

УДК 622.272

**Т.В. Тищенко**

**ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Семинар № 1

---

**В** зависимости от назначения и состава решаемых горнотехнических задач, количества и качества геологической, инженерно-геологической и гидрогеологической информации, полученной при разведке и эксплуатации месторождений и характеризующей геологическую среду, различают региональный и локальный уровни прогнозирования. Такой подход при прогнозировании позволяет учесть весь спектр возможных изменений геологической среды.

Локальный уровень прогнозной оценки инженерно-геологических условий применяется непосредственно при строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий. Прогнозирование заключается в количественной оценке как отдельных показателей свойств, так и комплекса геологических факторов, влияющих на их формирование.

В качестве методов прогнозирования на этом уровне рекомендуется метод инженерно-геологического анализа и аналитические методы.

*Метод инженерно-геологического анализа.*

Промышленное освоение глубоких горизонтов угольных месторождений выдвинуло в качестве важнейшей проблемы необходимость разработки высокоэффективного метода прогнозной оценки инженерно-геологических условий угольных месторождений и прогноза поведения пород в горных

выработках при локальном уровне. Достижения в области горного дела, угольной геологии, геофизики, механики горных пород, инженерной геологии и внедрение в практику исследований моделирования и математических методов прогноза создали предпосылки для разработки количественного метода прогнозной оценки инженерно-геологических условий эксплуатации. Для этого используется метод инженерно-геологического анализа, который базируется на применении факторного и корреляционного анализа.

Назначение факторного анализа – нахождение оптимальной системы признаков, характеризующих инженерно-геологические явления, процессы и устойчивость пород. Факторами называют гипотетические параметры, которые полностью определяют значения некоторых групп наблюдаемых (изучаемых) признаков. Факторы представляют собой новые расчетные признаки, каждый из которых является новой характеристикой изучаемого объекта. При использовании методов факторного анализа исследуется структура матриц ковариаций или корреляций, что приводит к сжатию информации.

Алгоритм решения задачи нахождения оптимальной системы признаков (сокращения пространства признаков) с помощью факторного анализа предусматривает нормирование

(стандартизацию) данных, вычисление элементов корреляционной матрицы, а также средних и дисперсий по признакам. Далее производится факторное преобразование, и вычисляются: процент вкладов факторов в суммарную общность; коэффициенты при ортогональных факторах; корреляции признаков с косоугольными факторами; коэффициенты при косоугольных факторах; матрицы корреляций между косоугольными факторами; матрица коэффициентов при параметрах; значения факторов. После нахождения косоугольных факторов и их матрицы повторяется факторное преобразование, причем косоугольные факторы принимаются за начальные данные. Так продолжается до тех пор, пока не останется лишь один фактор  $k$ -го порядка.

В соответствии с изложенным подходом для инженерно-геологических условий глубоких горизонтов угольных месторождений Восточного Донбасса на основании метода главных компонент определены нагрузки на собственные вектора (главные компоненты). Первые два собственных вектора обуславливают 92,5 % дисперсии изучаемого множества данных ( $\sigma_{сж.}$  – прочность пород на сжатие;  $q$  – показатель структурного ослабления;  $L$  – показатель текстурного ослабления;  $\gamma$  – плотность;  $H$  – глубина;  $A$  – показатель анизотропии;  $T$  – трещиноватость;  $L$  – литологический состав).

Первый вектор, представляющий 55,3% общей дисперсии, дает наибольшие вклады в переменные –  $\sigma_{сж.}$ ,  $\gamma$  и  $H$ , а второй – представляющий 47,2% дисперсии – в переменные  $q$ ,  $L$ ,  $A$ . Таким образом, первая главная компонента характеризует напряженное состояние пород, а вторая – его геологическое строение. Необходимо также отметить, что на третий собст-

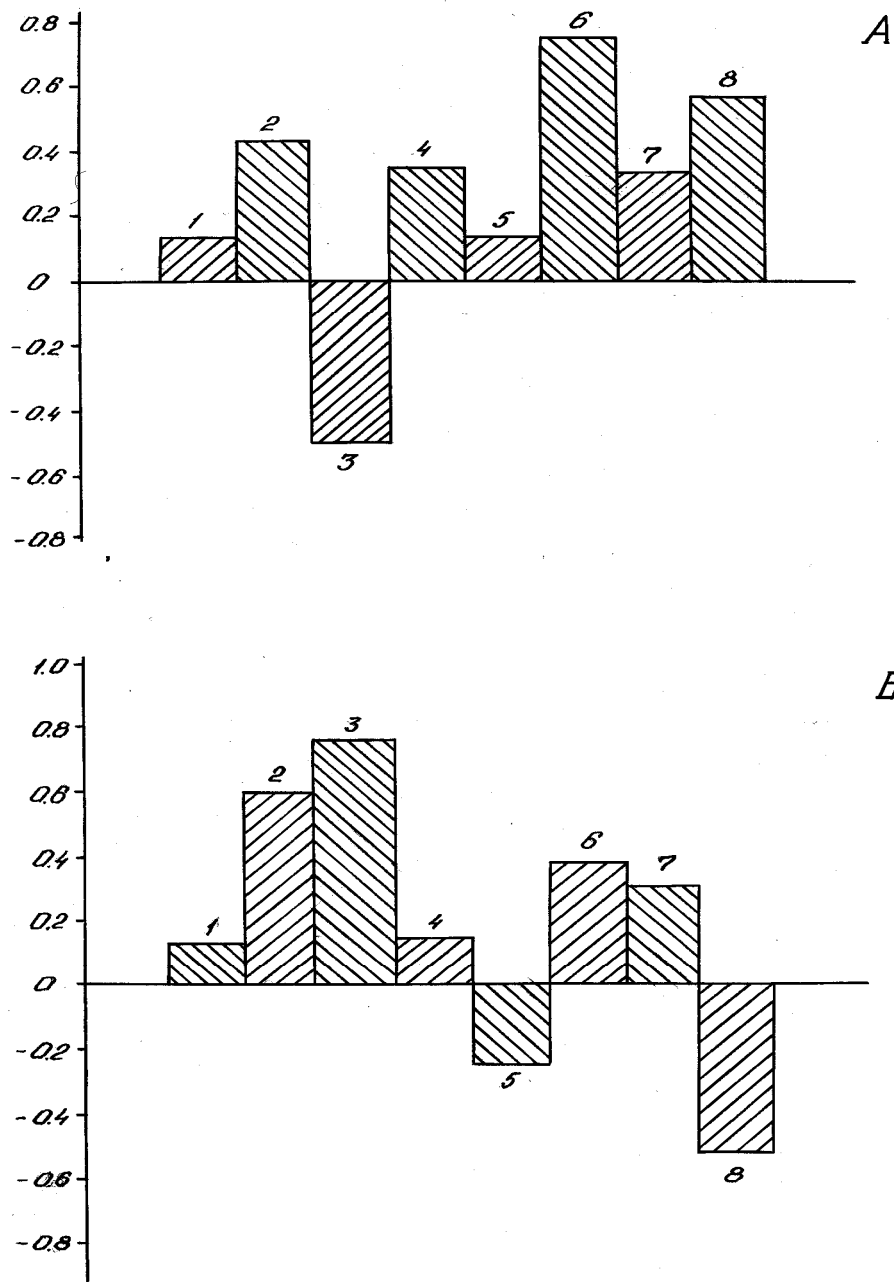
венный вектор приходится 7,5% общей дисперсии, причем, наибольший вклад приходится на трещиноватость. На рис. 1 дано графическое представление нагрузки на главные компоненты, определяющие инженерно-геологическое состояние массива горных пород.

При анализе различных процессов наряду с решением вопроса об уменьшении числа существенно влияющих факторов, также устанавливается связь между основными геологическими факторами и геоиндикатором устойчивости пород. Под геоиндикатором устойчивости понимается интегрированный показатель, характеризующий способность пород сопротивляться без искусственного закрепления проявлениям различных процессов и явлений в горных выработках и отражающий взаимосвязь изменчивости системообразующих инженерно-геологических факторов, обуславливающих напряженное состояние массива горных пород. При этом модель устойчивости пород в общем виде представлена зависимостью:

$$K_{(i)} = f(\sigma_{сж.}, g, L, \gamma, A, H);$$

где  $K$  – геоиндикатор устойчивости,  $i$  – вариант по кровле или почве угольного пласта,  $\sigma_{сж.}$  – прочность пород на сжатие, кг/см<sup>2</sup>,  $q$  – показатель структурного ослабления,  $L$  – показатель текстурного ослабления,  $\gamma$  – плотность, г/см<sup>3</sup>,  $H$  – глубина, м,  $A$  – показатель анизотропии инженерно-геологических свойств.

Использование метода инженерно-геологического анализа рассмотрено для условий Каменско-Гундоровского геолого-промышленного района. В геологическом отношении изучаемый район приурочен к северной полосе мелкой складчатости. После обработки информации было установлено,



**Рис. 1. Нагрузка на главные компоненты:** А – I-я главная компонента; Б – II-ая главная компонента; 1 - 8 – показатели компонент: литологический состав ( $L$ ); 2 - показатель текстурного ослабления ( $L$ ); 3 - глубина ( $H$ ); 4 - трещиноватость ( $T$ ); 5 - показатель анизотропии ( $A$ ); 6 - прочность пород на сжатие ( $\sigma_{сж}$ ); 7 - показатель структурного ослабления ( $q$ ); 8 - плотность ( $\gamma$ )

Таблица 1  
**Характеристика структурных и текстурных показателей пород**

Трещиноватость		Слоистость	
Характеристика трещиноватости	Коэффициент структурного ослабления, $q$	Характеристика слоистости	Коэффициент текстурного ослабления, $L$
нетрещиноватые	1,0	без слоистости	1,0
слаботрещиноватые 1 – 2 тр/м	0,8	слабослоистые 2 – 3 сл/м	0,9
трещиноватые 3 – 5 тр/м	0,7	слоистые 3 – 5 сл/м	0,85
сильнотрещиноватые более 5 тр/м	0,6	сильнослоистые более 5 сл/м	0,75

Таблица 2  
**Характеристика геоиндикатора устойчивости пород**

Геоиндикатор устойчивости, $K$	Тип пород по устойчивости
0,0 – 0,5	Весьма неустойчивые
0,5 – 1,0	Неустойчивые
1,0 – 1,5	Относительно устойчивые
1,5 – 2,0	Устойчивые
2,0 – 2,5 и более	Весьма устойчивые

что устойчивость пород зависит, прежде всего, от литологического состава, слоистости, трещиноватости, прочности на сжатие и глубины залегания. По полученным взаимоотношениям устанавливалась зависимость геоиндикатора устойчивости пород кровли или почвы угольных пластов Донбасса.

Коэффициенты структурного и текстурного ослабления получены экспериментальным путем (табл. 1).

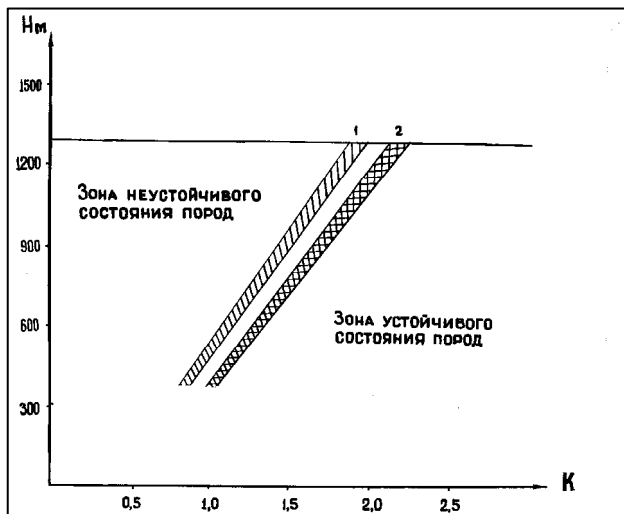
По результатам шахтных наблюдений и обработки полученной информации построен график граничных условий устойчивости боковых пород Восточного Донбасса, выражаемой геоиндикатором устойчивости пород в горных выработках (рис. 2). На этом графике выделяются зоны неустойчивого состояния пород в обнажениях горных выработок, пройденных вкрест простирания или по падению

пород, а также в штрекообразных выработках.

Характеристика устойчивости пород в зависимости от полученного коэффициента приведена в таблице 2.

В результате использования на практике геоиндикатора устойчивости в условиях Восточного Донбасса появилась возможность на различных стадиях геологоразведочных работ и в процессе эксплуатации оценивать граничные условия поведения пород в горных выработках глубоких горизонтов угольных месторождений на основе прогнозных инженерно-геологических карт пород кровли или почвы угольных пластов.

К этим картам, как к моделям горного массива, предназначенным для прогнозной оценки инженерно-геологических условий освоения глубоких горизонтов, предъявляются принципиально новые требования. Модель,



**Рис. 2. Графики граничных условий устойчивости боковых пород в горных выработках:** 1 – состояние выработок, пройденных вкрест простираения или по падению пород; 2 – состояние штрекообразных выработок;  $K$  – геоиндикатор устойчивости пород;  $H$  – глубина выработок в метрах

во-первых, представлялась как модель глубоко залегающего массива с наиболее характерными свойствами и выражалась как в графической, так и в математической форме; во-вторых, содержала показатели инженерно-геологических свойств пород; в-третьих, учитывала изменения инженерно-геологических свойств пород по площади и глубине залегания и их статическую природу. Указанные изменения содержали как закономерные колебания, связанные с неоднородностью изучаемых объектов, так и случайные ошибки, обусловленные недостаточной точностью методов определения отдельных характеристик.

Поскольку массив формируется под влиянием различных природных факторов, его модель содержала несколько количественных характеристик: трещиноватость, слоистость, прочность, упругие свойства и т.д. В

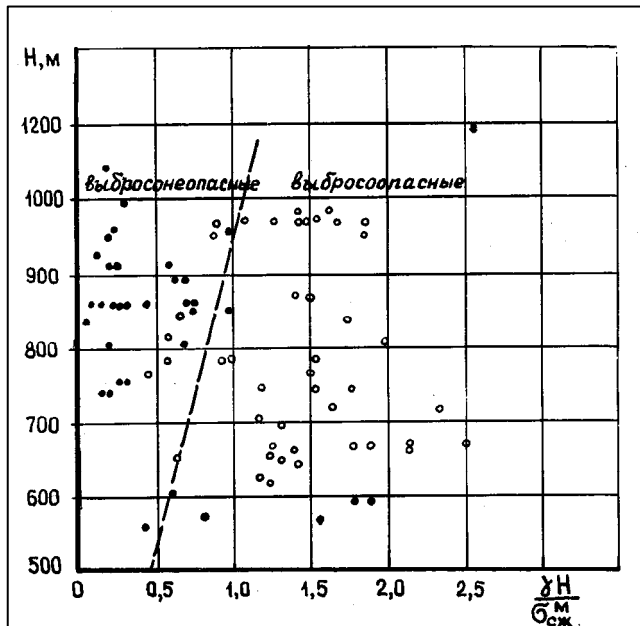
результате обработки этих характеристик массива было установлено, что все параметры инженерно-геологических свойств, кроме объемной массы, обладают значительной изменчивостью (коэффициент вариации  $>60\%$ ). Все данные инженерно-геологических свойств пород выносились на плоские модели – карты. Каждая из таких карт несет сравнительно малую информационную нагрузку. Поэтому для прогнозной оценки устойчивости боковых пород угольных месторождений, залегающих на значительной глубине, предложена обобщенная карта с учетом всех основных инженерно-геологических характеристик массива.

#### *В кровле горных выработок.*

1. Весьма устойчивые породы ( $K > 2,0-2,5$  и более) – отсутствует разрушение пород от геостатического давления и технологических причин; выработка сохраняет форму и размеры в течение всего срока службы.

2. Устойчивые породы ( $K = 1,5-2,0$ ) – локальное развитие зон разрушения от геостатического давления и возникновения технологической трещиноватости; в выработке проявляется незначительное смещение пород, а ее формы и размеры сохраняются в течение длительного срока службы, как правило, более двух лет.

3. Относительно устойчивые породы ( $K = 1,0-1,5$ ) – незначительное общее развитие зон разрушения характеризуется средними величинами деформирования пород и небольшими нагрузками на крепь, затухающими во времени; возможно образование



**Рис. 3. График прогнозной оценки выбросоопасности пород:** 1 – выбросоопасные породы, 2 – выбросоопасные породы

значительных зон вывалов кровли выработок в трещиноватых породах.

4. Неустойчивые породы ( $K=1,0-0,5$ ) – существенное развитие зон неупругого деформирования и разрушения, значительные величины деформирования пород, большие нагрузки на крепь, слабо затухающие или затухающие во времени.

5. Весьма неустойчивые ( $K<0,5$ ) – весьма существенное развитие зон неупругого деформирования и разрушения пород, значительные нагрузки на крепь, развивающиеся в течение длительного времени, часто в течение всего срока службы выработки.

*В почве горных выработок.*

Для типизации степени устойчивости пород почвы принята высота их пучения в течение трех лет.

1. Весьма устойчивые породы ( $K>2,0-2,5$ ), пучение которых не происходит.

2. Устойчивые породы ( $K=1,5-2,0$ ) – пучение не превышает 0,1 м.

3. Относительно устойчивые породы ( $K=1,0-1,5$ ) – пучение составляет 0,3 - 0,5 м.

4. Неустойчивые породы ( $K=0,5-1,0$ ) – пучение составляет 0,5 - 1,0 м.

5. Весьма неустойчивые породы ( $K<0,5$ ) – пучение более 1,0 м, часто в течение 4-6 мес. запечатывается полностью выработка.

Кроме того, появилась возможность прогноза выбросоопасности кварцевых песчаников. При этом было установлено, что если геостатическое давление – гравитационная нагрузка – превышала прочность пород на сжатие в массиве в

4 и более раз, то породы, как правило, проявляли в горных выработках склонность к внезапным выбросам (рис. 3).

*Аналитические методы.*

Аналитические методы широко используются специалистами горного профиля при решении конкретных инженерных задач в процессе горно-эксплуатационных работ (М.М. Протодьяконов, Г.Н. Кузнецов, В.Т. Глушко, В.В. Ржевский и др.) и при локальных исследованиях с целью прогнозной оценки отдельных инженерно-геологических процессов. Подобными примерами могут служить пространственно-временные прогнозы сдвижения массива пород в окрестностях горных выработок на основе шахтных инструментальных наблюдений, выполненные сотрудниками института геотехнической механики АН Украины (Б.С. Усаченко [5] и др.) по

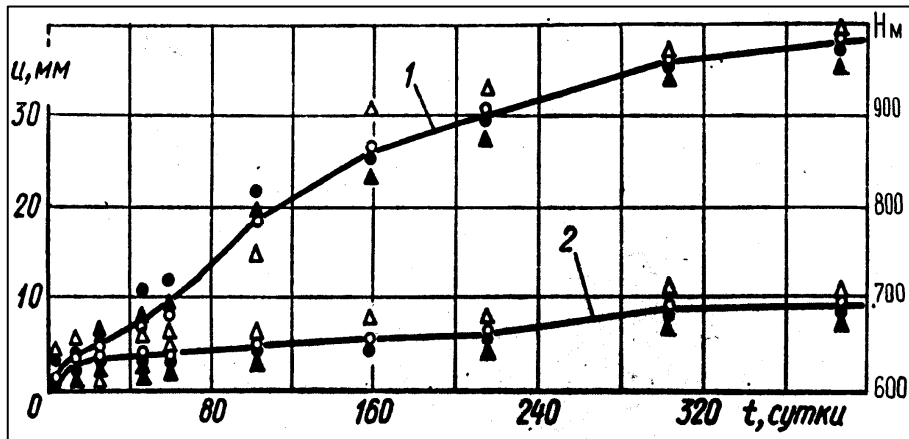


Рис. 4. График прогнозной величины смещений пород в горных выработках: 1 – кровля – почва; 2 – стенки выработок

ряду глубоких шахт Донбасса. На основе результатов шахтных замеров построены графики в системе координат  $U - t$ , где  $U$  – величина смещений вне зоны очистных работ в мм, а  $t$  – время с момента проведения выработки в месяцах. Как видно из рисунка (рис. 4) полученные кривые, выходящие из начала координат, увеличивают свою кривизну по мере увеличения глубины.

Анализ результатов инструментальных наблюдений, опубликованных в работе Б.М. Усаченко, с учетом собственных исследований в массиве шахт Восточного Донбасса позволил установить степень влияния различных геологических факторов на величину смещения контура выработки.

Вместо отношения  $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж.}^{\perp}}$ , предло-

женного Б.М. Усаченко, рекомендуется использовать отношение:

$$\frac{\gamma H}{\sigma_{сж.}^{\perp} qL};$$

где  $\gamma$  – плотность пород,  $г/см^3$ ;  $H$  – глубина заложения выработки, м;  $\sigma_{сж.}$  – прочность на сжатие,  $кг/см^2$ ;  $q$  – ко-

эффициент структурного ослабления,  $L$  – коэффициент текстурного ослабления.

Отсюда величина смещения ( $U$ ) пород в кровле ( $U_k$ ), почве ( $U_n$ ) и с боков ( $U_b$ ) выработки определяется уравнениями:

$$U_{k-n} = 0,01 \sqrt{bh} (K_1 \frac{\gamma H}{\sigma_{сж.} qL} - A);$$

$$U_b = 0,01 \sqrt{bh} (K_2 \frac{\gamma H}{\sigma_{сж.} qL} - B);$$

где  $A, B, K_1, K_2$  – эмпирические коэффициенты;  $b, h$  – ширина и высота проектируемой выработки.

Таким образом, прогнозную оценку инженерно-геологических условий безопасного освоения подземного пространства глубоких горизонтов угольных месторождений следует проводить на основе информативных параметров, характеризующих строение и состояние углеспородного массива, используя зависимости между характером и интенсивностью деформаций пород и напряженным состоянием, нарушенностью, слоистостью и механической прочностью.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев П.В., Малинин С.И.* Влияние основных геологических факторов на поведение пород в горных выработках. – М.: Госгортехиздат, 1960.-254 с.
2. *Малинин С.И.* Геологические основы прогноза поведения пород в горных выработках. – М.: Недра, 1970.- 192 с.
3. *Ржевский В.В., Гальперин А.М.* Требования горной технологии к инженерно-геологическому изучению месторождений полезных ископаемых // Тез. докл. 5 Всесоюз. конф. Проблемы инж. геол. в связи с промышл. и гражд. строит-вом и разра-  
боткой м-ний полезн. ископ. Свердловск, май, 1984. Т.2. Тема 3-4. – Свердловск, 1984.- с.8-19
4. *Тищенко Т. В.* Прогнозная инженерно-геологическая оценка безопасности горных работ на глубоких структурных горизонтах угольных месторождений. - М.: Горный информационно- аналитический бюллетень - 2001 - № 6. - с. 97 - 100
5. *Усаченко Б.М.* Свойства пород и устойчивость горных выработок. – К.: Наукова Думка, 1979.- 135 с. **ИДБ**

### Коротко об авторе

*Тищенко Т.В.* – доцент, кандидат технических наук, Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин*



---

## ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА им. Н.В. ЧЕРСКОГО СО РАН</b>			
КАЙМОНОВ Михаил Васильевич	Влияние процессов тепло- и массопереноса на смерзаемость руды в очистных блоках рудников Севера	25.00.20	к.т.н.
РОМАНОВА Елена Константиновна	Методика оптимального регулирования температурного режима подземных сооружений Севера (на примере подземных холодильников)	25.00.20	к.т.н.