к поверхности можно объяснить разгрузкой их в результате подвижки по плоскостям нарушения, в результате превышения сдвигающих сил над удерживающими в соответствии с известной зависимостью из теории прочности.

$$\frac{\sigma_3^n - \sigma_z^n}{2} \sin 2\alpha > C + \operatorname{tg} \varphi (\sigma_3^n \sin^2 \alpha + \sigma_z^n \cos^2 \alpha)$$

Срезающие усилия Удерживающие усилия (4)

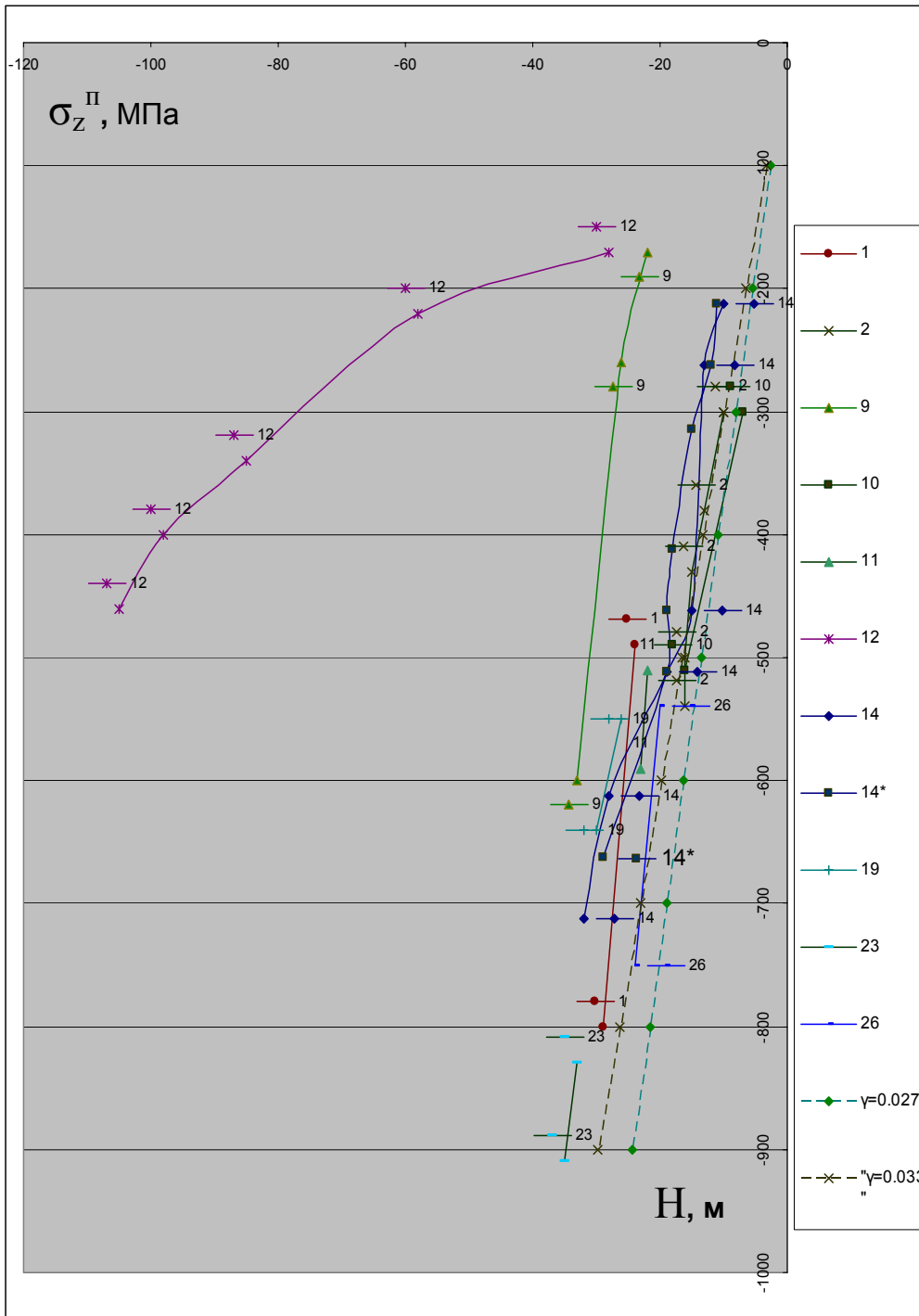


Рис. 1. Изменение вертикальных напряжений по глубине

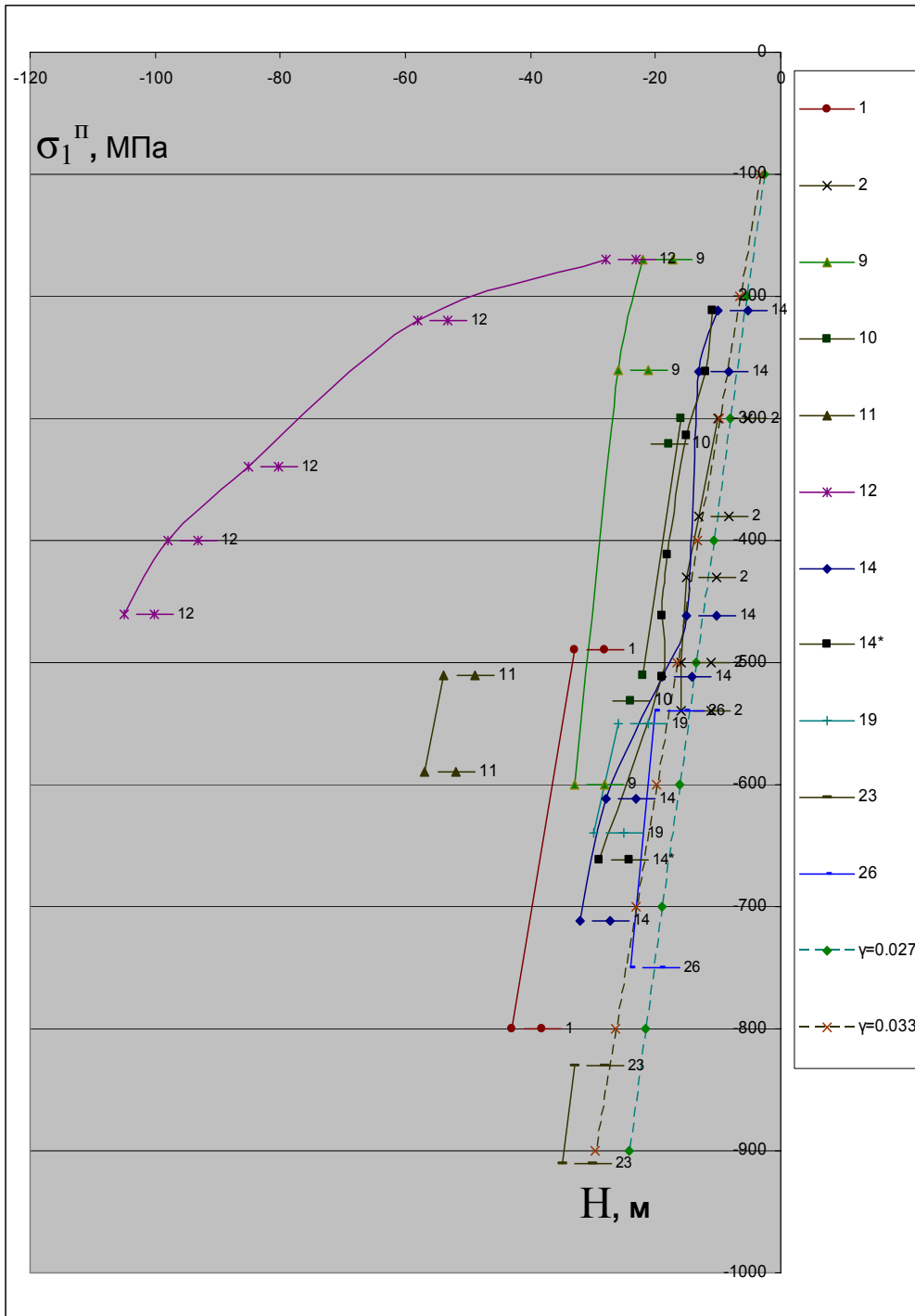


Рис. 2. Изменение минимальных горизонтальных напряжений по глубине

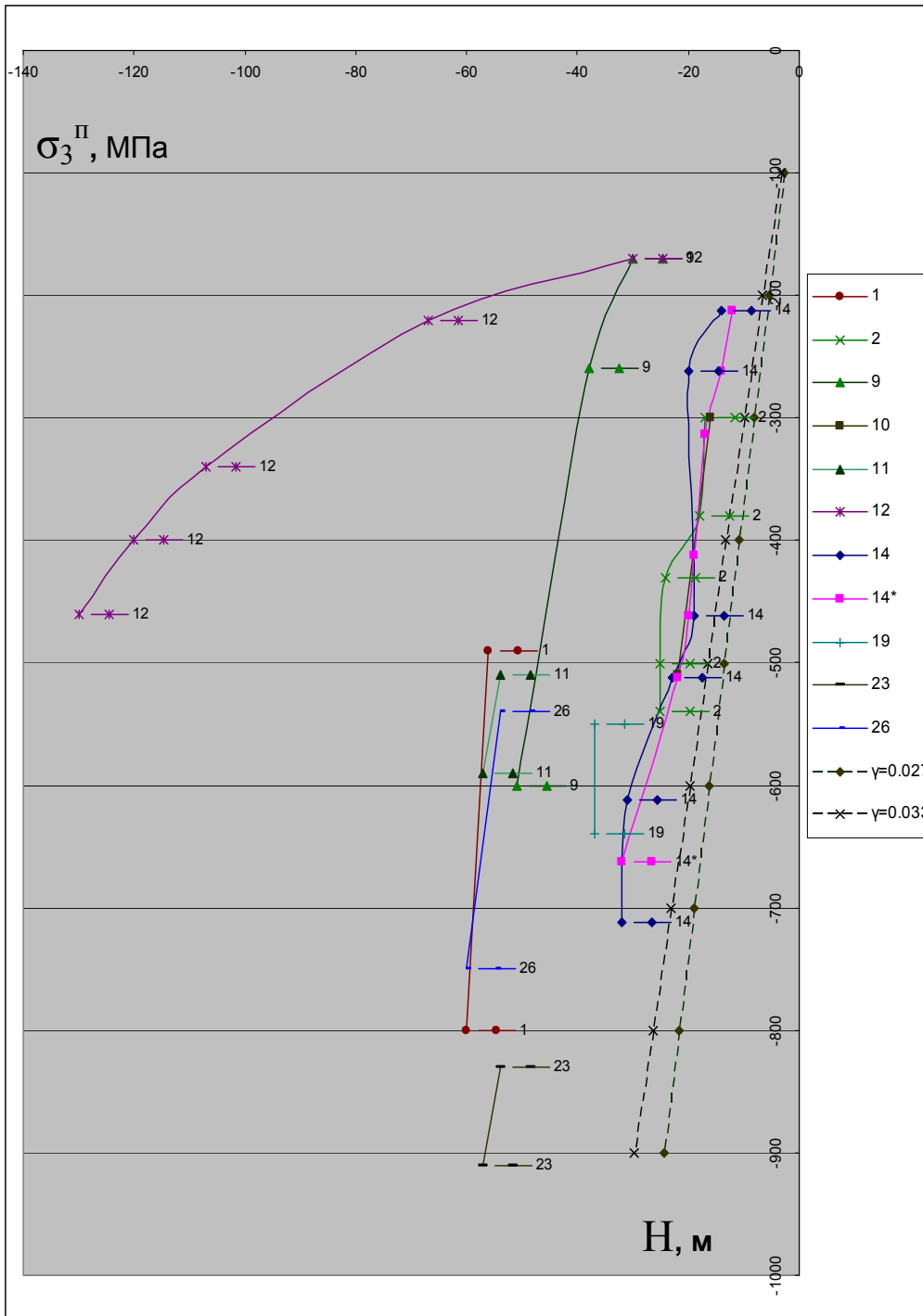


Рис. 3. Изменение максимальных горизонтальных напряжений по глубине

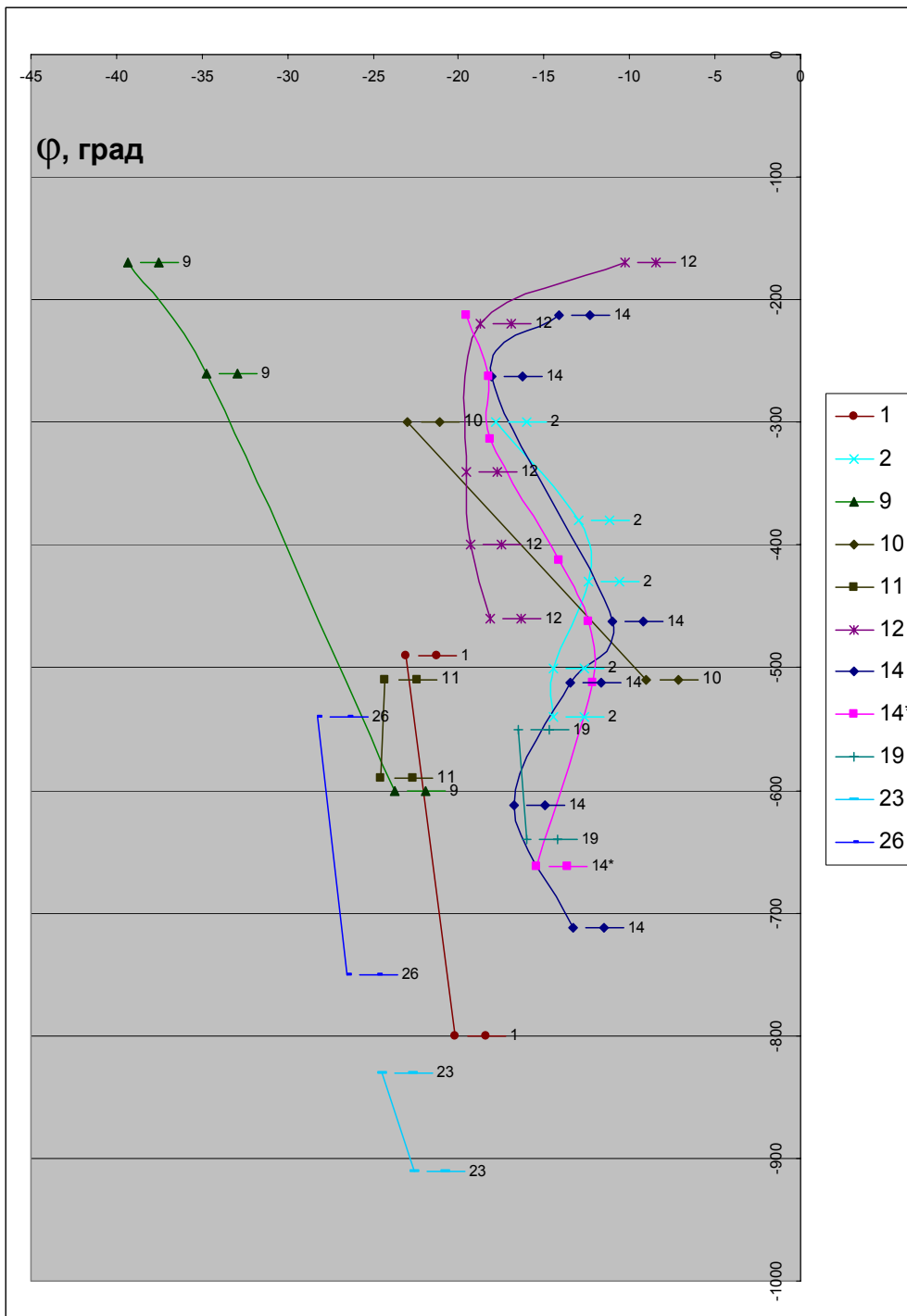


Рис. 4. Изменение угла длительного трения массива по глубине

где C – сцепление пород, МПа; φ – угол трения пород, град; α – угол между плоскостью нарушения и направлением действия σ_3^n .

В нашем представлении в монолитном массиве горных пород под действием напряжений начинают образовываться сколовые трещины в соответствии с линиями Людерса. Массив разделяется на блоки различных рангов, но никаких подвижек между блоками еще нет. Это происходит в соответствии с зависимостью

$$\frac{\sigma_3^n - \sigma_z^n}{2} \sin 2\alpha > C \quad (5)$$

После объединения мелких трещин в крупные–магистральные срез отдельных участков завершен, начинается подвижка в соответствии с зависимостью

$$\frac{\sigma_3^n - \sigma_z^n}{2} \sin 2\alpha > \operatorname{tg} \varphi (\sigma_3^n \sin^2 \alpha + \sigma_z^n \cos^2 \alpha) \quad (6)$$

Следует иметь в виду, что формирование напряженного состояния массива горных пород происходит в течении столетий или тысячелетий. Поэтому константы C и φ должны характеризовать длительную прочность пород за эти отрезки времени. При расчетах по формулам (5) и (6) было принято среднее значение угла $\alpha=40^\circ$.

Приравнивая правую часть уравнения (6) (срезающие усилия) левой (удерживающие усилия) можно найти φ на различных горизонтах Уральских месторождений (рис. 4). На различных месторождениях значение φ различно, но угол наклона графиков изменения φ с глубиной в пределах погрешности одинаков на глубинах более 200 м.

Обработка полученных результатов позволила записать величину φ для отдельных месторождений в виде

$$\varphi = \varphi_{250} + k(H-250) \quad (7)$$

где φ_{250} – значение угла φ на глубине 250 м, град; k – коэффициент характеризующий наклон угла φ по глубине (по результатам экспериментальных данных для месторождений Урала $k=0,0129 \pm 0,006$ с доверительной вероятностью 0,9).

Зависимость (7) позволяет отстроить угол $\varphi=f(H)$ по одному результату измерения напряжений на любой глубине где получены σ_1^n , σ_3^n , σ_z^n , а затем построить график изменения $\sigma_3^n = f(H)$ по зависимости (6), с использованием графика на рис. 1 для $\sigma_z^n = f(H)$. С учетом того, что $\sigma_{1T}^n + \sigma_{пгТ}$ изменяется от -2 до -18 МПа, а $\sigma_{3T}^n + \sigma_{пгТ}$ изменяется от -5 до -35 МПа за исключением Естюнинского месторождения, можно приближенно построить и график $\sigma^n = f(H)$.

Используя результаты измерений напряжений на рис. 1, 2 и 3 для Урала можно найти зависимость изменения средних горизонтальных напряжений с глубиной. С учетом максимальных пульсирующих тектонических напряжений она составляет

$$(\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 12,7 + 0,03n \quad (8)$$

$$\text{без учета их учета} \\ (\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 8,5 + 0,03n \quad (9)$$

Если принять этот параметр по аналогии с работой [2] (в которой не были учтены пульсирующие напряжения);

где в Скандинавии

$$(\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 9,3 + 0,05n$$

$$\text{Канаде } (\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 8,2 + 0,042n$$

$$\text{США } (\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 4,9 + 0,02n$$

Австралии

$$(\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 7,26 + 0,022n$$

Южная Африка

$$(\sigma_3^n + \sigma_1^n) * 0,5 = 7 + 0,01n,$$

то на Урале величина напряжений близка к результатам в Скандинавии и Канаде, располагающихся на древних геологических шитах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубков А.В.* Напряженное состояние земной коры Урала // Литосфера. -2002- N3. с. 3-18.
2. *Brown E.T., Hoek E.* Trends in relations between measured in situ stresses with depth // Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech., 1978, vol.15, #4 pp. 211 – 215. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Зубков А.В. – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, direct@igd.uran.ru
Валиуллов Л.Р. – Инженер ОАО "Институт УГИПРОРУДА", г. Екатеринбург, ул. Мамина – Сибиряка, 85.



КУХАРКА, УПРАВЛЯЮЩАЯ ГОСУДАРСТВОМ

Беда, коль пироги начнет печи сапожник,
А сапоги тачать пирожник.
И.А. Крылов

В воспаленном мозгу вождя мирового пролетариата возник иезуитский образ кухарки-президента. Почему-то безумная идея оказалась незамеченной вменяемыми людьми. А вот сами кухарки и их потомки цепко ухватились за пожалованные привилегии и потребовали власти. Конечно, реальной власти Ленин, достаточно образованный юрист, не собирался отдавать кухаркам, просто ему казалось, что таким способом проще получить от них мандат доверия. Замысел был осуществлен, но преемники Ленина по-своему прочитали аллегорическую формулу. И во власть толпами пришли бандиты, садисты, малограмотные пролетарии. Наступил голод, полилась кровь.

Одно из самых тяжелых преступлений большевиков заключается в том, что они открыли клетку и выпустили на свободу хитрого и безжалостного дикого зверя-пролетария (неимущего пьяницу, бездельника, хищника). Вместо того, чтобы стоять у плиты, у станка, возделывать землю, ухаживать за беспомощными, строить дома, миллионы одуроченных и озлобленных люмпенов — малограмотных рабочих и крестьян ринулись в дипломатию, науку, образование, медицину, управление. Диву даешься, когда пролетарских маршалов, загубивших понапрасну десятки миллионов жизней, возвеличивают и ставят им памятники на площадях.

Когда в Чили к власти пришел Пиночет, перед ним стояла очень непростая задача: загнать обезумевших пролетариев назад «в клетку», т.е. заставить их работать, выполнять по-настоящему операции. И он эту задачу выполнил, принес в жертву три тысячи жизней. Можно было бы обойтись без этого? Не знаю. Не стоит фантазировать на тему чилийской трагедии. Но наши правозащитники тут же нарекли его диктатором, узурпатором, душегубом. Лучше бы они сравнили эти тысячи с нашими десятками миллионов, кинутых на амбразуры войн, замученных в застенках НКВД, умерших от голода и болезней, которые возникли на почве социальной неустroенности.

Господа, имейте разум и совесть.

Из книги Л.Х. Гитиса «Верхом на тигре». М.: Горная книга, 2009. С.192