

УДК 622.831.1 : 622.831.32

А. Н. Соловицкий

## ГРАВИТАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОЗИЦИЙ БЛОЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

В геомеханике при исследовании напряжений в массиве горных пород выделяют гравитационную и тектоническую составляющие. Для оценки гравитационной составляющей напряжений используются формулы А.Н. Динника, в основу которых положена линейная модель, зависящая от глубины  $H$ . Анализу данной составляющей посвятили свои работы множество учёных, среди которых: С.Г. Авершин, Ш.М. Айталиев, И.Т. Айтматов, Б.В. Власенко, А.Н. Динник, П.В. Егоров, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян, В.А. Квочин, М.В. Курленя, А.В. Леонтьев, И.М. Петухов, Ю.А. Рыжков, К.В. Руппенейт, М.А. Садовский, И.А. Турчанинов, Е.И. Шемякин, С.И. Шерман, Б.В. Шрепп, Г.Л. Фисенко, П.М. Цымбаревич и др.

Современное представление массива горных пород с позиций блочной структуры земной коры меняет сложившиеся стереотипы. Поскольку размеры блоков земной коры дифференцированы, то оказывается, что при интерпретации блоков в виде точечных масс величины их гравитационной составляющей напряжений имеют иную модель распределения.

В табл. 1 приведены величины гравитационной составляющей напряжений для блоков земной коры Кузбасса, полученных по результатам геодинамического районирования Проблемной научно-исследовательской лаборатории КузГТУ совместно с ВНИМИ (рис.1) [1].

Анализируя величины гравитационной составляющей напряжений блочной структуры земной коры Кузбасса, полученные при постоянной плотности ( $2,3 \text{ г/см}^3$ ), можно отметить следующее:

- сложность простран-

ственного распределения;

- приуроченность наиболее значительных величин к южной части территории.

В табл. 2 приведены величины изменения потенциальной энергии  $E_p [t \cdot t_0]$  при формировании блочной структуры земной коры Кузбасса, а также их значения отнесенные к единице объёма  $E_p [t \cdot t_0] / V$ .

Величины изменения потенциальной энергии при формировании блочной структуры

Относительные изменения потенциальной энергии блочной структуры Кузбасса (табл.2) позволяют выполнить выделение зон аномального энергетического состояния, к которым можно отнести блоки 2,8 и 18 (рис.1). Данные блоки не приурочены к освоенным месторождениям, поэтому выполненный анализ показывает, что причиной проявления геодинамических явлений на горнодобывающих предприятиях Кузбасса являются процессы, которые обусловлены действием не

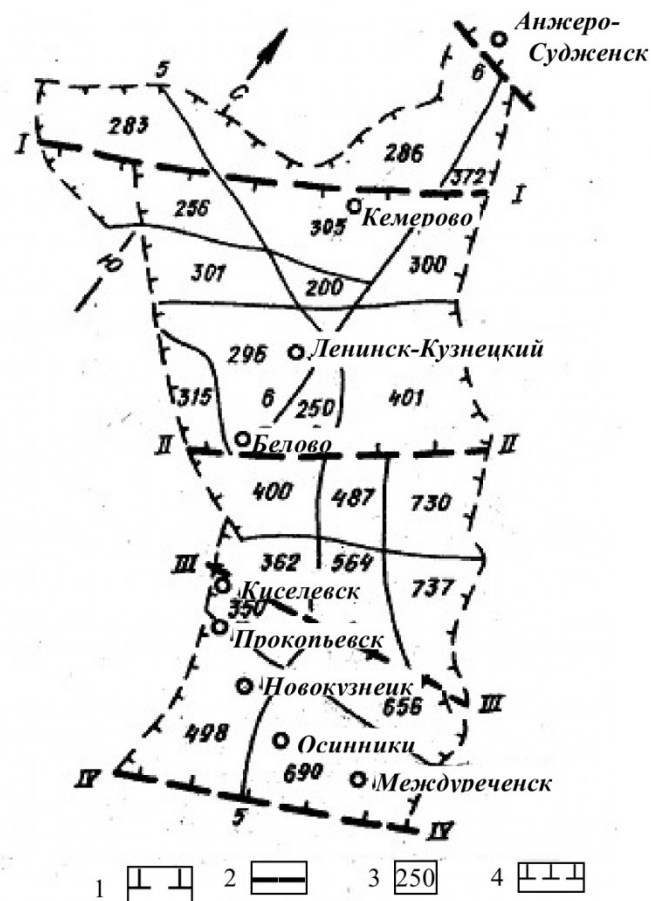


Рис.1. Схема геодинамического районирования Кузбасса [1] (1-трансрегиональные разломы; 2- региональные разломы; 3-отметки блоков; 4-граница Кузбасса)

земной коры Кузбасса определены при учёте влияния только вертикальных движений, амплитуды которых даны в табл.3.

гравитационных (массовых) сил. Следовательно, необходимо уделять большее внимание исследованиям другой состав-

Таблица 1  
Величины гравитационной составляющей напряжений блоков земной коры Кузбасса

№ бло-ков	Отметки блоков	$S$ , км <sup>2</sup>	$P$ , МПа	№ бло-ков	Отметки блоков	$S$ , км <sup>2</sup>	$P$ , МПа
1	283	506,2	65,42	12	250	1056,3	48,07
2	286	1441,1	28,39	13	400	351,2	81,41
3	372	2162,5	110,79	14	487	1300,0	96,45
4	256	516,5	81,41	15	730	-	-
5	305	1812,3	65,42	16	362	1244,8	96,45
6	300	1040,8	48,07	17	564	1984,4	81,41
7	301	1120,9	48,07	18	737	606,9	28,39
8	200	617,25	65,42	19	350	2226,5	81,41
9	296	728,3	48,07	20	656	2036,4	124,56
10	401	350,0	81,41	21	498	1363,3	163,34
11	315	457,1	48,07	22	690	1611,6	124,56

Таблица 2  
Величины изменения потенциальной энергии при формировании блочной структуры земной коры Кузбасса

№ бло-ков	$H$	$E_p [t-t_0]$ 10 <sup>15</sup> , Дж	$E_p [t-t_0]/V$	№ бло-ков	$H$	$E_p [t-t_0]$ 10 <sup>15</sup> , Дж	$E_p [t-t_0]/V$
1	283	1,334	454,3	12	250	3,571	792,7
2	286	3,702	1020,2	13	400	0	0
3	372	1,364	64,2	14	487	1,908	459,7
4	256	1,676	449,3	15	730	-	-
5	305	3,880	368,9	16	362	1,066	100,0
6	300	2,697	607,7	17	564	7,335	511,8
7	301	2,501	523,2	18	737	4,610	3015,9
8	200	2,671	745,5	19	350	2,760	171,6
9	296	1,707	549,6	20	656	11,750	522,1
10	401	0,008	3,1	21	498	3,011	152,4
11	315	0,865	443,9	22	690	8,606	483,3

ляющей напряжения, поэтому исследования геодинамики Кузбасса актуальны и имеют научный и практический интерес.

Другой аспект анализа гравитационной составляющей напряжения - это её представление с современных позиций теории гравитационного поля и его изменений во времени как одного из геофизических полей.

Вопросы этой теории в геомеханике мало освещены. Однако современный подход к проведению научных исследований по изучению состояния блочного массива пород требует уделять внимание данному вопросу [2].

С учётом пространственно-временных изменений гравитационного поля тензор главных гравитационных напряжений имеет вид:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1(t) & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2(t) & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi\gamma_1(t)_0H & 0 & 0 \\ 0 & \xi\gamma_2(t)_0H & 0 \\ 0 & 0 & \xi\gamma_3(t)_0H \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta\sigma_1(t-t_0) & 0 & 0 \\ 0 & \Delta\sigma_2(t-t_0) & 0 \\ 0 & 0 & \Delta\sigma_3(t-t_0) \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $\Delta\sigma_i[t-t_0]$  – пространственно-временные изменения тензора главных гравитационных напряжений;  $H$ –глубина;  $t$  - период времени;  $\xi$ - коэффициент бокового распора;  $\gamma[t]_0$ –объёмный вес пород.

Представление гравитационной составляющей напряжения в виде (1) имеет особый интерес для блочного массива горных пород.

Во–первых, блочный массив

горных пород имеет определенные геометрические размеры в трёх измерениях, являясь объёмной фигурой, а традиционно для гравитационной составляющей дается значение в точке на определенной глубине.

Во-вторых, пространственно-временное изменение гравитационной составляющей напряжения обусловлено изменением объёмного веса, основными причинами которого являются пространственно-временные изменения плотности  $\Delta\rho[t-t_0]$  и силы тяжести  $\Delta g[t-t_0]$ .

В-третьих, главные напряжения гравитационной составляющей являются первыми производными потенциала напряжений, сила тяжести является также первой производной потенциала силы тяжести, по-

этому для их описания, а также их пространственно-временных изменений предлагается использовать общий математический аппарат: теорию потенциала.

Применению теории потенциала для описания характеристик гравитационного поля посвятили свои работы следующие учёные: Р. Виго, В.В. Бровар, В.В. Бузук, М. Бурша, И.Г. Вовк, Н.П. Грушинский, В.Ф. Еремеев, М.М. Машимов, М.С. Молоденский, М.И. Юркина и др.

Наиболее известными работами, посвященными применению теории потенциала для описания напряженного состояния массива горных пород, являются монографии В.Д. Купрадзе, Д. Теркота, Дж. Шуберта, Х. Рамберга.

Таким образом, в настоящее время представление гравитационной составляющей напряжений невозможно без анализа пространственно-временных изменений характеристик гравитационного поля. Сбор информации о состоянии гравитационного поля осуществляется на основе повторных высокоточных наблюдений с гравиметрами и вариометрами. Кроме этого, эта задача может быть решена на базе методов математического моделирования [3].

В табл. 4 приведены техногенные изменения силы тяжести, обусловленные отработкой лавы объёмом 300000 м<sup>3</sup> на глубине 100 м, плотность угля 1,4 г/см<sup>3</sup>, а также изменения гравитационной составляющей напряжения ( $\rho/t=2540$  кг/м<sup>3</sup>).

Техногенные изменения силы тяжести (табл. 4) получены над (под) центром выработки, где они имеют максимальные значения по разработанным автором алгоритмам и программам [3].

В табл. 5 приведены техногенные изменения силы тяжести, обусловленные отработкой двух лав равного объёма на глубине 100 и 150 м, а также соответствующие изменения гравитационной составляющей

Таблица 3  
Амплитуды новейших движений блоков на территории Кузбасса

№ блоков	Амплитуды, м	№ блоков	Амплитуды, м
1	-117	12	-150
2	-114	13	-0
3	-28	14	+87
4	-144	15	+330
5	-95	16	-38
6	-100	17	+164
7	-99	18	+337
8	-200	19	-50
9	-104	20	+256
10	1	21	+98
11	-84	22	+290

тационной составляющей напряжения.

Результаты, приведенные в табл. 4 и 5, свидетельствуют о незначительном влиянии техногенных изменений гравитационного поля при отработке отдельных выработок на изменение гравитационной состав-

ляющей напряжений. Сопоставим влиянию техногенных изменений гравитационного поля при подземной геотехнологии освоения недр с влиянием открытой геотехнологии освоения недр.

В табл. 6 приведены техногенные изменения силы тяже-

Таблица 4  
Изменения гравитационной составляющей напряжения, обусловленные техногенными изменениями гравитационного поля при перемещении масс при отработке лавы на глубине 100 м

Глубина, м	Техногенные изменения силы тяжести, $1 \cdot 10^{-5} \text{ мс}^{-2}$	Изменения гравитационной составляющей напряжения, Па
50	0,128	0,16
60	0,144	0,22
80	0,183	0,37
100	0,300	0,76
120	0,191	0,58
150	0,134	0,51

Таблица 5  
Изменения гравитационной составляющей напряжения, обусловленные техногенными изменениями гравитационного поля при перемещении масс при отработке двух лав на глубине 100 и 150 м

Глубина, м	Техногенные изменения силы тяжести, $1 \cdot 10^{-5} \text{ мс}^{-2}$	Изменения гравитационной составляющей напряжения, Па
50	0,21	0,27
80	0,28	0,57
100	0,42	1,07
120	0,35	1,07
150	0,36	1,37

Таблица 6

Изменения гравитационной составляющей напряжения, обусловленные техногенными изменениями гравитационного поля при перемещении масс при отработке основного поля разреза “Кедровский”

Глубина, м	Техногенные изменения силы тяжести, $1 \cdot 10^{-5} \text{ мс}^{-2}$	Изменения гравитационной составляющей напряжения, Па
60	60,57	92,31
90	60,73	133,81
100	60,83	169,96
130	60,94	201,22
160	61,09	248,27
185	61,22	287,67
200	61,30	311,40

сти, обусловленные отработкой основного поля разреза “Кедровский”, плотность угля  $1,4 \text{ г/см}^3$ , а также соответствующие

изменения гравитационной составляющей напряжения

Влияние техногенные изменения силы тяжести, обусловленные отработкой основного поля разреза “Кедровский”, на изменение гравитационной составляющей напряжений на два порядка превышает влияние подземной геотехнологии освоения недр.

Разработанная методология и программное обеспечение для ПЭВМ позволяет учесть влияния техногенных изменений гравитационного поля всего месторождения и даже всего бассейна при анализе полей напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамическое районирование недр. - Л.: ВНИМИ, 1990.-129 с.
2. Яковлев Д.В. Развитие школы ВНИМИ// Маркшейдерский вестник. - 2003.- №3. – С. 24-31.
3. Соловицкий А.Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / Под ред. П.В. Егорова. –Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003. - 260 с.

УДК 622.831.1 : 528.4

А. Н. Соловицкий

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ БЛОЧНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

Современный подход к проведению научных исследований по изучению состояния блочного массива пород требует изменения существующих стереотипов и переоценке роли наук о Земле в развитии геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр [1].

Одним из таких вопросов

является теория гравитационного поля и его изменений во времени.

В настоящее время технология высокоточной гравиметрии широко используется при решении значительного круга прикладных задач на основе выявления малоинтенсивных локальных аномалий силы тяже-

сти, связанных с освоением недр и геодинамикой. Эти возможности обеспечены развитием гравиметрического приборостроения.

Однако, новые возможности технологии высокоточной гравиметрии требуют теоретического переосмысления её роли в геомеханическом обеспечении

Таблица 1

Пренебрежимо малые изменения во времени потенциала и его первых производных, обусловленные малыми скоростями деформаций блоковой структуры Кузбасса

Изменения характеристик гравитационного поля времени	Пренебрежимо малые величины их изменений во времени
$\Delta W$	$6,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-2}$
$\Delta W_x$	$1,12 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$
$\Delta W_y$	$1,35 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$
$\Delta W_z$	$1,77 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$

Таблица 2

Пренебрежимо малые изменения во времени потенциала и его первых производных, обусловленные перераспределением плотности при малых скоростях деформаций блоковой структуры Кузбасса

Изменения характеристик гравитационного поля во времени	Пренебрежимо малые величины их изменений во времени
$\Delta W$	$92,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-2}$
$\Delta W_x$	$0,4 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$
$\Delta W_y$	$0,3 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$
$\Delta W_z$	$0,9 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$