

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ

УДК 551.438.5:622.2

© 1990 г.

М. И. БОГДАНОВ, И. Д. ГОРКИНА, В. И. СЕРГЕЕВ

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА ДЕФОРМАЦИЮ
РЕЛЬЕФА НАД ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Подземная добыча полезных ископаемых приводит к нарушению состояния равновесия пород и к их сдвигению, проявляющемуся в деформации рельефа над горными выработками и в образовании муьды оседания, которая часто осложняется трещинами, уступами и провалами [1]. В зоне влияния подземных горных работ происходит образование техногенного рельефа, нарушение гидрологического и гидрогеологического режима, активизация водно-эрозионных, склоновых, карстово-суффозионных и других геоморфологических процессов.

В горнодобывающей промышленности, в том числе угольной, действует ряд инструкций, методических указаний и рекомендаций по охране зданий, сооружений и природных объектов при подземной добыче полезных ископаемых, в которых в качестве показателя допустимости подработки инженерных сооружений и природных объектов принимается глубина муьды оседания. Согласно рекомендациям [1], для Подмосковского угольного бассейна она составляет 80% мощности разрабатываемого угольного пласта. Однако, как показывают многочисленные исследования на месторождениях бассейна, глубина муьды оседания часто превышает мощность разрабатываемого пласта. Изучение горно-технических условий разработки месторождений показывает, что причинами этого могут быть: многократность подработки; превышение запланированного объема выработки за счет несовершенства технологии добычи. Во всех остальных случаях превышение глубины муьды оседания над мощностью разрабатываемого пласта происходит за счет влияния природных факторов, количественная оценка которых до настоящего времени не производилась.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями ряда авторов установлено, что сдвигение горных пород и деформация рельефа над горными выработками непостоянны во времени и пространстве и зависят от взаимодействия большого количества природных и техногенных факторов.

При анализе природных условий, оказывающих влияние на характер и интенсивность деформации рельефа над горными выработками, приходится сталкиваться с многомерностью описания этих условий, учитывать большое число показателей (признаков). Нередко признаки лишь в косвенной форме отражают наиболее существенные, но не поддающиеся наблюдению, стороны изменений природных условий при разработке месторождений.

В данной работе делается попытка с помощью методов многомерного статистического анализа¹ дать количественную оценку влияния отдельных природ-

¹ Для проведения многомерного статистического анализа в работе использовалась программа пакета BMDP [9].

ных факторов на характер и интенсивность деформации рельефа над горными выработками. В качестве исследуемой территории выбран Центральный горно-промышленный район Подмосковного угольного бассейна. Основные промышленные запасы угля приурочены к бобриковскому горизонту визейского яруса нижнего карбона, содержащему от одного до трех пластов бурого угля рабочей мощности от 1,4 до 4,5 м. Пласты залегают почти горизонтально на глубине от 50 до 85 м [2]. Применяется столбовая система отработки угольных пластов и способ управления кровлей путем полного обрушения. По геологическим условиям район относится к весьма сложным из-за значительной обводненности месторождений, высоких напоров подземных вод, наличия в подошве и кровле угольных пластов карста и неустойчивых песчаных пород, которые в водонасыщенном состоянии обладают пльвунными свойствами [3].

Статистический подход к выделению существенных факторов предопределил большой объем многомерных данных, в которых каждый наблюдаемый объект характеризуется несколькими переменными. В качестве наиболее информативного признака, характеризующего величину деформации рельефа, выбрана максимальная глубина мульды оседания в пределах отрабатываемого участка шахтного поля и закодирована в анализе как переменная y , причем глубина мульды оседания используется в качестве зависимой переменной. Учитывая, что в формулы расчета величины деформации рельефа, принятые в угольной промышленности, входят только глубина залегания и мощность угольного пласта, эти признаки признаны наиболее информативными среди горных условий разработки месторождений (закодированы как x_1 и x_2).

На формирование техногенного рельефа при отработке месторождений существенное влияние оказывает литологическое строение кровли, которое определяет ее устойчивость (способность к обрушению над выработанным пространством). Наиболее устойчивы тяжелые кровли, представленные крепкими породами, наименее устойчивы легкие кровли, представленные песчано-глинистыми отложениями [4]. Таким образом, устойчивость кровли определяется по наличию в ней крепких пород, в данном случае известняков, которые характеризуются наибольшей объемной массой и крепостью среди пород, представленных в кровле угольных месторождений Мосбасса. Поэтому мощность известняков в кровле выбрана в качестве количественного показателя устойчивости кровли и закодирована как переменная x_3 .

Высокая обводненность угольных шахт значительно ухудшает условия разработки. За счет прорывов обводненных пород кровли в горные выработки на земной поверхности образуются провалы и воронки значительных размеров. Определяющим признаком экранирующего горизонта очистной выработки от обводнения являются особенности строения и состава пород непосредственной кровли, а именно наличие и мощность глинистого пласта (переменная x_4).

Проведение подземных работ в Подмосковном угольном бассейне осложняется наличием карстовых форм в кровле и подошве угольных пластов, а также на земной поверхности. В связи с этим по методике Ю. А. Севостьянова [5] были рассчитаны и включены в анализ коэффициенты закарстованности угольных месторождений (переменная x_5).

Как один из геоморфологических показателей, определяющих интенсивность таких процессов, как заболачивание, овражная эрозия, склоновые процессы, в анализ включены данные о степени горизонтального расчленения территории угольных месторождений (коэффициент горизонтального расчленения рассчитывался по методике А. И. Спиридонова [6] и закодирован как переменная x_6).

Количественные показатели, характеризующие каждый из семи признаков (переменных), определялись в точках максимальной глубины мульды оседания в пределах лавы первичной подработки. Последнее имеет важное значение, так как позволяет исключить влияние кратности подработки. Всего выделено 33 точки наблюдений (объектов) на 17 угольных месторождениях. По всем точкам наблюдений собраны сведения о способе и системе отработки, которые использовались при интерпретации факторного анализа.

Матрица значений коэффициентов корреляции для семи переменных

Пере- менные	Глубина мульды осе- дания, y	Глубина залегания угольного пласта, x_1	Мощность угольного пласта, x_2	Мощность известняков в кровле, x_3	Мощность глин в кровле, x_4	Закарстован- ность, x_5	Расчле- ненность, x_6
y	1,0						
x_1	$\frac{-0,242}{0,4}$	1,0					
x_2	$\frac{0,491}{0,3}$	-0,019	1,0				
x_3	$\frac{-0,087}{0,4}$	0,017	0,134	1,0			
x_4	$\frac{0,022}{0,2}$	-0,126	-0,146	-0,466	1,0		
x_5	$\frac{-0,054}{0,09}$	-0,212	-0,078	0,545	0,275	1,0	
x_6	$\frac{-0,45}{-0,1}$	0,206	0,01	0,555	0,321	-0,763	1,0

Примечание. В числителе коэффициенты частной корреляции (c_i), в знаменателе коэффициенты корреляции (r_i).

Анализ начинается с вычисления корреляции между семью измеренными переменными. Матрица коэффициентов корреляции приведена в табл. 1. Как видно из таблицы, ни одна из переменных не имеет доминирующего влияния на величину деформации рельефа. Коэффициент корреляции меняется от $-0,1$ до $0,45$ (в знаменателе). Корреляция в этих пределах слабая, не позволяющая прийти к каким-то определенным выводам о структуре взаимосвязи. Коэффициент частной корреляции (в числителе) показывает, что величина деформации рельефа в наибольшей степени связана с мощностью разрабатываемого пласта ($r_1 = 0,491$), со всеми другими переменными она близка к нулю. Незначительным оказался коэффициент частной корреляции между глубиной мульды оседания и глубиной залегания угольного пласта ($r_1 = -0,242$). Отрицательное значение коэффициента и его низкие показатели свидетельствуют, что с увеличением глубины разработки ее влияние на интенсивность деформации рельефа ослабевает.

Таким образом, корреляционная связь интенсивности деформации рельефа с природными факторами довольно слабая. Статистическая связь каждой из переменных контролируется влиянием других переменных. Коэффициент множественной корреляции равен $0,63$, что свидетельствует о невысокой связи между коррелируемыми переменными. Применение полного корреляционного анализа не привело к обнаружению ожидаемых связей интенсивности деформации рельефа с природными факторами.

Низкие значения коэффициентов корреляции не препятствуют проведению факторного анализа. Обработка корреляционной матрицы по методу главных компонент позволила выделить три фактора, раскрывающих взаимосвязи уже между группами переменных (табл. 2).

Суммарная дисперсия факторов составляет 82% . Первый фактор (вклад в дисперсию 39%) отражает взаимосвязи между расчлененностью рельефа x_6 , мощностью глин в непосредственной кровле x_4 , мощностью известняков в кровле x_3 и степенью закарстованности x_5 . Вторым фактор (вклад в дисперсию 25%) отражает наличие высокой корреляции между глубиной мульды оседания y и мощностью разрабатываемого пласта x_2 . Третий фактор (вклад в дисперсию 18%) включает два признака с высокими нагрузками: глубину залегания разрабатываемого пласта x_1 и мощность глин в непосредственной кровле x_4 . Как

Вклад факторов и исходных стандартизованных переменных в суммарную дисперсию

Условия разработки	Пере- менные	Вклад в суммарную дисперсию	
		исходных стандартизо- ванных пере- менных	факторов
Горизонтальная расчлененность рельефа	x_6	32	1-й фактор 39%
Закарстованность массива	x_5	28	
Мощность известняков в кровле	x_3	26	
Мощность глин в непосредственной кровле	x_4	12	2-й фактор 25%
Мощность разрабатываемого угольного пласта	x_2	43	
Глубина мульды оседания	y	54	
Мощность глин в непосредственной кровле	x_4	10	3-й фактор 18%
Глубина залегания разрабатываемого пласта	x_1	83	

видно из табл. 2, первый фактор можно разбить на две взаимосвязанные группы: 1 — геоморфологические переменные (x_5 и x_6) и 2 — геологические переменные (x_3 и x_4). Высокая корреляция отмечается между переменными x_3 (мощность известняков в кровле) и x_5 (закарстованность массива), что отвечает их связи в природе. Вклад этих переменных в дисперсию первого фактора равноценный и составляет соответственно 26 и 28%. Тесную корреляцию с этими признаками обнаруживает переменная x_6 (расчлененность рельефа), что подтверждает положение об унаследованности современного рельефа в пределах Мосбасса. Наблюдается зависимость между первым и третьим фактором, которые связаны посредством взаимных нагрузок на переменную x_4 , однако в обоих факторах вклад этой переменной незначителен (10 и 12%). Ведущую роль в третьем факторе занимает глубина залегания разрабатываемого пласта (x_1), которая имеет 83% от вклада фактора. Объединение переменных x_1 и x_4 в один фактор вскрывает закономерную связь глубины залегания угольных пластов с мощностью глин в кровле. Она отражает общую геологическую обстановку в позднеюрскую эпоху, когда в результате тектонического поднятия отдельных участков территории бассейна шел размыв верхнеюрских глин [2]. Третий фактор единственный, куда входит переменная x_1 (глубина залегания разрабатываемого пласта). Однако, как и в корреляционном анализе ее связь с глубиной мульды оседания не прослеживается. Это подтверждает положение, что в условиях Мосбасса глубина залегания угольного пласта не оказывает влияния на формирование техногенного рельефа.

Как видно из анализа, наиболее информативные параметры, связанные с переменной y , входят в первый и второй факторы, которые имеют наибольший вклад в суммарную дисперсию. В связи с этим в дальнейшем рассматриваются только эти два фактора.

Взятые для анализа семь переменных образовали три группы природных условий (признаков), оказывающих максимальное влияние на характер и интенсивность деформации земной поверхности над горными выработками: 1-я группа (геологические условия) включает мощность известняков в кровле (x_3) и мощность глин на контакте с выработкой (x_4), т. е. описывает литологическое строение кровли. 2-я группа (геоморфологические условия) включает закарстованность массива (x_5) и расчлененность рельефа (x_6), которые оказывают косвенное влияние на формирование техногенного рельефа через переменные x_3 и x_4 . 3-я группа, названная «горные условия», включает мощность угольного пласта x_2 и максимальную глубину мульды оседания y .

Выявление пространственных закономерностей рельефа и выделение типичных участков территории, характеризующихся общностью форм техногенного рельефа, явилось последней задачей при изучении характера деформации рельефа на угольных месторождениях, выполненной по программе ВМДР. Для решения

Интерпретация результатов кластерного анализа

Литологическая характеристика пород кровли	Песчано-глинистая кровля		Мощные прослои известняков			Переслаивание песчано-глинистых отложений с известняками			
Мощность глин в непосредственной кровле	> 1 м		> 1 м	< 1 м		< 1 м		> 1 м	
Соотношение глубины муьды оседания и мощности угольного пласта	$h \geq m$	$h < m$	$h < m$	$h \geq m$	$h \leq m$	$h \geq m$	$h < m$	$h \geq m$	$h < m$
Объекты	7,11 9,30 32,33 31,29	13,2	6	26,5 25	4,27 24	14,8 20,1	28,12 21,3 15,16	10 17 18	22 19 23

Примечание: h — глубина муьды оседания; m — мощность угольного пласта.

этой задачи был использован кластерный анализ, по которому классификация объектов основывается на нахождении некоторой меры сходства или подобия между каждой парой объектов. В работе мы использовали евклидово расстояние в n -мерном пространстве признаков. Критерием отнесения каждого объекта к тому или иному кластеру служит величина расстояния от него до центра кластера [8]. Анализ проводился в три этапа.

На первом этапе кластеризация проводилась по переменным x_3 , x_4 , x_5 и x_6 (матрица исходных данных 33×4). Рассматривалось распределение объектов с определенными мощностями известняков и глин в кровле. Выделено три кластера. В первый вошли 16 объектов (28, 1, 14, 3, 8, 21, 20, 16, 17, 15, 19, 18, 12, 22, 23, 10). Объекты характеризуются мощностью глин от 0,5 до 6,0 м и известняков — от 4 до 18 м. Внутри кластера выделяются два подмножества по величине переменной x_4 . В первое подмножество объединяются объекты с мощностью глин более 1 м (18, 19, 22, 23, 17, 10), во второе — с мощностью глин менее 1 м (28, 1, 14, 3, 8, 21, 12, 15, 20, 16). Во второй кластер вошли 10 объектов (30, 32, 33, 31, 29, 9, 2, 11, 13, 7). Кровля представлена песчано-глинистыми отложениями, известняки отсутствуют, мощность глин в непосредственной кровле составляет 2—5 м. Третий кластер объединил 7 объектов (6, 5, 4, 27, 25, 26), мощность известняков в кровле достигает 24 м. Кластер состоит из двух подмножеств. Первое — известняки залегают прямо на угольном пласте (5, 27, 4, 26, 25, 24). Второе — мощность глин в непосредственной кровле более 1 м [6]. На втором этапе анализа классификация объектов проводилась по переменным y и x_2 . Выделено три кластера. В первый вошли 16 объектов (18, 26, 9, 30, 10, 17, 11, 25, 29, 31, 14, 5, 32, 33, 20), на которых глубина муьды оседания больше мощности разрабатываемого пласта. Во второй кластер объединились 15 объектов, на которых глубина муьды оседания меньше мощности разрабатываемого пласта (3, 19, 6, 13, 4, 24, 23, 28, 22, 15, 17, 2, 12, 27, 21). Выделено два объекта (7, 18), на которых глубина муьды оседания равна мощности разрабатываемого пласта.

На третьем этапе классифицировались объекты по всем семи признакам. Интерпретация результатов кластерного анализа представлена в табл. 3. В соответствии с выделенными в результате факторного анализа группами природных условий, оказывающих влияние на интенсивность деформации рельефа, обособлены объекты, характеризующиеся следующим набором условий.

По литологическому строению кровли: 1) песчано-глинистая кровля, известняки отсутствуют (10 объектов); 2) мощные прослои известняков (от 4 до 28 м), часто залегающие на угольном пласте или тонких слоях песков или глин (7 объектов); 3) кровля представлена переслаиванием песчано-глинистых отложений с прослоями известняков мощностью до 4 м (18 объектов). **По мощности глин**

в непосредственной кровле: 1) менее 1 м (16 объектов); 2) более 1 м (17 объектов). **По соотношению глубины мульды оседания и мощности разрабатываемого пласта:** 1) глубина мульды больше или равна мощности пласта (18 объектов); 2) глубина мульды меньше мощности пласта (15 объектов).

Таким образом, применение кластерного анализа позволило корректно провести выделение типичных участков территории, которые характеризуются общностью природных условий и интенсивностью деформаций рельефа.

Выводы

1. Все исследованные переменные, отражающие геолого-геоморфологические условия месторождений, имеют связь с величиной деформации рельефа над горными выработками.

2. Из всего многообразия природных условий месторождений выделено три группы условий, оказывающих максимальное влияние на величину деформации рельефа: геологическое строение кровли, горные условия разработки и геоморфологические условия всего месторождения или шахтного поля.

3. В пределах рассматриваемой территории выделены месторождения, на которых глубина мульды оседания (интенсивность деформации рельефа) больше, меньше или равна мощности разрабатываемого пласта.

4. Выявление пространственных закономерностей изменений рельефа над горными выработками показало, что в пределах рассматриваемой территории могут быть выделены участки с одинаковым набором природных условий и интенсивностью деформаций рельефа.

Таким образом, формализационный подход при инженерно-геологических исследованиях позволил выделить наиболее существенные признаки, оказывающие максимальное влияние на формирование техногенного рельефа, вскрыть их взаимосвязи и наметить основные принципы районирования территории по характеру общих и частных закономерностей формирования техногенного рельефа над горными выработками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок на угольных месторождениях. М.: Недра, 1981. 288 с.
2. Подмосковский угольный бассейн. М.: Недра, 1967. 240 с.
3. Методические указания по предотвращению вредного влияния горных выработок на геологическую среду. М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1983. 143 с.
4. Кутепов П. Н. Формирование напряженного состояния массивов горных пород на закарстованных территориях // Инж. геология. 1981. № 1. С. 67—81.
5. Севостьянов Ю. А. Опыт количественной оценки карстонарушенности угольных месторождений южного крыла Подмосковского бассейна // Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов Европейской части СССР. М., 1970. Вып. 7. С. 248—253.
6. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых исследований и геоморфологического картирования. М.: Высш. шк., 1970. 456 с.
7. Дэвис Дж. Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977. 521 с.
8. Богданов М. И. Комбинированный логико-формальный подход при инженерно-геологическом районировании для целей мелиоративного строительства // Инж. геология. 1987. № 4. 91—99 с.
9. BMDP-Biomedical Computer Programs University of Los-Angeles. / Dixon J. W. ed. California: 1979.

Московский государственный
университет
Геологический факультет

Поступила в редакцию
15.III.1988

ASSESSMENT OF VARIOUS FACTORS SIGNIFICANCE FOR TOPOGRAPHIC DEFORMATIONS ABOVE MINES USING MULTIVARIANT STATISTICS

BOGDANOV M. I., GORKINA I. D., SERGEEV V. I.

S u m m a r y

In the process of underground mining considerable soil displacements take place above mines, the land surface being sagged, locally collapsed, with steps and ruptures at the periphery. The surface deformations pattern varies widely in space and time and depends on interaction of numerous natural and technogenic factors. A quantitative assessment of individual natural factors significance for the character and rate of topographic deformations have been attempted using multivariate statistics. Most significant groups factors are identified which are to be considered when predicting surface deformations at mineral deposits which differ in engineering-geomorphic conditions of mining.

УДК 551.438.5(47—12)

© 1990 г.

В. А. БРЫЛЕВ

АНТРОПОГЕННЫЙ МОРФОГЕНЕЗ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР

В данной статье изложены основные результаты изучения антропогенного и техногенного морфогенеза на юго-востоке Европейской территории СССР (ЕТС), включающем Нижнее Поволжье, Средний и Нижний Дон, восточную окраину Донбасса, западную часть Прикаспийской впадины и Приманычье. Характерные виды природно-антропогенных процессов на степном, равнинно-возвышенном юго-востоке ЕТС следующие: водная эрозия, дефляция, абразия берегов водохранилищ, боковая эрозия рек, оползни, суффозия, а среди техногенных — добыча полезных ископаемых, строительство, мелиорация земель. Приведем их краткую характеристику в зависимости от ареала развития и по направленности — расчленение и планация.

Наибольшая по площади проявления группа антропогенно-ускоренных процессов типична для обрабатываемых земель. Пашни характеризуются разнообразными процессами-следствиями, заключающимися прежде всего в проявлении ветровой и водной эрозии. Интенсивность их может в сотни раз превышать скорость естественных процессов денудации и аккумуляции на плакорах.

За последние годы сильные пыльные бури отмечались на юго-востоке Русской равнины в 1965, 1969, 1972, 1974, 1983 гг. Так, в начале мая 1972 г. интенсивная буря охватила Нижнее Поволжье, главным образом заборонованные поля еще не возшедших яровых культур, и продолжалась 14—81 ч при скорости ветра до 35 м/с. Во время бури зимой 1969 г. на отдельных участках лесополос вдоль шоссе Ростов — Новочеркасск высота снежно-земляных валов достигала 4—5 м [1], были выдуты посевы озимых.

Столь же типичное явление агрикультурного этапа — водная эрозия. Создание крутых незадернованных склонов, борозды и колеи от транспорта на подъездах к полям вызывают интенсивное развитие линейной эрозии. Доказано также, что поперечная обработка почвы в сравнении с продольной уменьшает сток в 2 раза, а смыв почвы в 5 раз [2].

Одним из процессов денудации суглинистых и лессовидных грунтов является суффозия и «тоннельная эрозия» [3]. Морфологически она выражается на поверхности в виде степных блюдец, рвов, слепых оврагов. Современная моди-