

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.831

А. Н. Соловицкий

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННЫХ ЗОН БЛОЧНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Оценивая закономерности образования напряженных зон блочного массива горных пород [1,2], выполним анализ пространственно-временных вариаций отметок рельефа. Если в эпоху t_0 высота блока i равна $H_i[t_0]$, а в эпоху t её значение изменится и станет равным $H_i[t]$, тогда $\Delta H_i[t-t_0]$, характеризующая амплитуду движения блока за период $t-t_0$, можно определить, как

$$\Delta H_i[t-t_0] = H_i[t] - H_i[t_0], \quad (1)$$

скорость вертикального движения блока $v_i[t-t_0]$

$$v_i(t-t_0) = \Delta H_i(t-t_0) / (t-t_0). \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что разность амплитуд движений $\delta \Delta H_{i,i+1}[t-t_0]$ двух соседних блоков i и $i+1$ и разность скоростей $\delta v_{i,i+1}[t-t_0]$ с равны

$$\delta \Delta H_{i,i+1}[t-t_0] = \Delta H_{i+1}[t-t_0] - \Delta H_i[t-t_0], \quad (3)$$

$$\delta v_{i,i+1}[t-t_0] = v_{i+1}[t-t_0] - v_i[t-t_0]. \quad (4)$$

Отношение амплитуды (1) к расстоянию D_i характеризует угол наклона $\alpha_i(t-t_0)$

$$\alpha_i(t-t_0) = \Delta H_i(t-t_0) / D_i, \quad (5)$$

а отношение разности амплитуд (2) к расстоянию $D_{i,i+1}$ характеризует угол наклона между блоками

$$\alpha_{i,i+1}(t-t_0) = \delta \Delta H_i(t-t_0) / D_{i,i+1}. \quad (6)$$

Если оценить деформацию участка земной коры при действии только вертикальных движений на примере прямоугольного треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$, то можно записать [2]

$$R_i[t] = R_i[t_0] + H_i[t], \quad (7)$$

где $R_i[t]$ – радиусы-векторы вершин треугольника $A[t]B[t]C[t]$, построенного после вертикальных движений соответствующих вершин треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$; $R_i[t_0]$ – радиусы-векторы вершин треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$.

Разности радиусов-векторов соответственно равны

$$\Delta R_{AB}[t-t_0] = R_B[t] - R_A[t], \quad (8)$$

$$\Delta R_{BC}[t-t_0] = R_C[t] - R_B[t]$$

Компоненты деформации дилатации $\Theta[t-t_0]$ и главный сдвиг $\gamma[t-t_0]$ могут быть определены с использованием известных выражений скалярного и векторного произведения векторов. Для нахождения главного сдвига используем формулу [2]

$$\gamma[t-t_0] = \operatorname{tg}[0,5\pi-\alpha[t-t_0]], \quad (9)$$

где

$$\alpha[t-t_0] = \arccos \left\{ \frac{\Delta R_{AB}[t-t_0] \cdot \Delta R_{BC}[t-t_0]}{[\Delta R_{AB}[t-t_0]] \cdot [\Delta R_{BC}[t-t_0]]} \right\}. \quad (10)$$

Величина дилатации $\Theta[t-t_0]$ равна

$$\Theta[t-t_0] = (S[t]-S[t_0]) / S[t_0], \quad (11)$$

где $S[t]$ -площадь треугольника $A[t]B[t]C[t]$ на эпо-

ху t ; $S[t_0]$ -площадь треугольника $A[t_0]B[t_0]C[t_0]$ на эпоху t_0 .

Площадь треугольника $A[t]B[t]C[t]$ на эпоху t равна

$$S[t] = 0,5[\Delta R_{AB}[t-t_0]] * [\Delta R_{BC}[t-t_0]] \sin \alpha. \quad (12)$$

Компоненты деформации $\gamma[t-t_0]$ и $\Theta[t-t_0]$ могут быть определены по (9-12), исходная информация для их определения может быть получена по топографическим материалам.

Следует отметить, что в нетронутом блочном массиве горных пород не отмечается проявление геодинамических явлений, обусловленных естественными геодинамическими процессами, при скоростях деформации земной коры, оцениваемых $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ в год [2]. В напряженных зонах скорости деформаций должны быть больше данных значений.

Скорости деформаций $Ve_n[t-t_0]$ блока земной коры равны

$$Ve_n[t-t_0] = e_{ii}[t-t_0] / [t-t_0], \quad (13)$$

где $e_{ii}[t-t_0]$ - компоненты тензора деформации блока земной коры; $t-t_0$ – период времени.

Критерием формирования напряженной зоны будет выполнения условия

$$Ve_n[t-t_0] \geq 3 Ve_n[t-t_0], \quad (14)$$

где $Ve_n[t-t_0]$ - скорости деформаций земной коры, не ведущие к геодинамическим явлениям.

Данный способ оценки использует общедоступные топографические материалы и может быть применен заранее для любой территории будущего освоения месторождения, тем самым экспресс-методом будет проведено предварительное выделение напряженных зон, выраженных в рельефе земной поверхности. Предложенная методика предварительного выделения напряженных зон блочного массива горных пород - составная часть интегрального метода контроля напряженного состояния блочного массива горных пород.

Этот метод –оптимально спроектированная на принципах интеграции, преемственности и поэтапности система, которая характеризуется:

-выделением и идентификацией блоков земной коры;

- их структурной аппроксимацией;

- регистрацией их формирования и взаимодействия;

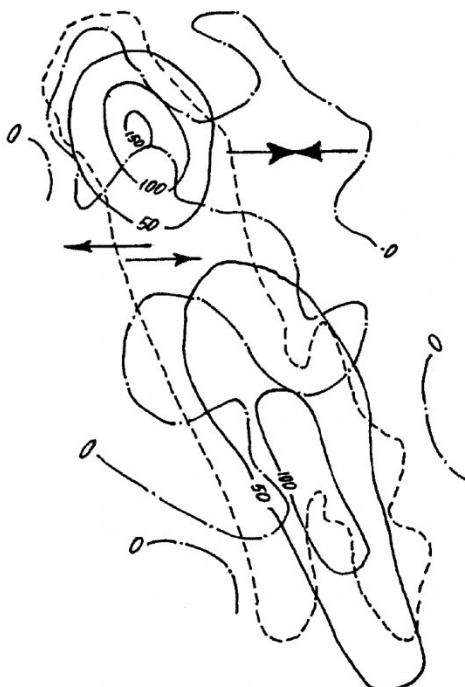


Рис.1. Геодинамическая обстановка и скорости деформаций земной поверхности ($1 \cdot 10^{-6}$ в год) в районе Кузбасского ГДП (— граница шахтных полей; 0 - линия нулевых значений дилатации $\Theta[t-t_0]$ [4]; ←→ зона растяжения; →← - зона сжатия; 50 - скорости деформаций земной поверхности)

- учетом результатов прикладного геодинамического анализа.

Вопрос о выделении напряженных зон блочного массива горных пород актуален в открытой печати [1-3]. Решение этого вопроса - одна из главных задач геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр при освоении угольных месторождений. Предварительное выделение напряженных зон блочного массива горных пород необходимо продолжить результатами инструментальных исследований, которые решают фундаментальную задачу проверки преемственности новейших движений блоков в современный период.



Рис.2. Выделение напряженных зон по результатам повторных гравиметрических наблюдений на Богдановском ГДП

од.

На рис.1 приведены величины скоростей компонент деформации блочного массива горных пород в районе Кузбасского ГДП, для определения которых автором использованы результаты повторных инструментальных наблюдений, выполненные предприятием ГУГК [2,4].

Результаты, приведенные на рис.1, показывают, что освоение месторождений на данной территории ведет к формированию двух зон напряжений. Границы распространения напряженных зон определяются по величинам скоростей деформаций земной поверхности различной интенсивности. Установлено, что скорости деформаций земной поверхности достигают $165 \cdot 10^{-6}$ в год.

Другим фактором, учитывающим результаты анализа полей напряжений в напряженных зонах, является тип геодинамической обстановки.

Основными типами геодинамической обстановки являются зоны сжатия, растяжения, сдвига.

Фактор влияния зоны сжатия на степень потенциальной удароопасности месторождения является наибольшим, а зоны растяжения наименьшим [1].

Выделение зон сжатия или растяжения выполняется по знаку величины дилатации $\Theta[t-t_0]$. Величина дилатации больше нуля характеризует зону растяжения, а меньше нуля – зону сжатия. Данная методика применена для определения геодинамической обстановки в районе Кузбасского ГДП (рис.1). Геодинамическая обстановка в районе Кузбасского ГДП характеризуется чередованием зон растяжений и сжатия, что свидетельствует о характере поведения блоковых структур при действии техногенных процессов в виде пространственной деформационной волны. Техногенная геодинамика в районе Кузбасского ГДП на площади 800 км² представлена добычей угля на 23 шахтах в окрестности городов Киселёвска и Прокопьевска. Другой стороной наличия зон сжатия и растяжения является возможность проявления сейсмического события.

Положительные величины изменений во времени поля силы тяжести $\Delta g[t-t_0]$ характеризуют зону сжатия, а отрицательные – зону растяжения.

Выделение напряженных зон блочного массива горных пород по результатам повторных гравиметрических наблюдений является составной частью интегрального метода контроля напряженного состояния блочного массива горных пород. Положительные величины изменений во времени поля силы тяжести $\Delta g[t-t_0]$ характеризуют зону сжатия, а отрицательные – зону растяжения (рис.2). Выделение напряженных зон на рис. 2 выполнено автором по результатам повторных наблюдений на Богдановском ГДП [5].

Однако, в районах интенсивной техногенной деятельности выделение напряженных зон блочного массива горных пород по результатам повторных гравиметрических наблюдений имеет

свои особенности. Эти особенности исследованы в итоге повторных гравиметрических наблюдений на ГДП в районе Саяно-Шушенской ГЭС.

Повторные гравиметрические наблюдения, выполненные на этом ГДП в 1982-1983 гг.[6], зарегистрировали совместное влияние природной и техногенной геодинамики.

Повторные гравиметрические наблюдения на ГДП Саяно-Шушенской ГЭС выполнены отечественными гравиметрами. Количество приборов-связей в 1982 г. равно 12, а в 1983 г. – 9. На рис.3 приведены изменения во времени ускорения свободного падения (силы тяжести) на трёх пунктах ГДП: 18, 46 и 52.

Техногенная геодинамика характеризуется регулированием уровня водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС на 76 м. Перед выделением напряженных зон блочного массива горных пород были вычислены с помощью ЭВМ по цифровой модели переменных масс водохранилища техногенные изменения ускорения свободного падения (силы тяжести). Вычисление выполнено на основе алгоритмов и программ [2], при учёте которых получены соответствующие им величины, свободные от влияния техногенной геодинамики (рис.4). Сравнивая результаты, приведенные на рис.3 и. 4, видно, что доминирующий характер имеют техногенные изменения ускорения свободного падения (силы тяжести). Поэтому в районах интенсивной техногенной деятельности выделение напряженных зон блочного массива горных пород непосредственно по результатам повторных наблюдений приведет к ошибочным результатам.

Поэтому их выделение необходимо проводить величинам изменений во времени ускорения свободного падения (силы тяжести), свободным от влияния техногенной геодинамики.

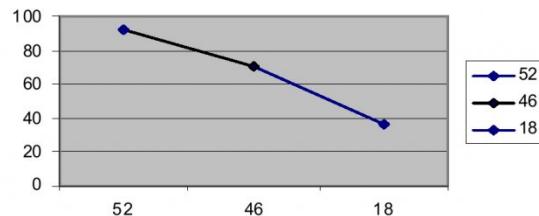


Рис.3. Изменения во времени ускорения свободного падения (силы тяжести) на пунктах 18, 46 и 52 ($1 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$)

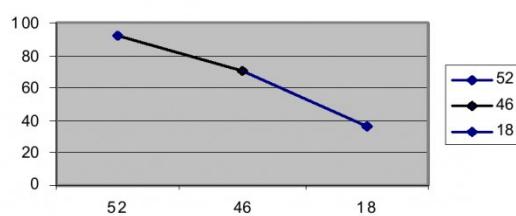


Рис.4. Изменения во времени ускорения свободного падения, свободные от влияния техногенной геодинамики ($1 \cdot 10^{-8} \text{ м с}^{-2}$)

Обобщая результаты исследований, можно сделать выводы о том, что особенностями выделения напряженных зон являются следующие:

- системный подход, реализованный в интегральной методе контроля напряженного состояния блочного массива горных пород;
- итерационный подход, заключающийся в уточнении предварительного выделения последующими инструментальными наблюдениями на ГДП;
- единые характеристики;
- разделение влияния природной и техногенной геодинамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамическое районирование недр. - Л.: ВНИМИ, 1990.-129 с.
2. Соловицкий А.Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород/ Под ред. П.В. Егорова. –Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003.- 260 с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99)/ Колл. авторов.-М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000.-66 с.
4. Карташов М.П., Есиков Н.П. Изучение деформаций земной поверхности на Кузбасском геодинамическом полигоне //Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах.- М.: Наука,1983.-С.102-106.
5. Балавадзе Б.К. Повторные гравиметрические изменения силы тяжести на Богдановском геодинамическом полигоне/Балавадзе В.К., Абашидзе В.Г., Ниури Г.А., Цагурия Т.А.. //Повторные гравиметрические наблюдения: Сб. науч. трудов.- М.: Изд-во ВНИИгеофизики, 1981.-С.103-106.
6. Соловицкий А.Н., Васильев А.Б., Канущин В.Ф. Результаты повторных гравиметрических наблюдений в районе водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС //Повторные гравиметрические наблюдения: Сб. науч. трудов. - М.: Изд-во Нефтегеофизики, 1984.-С. 80-83.

Автор статьи:

Соловицкий

Александр Николаевич

- канд.техн.наук, доц. каф. маркшейдерского дела и геодезии