

**МЕТОДЫ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОРОД
ТАТАУРОВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Ф. П. НИФАНТОВ, Е. А. ПИСАРЕВ, В. Н. ПУЛЯЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры гидрогеологии и инженерной геологии
Томского политехнического института)

В текущем пятилетии наблюдается широкое развитие промышленности и строительства в Читинской области, в связи с этим здесь существенно возросла потребность в энергетическом топливе и широко проводятся поисковые работы на уголь. В результате открыт ряд месторождений, в числе которых Татауровское бурогольное месторождение, расположенное в 70 км от г. Читы. На первоочередном участке этого месторождения к 1966 году закончены детальные геологоразведочные и гидрогеологические работы; одновременно кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Томского политехнического института проведены инженерно-геологические исследования, результаты которых частично освещаются ниже.

В геологическом отношении Татауровское месторождение представляет собой достаточно крупную брахисинклиналь, расположенную в долине р. Ингоды, ограниченную с северо-запада и юго-востока высокими горными хребтами — Яблоновым и Черского. Выполнена структура главным образом нерасчлененными континентальными отложениями мела и юры мощностью до 2000 м. Юрские и меловые породы повсеместно перекрыты четвертичными отложениями. С точки зрения оценки устойчивости пород наибольший интерес представляют угленосные отложения мела и юры до глубины 200—250 м и четвертичные образования.

Угленосная толща залегает согласно на подстилающей безугольной и в центральной части месторождения достигает до 215 м. Нижняя пачка, мощностью до 50 м, представлена переслаивающимися песчаниками, алевролитами и аргиллитами с тонкими пропластками (0,1—0,9 м) угля. Выше этих слоев расположены достаточно мощные, пригодные для открытой разработки, угольные пласты. Средняя мощность верхнего пласта — 8,95 м, среднего — 3,86 м и нижнего — 7,33 м. Вмещающие породы существенно представлены крупно- и среднезернистыми песчаниками (57,9%), меньше углем (20,4%), алевролитами (10,7%) и аргиллитами (9,6%). Наблюдается пологое залегание (3—5°) и значительная фациальная изменчивость пород в крыльях брахисинклинали.

Четвертичные отложения в пределах долины р. Ингоды на месторождении представлены галечниками, супесями, суглинками и песками, среди которых чаще всего встречаются современные аллювиальные песчано-галечниковые отложения поймы р. Ингоды, повсеместно перекрывающие месторождение слоем в 10—11 м, а в переуглубленных руслах Праингоды до 32 м. Перечисленные типы пород исследованы

в инженерно-геологическом отношении по 203 монолитам, отобранным из 15 разведочных скважин.

Исследования включали определение состава, структурных особенностей и свойств всех типов пород вскрышной толщи будущих карьеров. Основное внимание уделялось изучению сопротивления пород сдвигу с учетом вероятного их изменения в бортах карьеров. В частности, учитывая процесс деградации мерзлоты на ряде карьеров и шахт Забайкалья, исследования свойств проводились преимущественно для оттаявших пород. По каждому монолиту сдвиги производились под нагрузками 2,4, 6 кг/см² в условиях полного насыщения водой. Срез выполнялся по схеме ускоренного консолидированного сдвига [1]. Плоскости среза главным образом направлялись по наслоению и ослабленным зонам, что обычно ближе соответствует развитию вероятных поверхностей скольжения в бортах карьеров. Первичная обработка результатов каждого испытания с целью определения коэффициента внутреннего трения f и сцепления C проводилась способом наименьших квадратов. Для ненарушенных пород использовались формулы:

$$f = \frac{\tau_6 - \tau_2}{4}; \quad C = \frac{4\tau_2 + \tau_4 - 2\tau_6}{3},$$

где τ_2, τ_4, τ_6 — сдвигающие усилия при вертикальных нагрузках 2,4 и 6 кг/см². Для нарушенных величина сцепления, как правило, была близка к нулю и расчет f производился по формуле

$$f = \frac{\sum_1^N P_i \tau_i}{\sum_1^N P_i},$$

где

P_i — вертикальная нагрузка;

N — количество вертикальных нагрузок.

Выяснение минералогического состава, микроструктуры и состава цемента производилось с применением обычного и электронного микроскопов. Другие показатели свойств пород определялись по общепринятым и стандартным методикам. Частные характеристики свойств пород обрабатывались с применением методов математической статистики с целью получения обобщенных и расчетных показателей, необходимых для классификации пород и оценки устойчивости бортов намечаемых карьеров.

Инженерно-геологическая классификация пород. В общем плане целевым назначением такой классификации является разделение горных пород на отдельные классы, в которых породы характеризуются близкими показателями основных физико-механических свойств. В качестве основных показателей нами приняты объемный вес, коэффициент внутреннего трения и сцепление ненарушенных пород. Построение инженерно-геологической классификации относительно указанных показателей проведено на основе современной теории геологических классификаций [2, 3], с учетом перечисленных в табл. 1 тех главных ситуаций, с которыми встречаются при построении геологических классификаций горных пород. В этой же таблице подчеркнуты типичные для инженерной геологии случаи.

Используя данные табл. 1, для пород Татауровского месторождения построена диагностическая классификация (табл. 2), где в качестве наборов U^1 и U^2 приняты известные литологические понятия, расшифрованные в руководстве [4], наборы понятий U^3 и U^4 относятся к инженерно-геологическим показателям (U^3 — влажность, U^4 — предел прочности пород на сжатие). Из табл. 2, кроме того, видно, что U^4 следует за U^3 , и это вполне естественно, так как изменение прочности рассматриваемых пород существенно зависит от изменения их влажности. На основе

Вопросы, подлежащие решению при построении классификации горных пород	Возможные ситуации
Задание множества горных пород A	1 Множество A задано посредством понятия 2 Множество A задано формально неоднозначно посредством набора образцов горных пород $a \in A$ 3 Множество A не задано
Задание разбиения A по системе признаков V	4 Разбиение A по системе признаков V с классами $A_i, i=1,2, \dots, N$ задано аксиоматически 5 Разбиение A по системе признаков V с классами A_i задано не аксиоматически
Задание системы признаков V	6 Все признаки системы V формализованные 7 Не все признаки системы V формализованные
Сведения о зависимостях между наборами системы признаков V	8 Имеются полные сведения о связях между наборами системы признаков V 9 Не имеются полные сведения о зависимости между наборами системы признаков V

2, 5, 7 и 9 — типичные случаи для инженерной геологии.

перечисленных наборов в табл. 3 представлена инженерно-геологическая классификация перечисления по системе признаков U с авторским объемом $N(U)=10$. В дальнейшем для каждого класса A_i производилась соответствующая статистическая обработка частных значений объемного веса, коэффициента внутреннего трения и сцепления пород, представляющих систему диагностируемых признаков Q_i , что тоже иллюстрируется упомянутой табл. 2.

Статистическая обработка частных показателей выполнена с применением методики, разработанной на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Томского политехнического института [5, 6]. Метод включает проверку нормальности распределения частных характеристик, определение параметров (среднего арифметического и стандарта) распределения, которые, как известно, служат основой получения расчетных показателей свойств пород.

Расчетные показатели и оценка общей устойчивости рабочих бортов карьеров. Построение расчетной модели бортов или отвалов карьеров достаточно тесно увязывается с классификационной схемой, выполненной для исследованных горных пород. Перечисленные в классификации горные породы составляют основу элементаризации расчетной модели. При этом каждый класс горных пород характеризуется определенным набором расчетных характеристик, которые ставятся в соответствие с выбранной расчетной моделью и схемой расчета устойчивости борта или отвала карьера. За расчетные показатели пород в инженерной геологии принимается математическое ожидание, в которое вводится ряд факторных коэффициентов, учитывающих структуру массива, условия работы пород в сфере действия карьера и т. д., что выражается формулой:

$$x_p = \frac{1}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots} \cdot Mx,$$

где Mx — математическое ожидание показателя; K_1, K_2, \dots — факторные коэффициенты, которые определяются экспериментально или по аналогии с уже действующими карьерами. Применительно к Татаровскому месторождению для характеристик сопротивления пород сдвигу величина $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots$ была принята равной 1,3, учитывая все

Таблица 2

Диагностическая инженерно-геологическая классификация горных пород
Татауровского бурогольного месторождения

Литология V^1	Текстура пород V^2	Влажность пород в % V^3	Прочность цементации пород V^4	Индекс класса	Объемный вес пород в m^3 , ненарушенная структ.			Коэффициент внутреннего трения, ненарушен. структура			Сцепление в m^3 , ненарушенная структура			Объемный вес в m^3 , нарушенная структура			Коэффициент внутреннего трения, нарушен. структура		
					N	\bar{X}	S	N	\bar{X}	S	N	\bar{X}	S	N	\bar{X}	S	N	\bar{X}	S
Песчаник	Несло- истый	14—28	слабая	A ₁	37	1,95	0,06	37	0,66	0,108	37	2,28	0,92	19	1,73	0,100	20	0,633	0,057
		16—30	средняя	A ₂	10	1,96	0,08	9	0,648	0,085	10	5,88	1,20	9	1,71	0,048	10	0,633	0,054
		15—21	прочная	A ₃	11	2,03	0,09	10	0,628	0,111	10	10,10	1,50	10	1,57	0,090	11	0,625	0,095
	Сло- истый	15—22	средняя	A ₄	14	1,97	0,07	13	0,628	0,064	12	7,30	3,00	13	1,56	0,105	13	0,560	0,88
Алевролит	Несло- истый	14—24	средняя	A ₅	11	1,97	0,07	13	0,560	0,087	13	6,70	1,40	16	1,51	0,066	16	0,522	0,070
		13—23	прочная	A ₆	25	2,05	0,07	17	0,578	0,082	17	14,15	3,60	26	1,49	0,080	22	0,553	0,047
	Сло- истый	15—22	средняя	A ₇	14	1,97	0,07	13	0,628	0,064	12	7,30	3,00	13	1,56	0,105	13	0,560	0,088
Аргиллит	Несло- истый	15—21	средняя	A ₈	7	1,99	0,10	7	0,480	0,100	7	5,70	2,35	6	1,44	0,068	7	0,460	0,100
		14—26	прочная	A ₉	9	2,07	0,064	7	0,500	0,115	7	14,0	2,85	10	1,48	0,066	19	0,529	0,023
Уголь	Несло- истый	33—56	прочная	A ₁₀	19	1,22	0,028	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	0,716	0,053

Примечание. N — количество определений, X — среднее значение показателя, S — стандарт; к слабым отнесены породы с $\delta_{сж} = 0—5$ кг/см²; к среднепрочным — 5—25 кг/см², к прочным — 25—150 кг/см².

Таблица 3

Классификация возможных основных видов нарушений устойчивости рабочих бортов проектируемых карьеров на Татауровском бурогольном месторождении

Класс деформаций бортов карьеров	Типы нарушения устойчивости бортов карьеров	Виды деформации	Индекс вида деформации	Характеристика	Расчеты устойчивости
Деформации при отсутствии поверхностей разрушения	Оплывание насыщенных водой рыхлых пород	Опывины	I—А	Оплывание насыщенных водой рыхлых четвертичных отложений	Не применяются
		Опывины солюфлюкционные	I—Б	Оплывание оттаявших рыхлых пород мела и юры	Не применяются
Деформации по поверхностям разрушения, предопределенным условиями залегания пород	Сложные контактные оползни	Надподшвенные	II—А	Возникают при подрезке пологозалегающих пород по ослабленным контактам и углистым аргиллитам	Расчеты проводятся с использованием IX схемы ВНИМИ [7]
		Подшвенные	II—Б	Возникают при наличии ослабленного контакта в почве третьего угольного пласта. Оползнем охватывается весь борт карьера	То же
Деформации по поверхностям разрушения, не предопределенным залеганием пород	Собственно оползни	Надподшвенные	III—А	Возникают при завышенном угле откоса и отсутствии естественных поверхностей ослабления	Расчеты проводятся по схеме «многослойного откоса» [9]
		Подшвенные	III—Б	То же	То же
	Оползни выдавливания	Подшвенные	III—В	При наличии нескрытых слабых пород в основании борта карьера	Расчеты проводятся по VII схеме ВНИМИ, методам Шуберта [10] и «Канала Москва — Волга» [8]

Схемы деформаций откосов показаны на рис. 1.

неблагоприятные условия, которые могут возникнуть при вскрытии мерзлых и частично оттаявших пород (песчаники) вскрышной толщи. Другим достаточно важным моментом в процессе получения расчетных характеристик является оценка их математического ожидания по выборочным данным [6]. Здесь могут иметь место следующие ситуации:

1. За M_x принимается та или иная наихудшая интервальная оценка (пессимистическая оценка).

2. За оценку M_x принимается среднее значение показателя (оптимистическая оценка). Оптимистическая оценка M_x , как правило, имеет место для показателей свойств пород, имеющих незначительную изменчивость и когда характеристика пород в сфере действия сооружения не будет понижаться. В нашем случае к числу показателей относятся объемные веса пород. С другой стороны, для характеристик сопротивления пород сдвигу, вследствие их значительной изменчивости в каждой породе и снижения их в бортах карьеров, рекомендуется одна из пессимистических оценок M_x : нижняя доверительная граница или нижний толерантный предел, полученные при заданном уровне значимости γ [5]. На основе тщательного анализа геологического строения и физико-механических свойств для пород Татауровского бурогоугольного месторождения с целью получения расчетных сдвиговых характеристик были приняты следующие оценки M_x . Для ослабленных контактов использовались нижние толерантные пределы трения и сцепления пород, а в остальных случаях принимались нижние доверительные пределы, полученные графоаналитическим способом при уровне значимости 0,05 [6].

Принимая во внимание все сделанные выше замечания, вычислены расчетные характеристики, которые для каждого класса пород приведены в более ранней работе авторов настоящей статьи [5] и в табл. 2.

Для условий Татауровского месторождения с пологим залеганием пород, учитывая принятую расчетную модель деформации откосов (табл. 3, рис. 1) и физико-механические свойства пород, были определены общие углы наклона осушенных бортов карьеров. Они оказались не выше 33° .

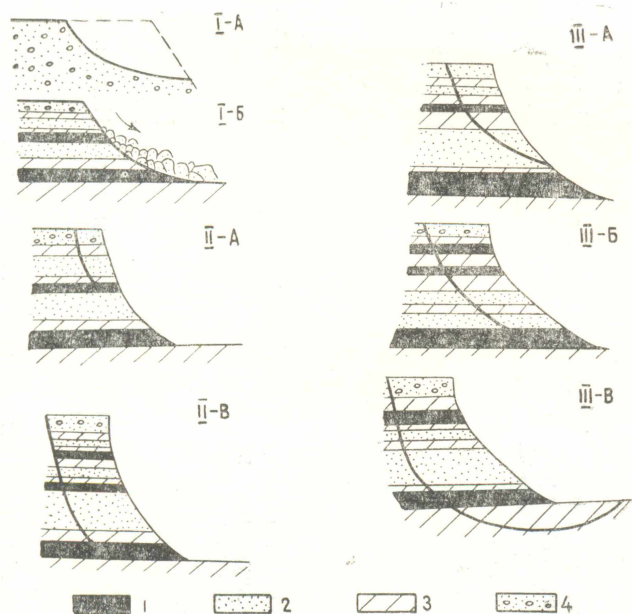


Рис. 1. Расчетная модель деформации откосов. 1 — уголь; 2 — песчаник; 3 — алевролит; 4 — галечник.

В заключение отметим, что приведенный способ оценки устойчивости пород и бортов карьеров может приниматься для подобных месторождений на стадии детальной разведки и ранних стадиях проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решения и инструктивные указания совещания Гидропроекта по унификации методов исследования грунтов. Гидропроект, М., 1964.
2. Геология и математика. «Наука», Новосибирск, 1967.
3. Ю. А. Воронин. К математико-логическому освоению геологических классификаций. «Геология и геофизика», 1963, № 9.
4. Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Гостоптехиздат, Л., 1958.
5. Ф. П. Нифантов, Е. А. Писарев, В. Н. Пуляев. Инженерно-геологические условия Татауровского бурогоугольного месторождения. Научный отчет. Фонды ТПИ, Томск, 1966.
6. Е. А. Писарев. Некоторые приложения статистических методов к обработке результатов исследования свойств грунтов. Сб. «Вопросы методики инженерно-геологических исследований». Томск, 1966.
7. Т. Л. Фисенко. Устойчивость бортов карьеров и ствалов. Изд-во «Недра», М., 1965.
8. Канал Москва—Волга. Геотехника, М.-Л., 1940.
9. Ю. Н. Малюшицкий. Условия устойчивости бортов карьеров. Киев, 1957.
10. K. Schubert. Die Verteilung der Schubspannung unter Böschungen, «Bergbautechnik», H. 3, 1964.