

В. П. Алексеев, В. В. Николин

## О ФАКТОРАХ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изучение физико-механических характеристик отложений, вмещающих угольные пласты, — одна из основных задач, решаемых в процессе углеразведочных работ. Методика исследований детально изложена в ряде инструктивных материалов, в справочных и научных изданиях, например [2]. При этом к изучению рекомендуются гранулометрические типы пород (аргиллиты, алевролиты, песчаники различной зернистости и пр.). Реже упоминаются типы пород с различной слоистостью, разного петрографического состава. Иногда такая «детализация» может даже приводить к несопоставимым результатам. Например, в Инструкции ... [2] к труднообрушающимся породам отнесены следующие (табл. 16, с.79): аргиллиты алевролитистые толстослоистые; алевролиты; алевролиты карбонатные; песчаники среднезернистые карбонатные; известняки доломитовые толстослоистые. Тем самым в одних случаях фигурирует состав пород, в других — размерность материала, в третьих — размер слоистости... Такое эклектическое смешение признаков противоречит основным принципам классификации любого уровня.

Изучению же должны подвергаться литологические типы пород, устанавливаемые по комплексу признаков, представленному исходным однородным массивом. Для иллюстрации этого положения приведем результаты факторного анализа по детально изученной скв. 175, пробуренной в южной части Улугхемского бассейна. Всего по 580-метровому интервалу выделено 603 слоя (средняя мощность 0,96 м). Каждый из них охарактеризован рядом признаков, при последующей обработке переведенных в количественную форму по последовательному изменению того или иного параметра: например, для текстуры: горизонтальная слоистость — 1, полого-волнистая — 2, ..., косая — 5 и т. д. Матрица факторных нагрузок приведена в табл. 1. Полученные данные свидетельствуют о следующем.

1. Первый фактор формирования изменчивости системы признаков определяет менее половины общей дисперсии. Интерпретируя его как гидродинамический, установим, что наибольший вклад в него имеют три (!) признака:  $S_1$  — гранулометрический состав;  $S_3$  — текстура и  $S_5$  — количество растительных остатков.

2. Почти 30 % дисперсии принадлежит второму фактору, интерпретируемому как расстояние транспортировки по основным определяющим его признакам:  $S_2$  — сортированность частиц породы и  $S_6$  — фашиальный состав.

Другие факторы имеют второстепенное значение, играя роль «шума».

В целом в роли синтетического показателя, характеризующего изменчивость пород, по нашему мнению, следует использовать условия формирования отложений, о вещественные в породах (фашию, определяемую именно по комплексу признаков). В частности, это детально разработано С. А. Топорцом в специальной статье [6], с анализом истории вопроса. Ранее на необходимость такого подхода указывали и мы [3].

Приведем результаты изучения физико-механических свойств отложений Улугхемского каменноугольного бассейна с точки зрения приведенных выше позиций (в сжатом виде это изложено в работе [1]). Детально исследована скв. 728, полностью пересекающая продуктивную эрбекскую свиту среднеюрского возраста. Керн извлекался практически в ненарушенном состоянии при его выходе не менее 95 %. При документации выделялись слои, определяемые на основе комплекса диагностических признаков (см. табл. 1), по которому устанавливался их генезис (фашия). В пробу отбирались столбики керна высотой не менее 40 мм при его диаметре 35 мм; при



этом мы стремились избежать пропуска самостоятельных слов (их средняя мощность составляла  $\approx 92$  м).

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок

Показатель	Признаки		Факторы	
	Направленность изменения показателя при кодировании	Индекс	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
Гранулометрический состав	Повышение размерности материала	S <sub>1</sub>	0.94	-0.13
Сортированность (соотношение фракций)	Улучшение сортированности	S <sub>2</sub>	-0.50	0.74
Текстура (слоистость)	Увеличение интенсивности геодинамики	S <sub>3</sub>	0.89	-0.14
Органический (растительный) материал	Увеличение фрагментарности органики	S <sub>4</sub>	-0.36	-0.60
	Повышение количества органики	S <sub>5</sub>	-0.86	-0.34
Условия формирования	Удаление от области сноса	S <sub>6</sub>	0.12	0.85
Вклад			46.85	29.74

В лабораторных условиях по каждой из 360 отобранных проб, в соответствии с действующими ГОСТами, определены следующие показатели:

$\rho_0$  – плотность, г/куб. см;

$V_p$  – скорость продольных волн, м/с;

$R_c$  – предел прочности при одноосном сжатии, МПа;

$\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/куб. см.

Расчетным путем определены значения:

$f_{sp}$  – коэффициент динамической прочности;

$E_{об}$  – модуль общей деформации (ГПа).

Сформированный по итогам эксперимента массив исходных данных включал 360 объектов – проб, описанных шестью физико-механическими и пятью литологическими характеристиками (последние – в цифровом виде – баллах). Обработка и анализ исходной информации проведены в двух направлениях: в первом случае объекты (пробы) были рассортированы по гранулометрическому признаку на пять групп, в каждой из которых определены средние значения инженерно-геологических параметров и пределы их колебания. Это сделано для того, чтобы предварительно охарактеризовать изменчивость каждого из изучаемых свойств в рамках, в принципе, традиционного, но значительно более точного разбиения на гранулометрические разности (табл.2). Подробно на анализе этой таблицы мы останавливаться не будем, констатируя только весьма значительные амплитуды колебаний большинства физико-механических свойств. Изменения средних значений либо происходят скачкообразно, не подчиняясь каким-либо видимым закономерностям (например  $V_p$ ), либо вообще отсутствуют на фоне существенных отличий в минимальных и максимальных значениях свойства у некоторых гранулометрических разностей (например величина  $\rho_s$ ).

Второй способ обработки исходных данных предусматривал выделение из общей массы объектов нескольких крупных групп так, чтобы в одной группе (выборке) оказались пробы одной фации. Удалось сформировать пять достаточно представительных выборок по следующим фациям бассейновой группы отложений:

- БДД – песчаных осадков конусов выноса рек;  
 БДЦ – гравийно-песчаных осадков центральных частей конусов выноса рек;  
 БМБ – песчаных осадков сильноподвижного мелководья (аккумулятивные формы: бары, косы, пересыпи);  
 БММ – пересланвания глинисто-алевритово-песчаных осадков подвижного мелководья (малые аккумулятивные формы);  
 БПП – глинисто-алевритовых осадков малоподвижного мелководья.

Таблица 2

## Средние значения физико-механических свойств по гранулометрическим типам

Гранулометрический тип	Физико-механические свойства					
	$\rho_0$	$V_v$	$R_c$	$\rho_n$	$f_{cp}$	$E_{0.9}$
Алеврит мелкозернистый	$\frac{2.30-2.76_{(88)}}{2.58}$	$\frac{2072-3957_{(35)}}{3527}$	$\frac{38.8-109.5_{(34)}}{71.4}$	$\frac{2.31-2.80_{(88)}}{2.67}$	$\frac{3.9-11.0_{(34)}}{7.14}$	$\frac{9.1-35.9_{(35)}}{26.4}$
Алеврит крупнозернистый	$\frac{2.40-2.63_{(31)}}{2.53}$	$\frac{2646-4012_{(23)}}{3393}$	$\frac{46.5-105.7_{(21)}}{75.6}$	$\frac{2.46-2.71_{(31)}}{2.66}$	$\frac{4.7-10.6_{(21)}}{7.56}$	$\frac{15.5-38.4_{(23)}}{25.6}$
Песчаник мелкозернистый	$\frac{2.37-2.70_{(138)}}{2.50}$	$\frac{2212-5233_{(120)}}{3807}$	$\frac{33.1-138.1_{(120)}}{72.2}$	$\frac{2.59-2.72_{(138)}}{2.66}$	$\frac{3.3-13.8_{(120)}}{7.22}$	$\frac{12.1-71.5_{(120)}}{36.0}$
Песчаник среднезернистый	$\frac{2.23-2.53_{(80)}}{2.42}$	$\frac{3151-4012_{(69)}}{3551}$	$\frac{18.5-85.3_{(68)}}{59.0}$	$\frac{2.61-2.68_{(80)}}{2.65}$	$\frac{1.9-8.5_{(68)}}{5.90}$	$\frac{21.5-38.9_{(69)}}{29.8}$
Песчаник крупнозернистый	$\frac{2.23-2.45_{(17)}}{2.39}$	$\frac{3352-4095_{(14)}}{3693}$	$\frac{31.8-74.5_{(14)}}{55.6}$	$\frac{2.63-2.66_{(17)}}{2.65}$	$\frac{3.2-7.5_{(14)}}{5.56}$	$\frac{25.5-41.0_{(14)}}{31.9}$
Среднее по алевритам	$\frac{2.30-2.76_{(118)}}{2.57}$	$\frac{2072-4012_{(58)}}{3411}$	$\frac{38.8-109.5_{(55)}}{73.0}$	$\frac{2.31-2.80_{(118)}}{2.67}$	$\frac{3.9-11.0_{(55)}}{7.30}$	$\frac{9.1-38.4_{(58)}}{26.1}$
Среднее по песчанкам	$\frac{2.23-2.70_{(235)}}{2.47}$	$\frac{2212-5233_{(203)}}{3713}$	$\frac{18.5-138.1_{(201)}}{66.6}$	$\frac{2.59-2.72_{(235)}}{2.66}$	$\frac{1.9-13.8_{(201)}}{6.66}$	$\frac{12.1-71.5_{(203)}}{33.6}$

Примечания  
 от - до (число)  
 среднее

В пределах каждой группы (выборки) проведено исследование изменчивости физико-механических свойств, но уже с определением основных статистик: среднего значения ( $\bar{x}$ ), стандартного отклонения ( $\sigma$ ), коэффициента вариации ( $V\%$ ) и др. (табл.3).

Из анализа полученных результатов видно, что новые выборки статистически более устойчивы. За исключением показателя  $R_c$  и выводимого из него  $f_{cp}$ , колебания всех характеристик ( $V\%$ ) не превышают 20%. Сравнение данных общей плотности ( $\rho_0$ ) и плотности частиц грунта в выборках по фациям БММ и БПП показывает, что при равных значениях плотности минеральной части ( $\rho_n$ ) общая плотность значительно ниже у осадков фации БММ. По-видимому, это объясняется различиями в упаковке частиц породы: у более тонкозернистых и однородных пород фации БПП более высокая общая плотность. Отсюда можно сделать вывод, что даже незначительные изменения в гранулометрическом составе в сочетании с сортированностью ощутимо влияют на значения физико-механических характеристик. Это происходит на фоне того, что свойства самого материала (минеральной части) остаются постоянными.

Фации с приблизительно одинаковым гранулометрическим составом и близкой сортированностью имеют весьма различные значения скоростей продольных волн ( $V_p$ ) и общей плотности ( $\rho_0$ ), что, вероятно, обусловлено текстурными особенностями в сумме с количеством



растительной органики. Более детально распределение значений общей плотности между объектами трех литологических типов песчаной размерности: БДД, БДЦ и БМБ - показано на рисунке. Например, при абсолютно одинаковой размерности в 6-7 баллов фации БМБ и БДД дают сильно различающиеся значения плотности: от 2.4-2.5 в первой выборке до почти 2.7 - во второй. При некотором увеличении размерности объектов фации БДД значения плотности сначала выравниваются, а затем соотношения становятся обратными: для гранулометрического состава в восемь баллов в выборке БДД плотность составляет 2.4-2.45, а в БМБ – 2.55-2.6. Объяснить это можно влиянием сразу двух факторов – сортированности и количества растительных остатков. У относительно более грубых разностей при примерно равном содержании углистого вещества, по-видимому, сильно различается пористость, возможно из-за того, что фация БДД отвечает более интенсивной гидродинамике среды осадконакопления. У тонкозернистых проб, наоборот, преобладает влияние органического материала, в этом случае сказывается относительно большая близость условий накопления фации БМБ к континентальным.

Таблица 3

**Основные статистические характеристики физико-механических свойств по фациям**

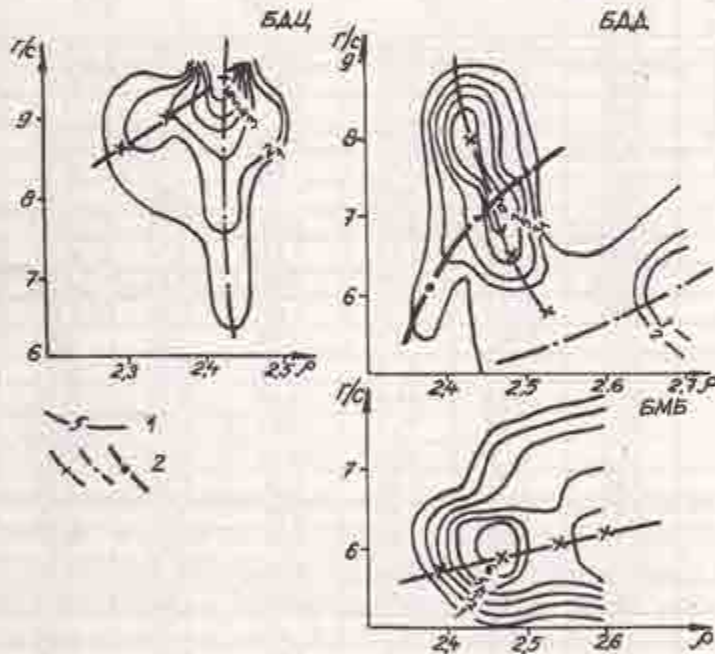
Показатель физ.-мех. свойства	Фация (колич. проб) (см. в тексте)	Статистические характеристики						
		min	max	$\bar{x}$	$\sigma$	A	E	V%
$\rho_0$	БДД(98)	2.37	2.69	2.48	0.81	1.60	1.47	3.3
	БДЦ(35)	2.29	2.59	2.41	0.57	0.17	0.90	2.4
	БМБ(65)	2.42	2.60	2.51	0.51	0	-1.33	2.0
	БММ(38)	2.40	2.69	2.59	0.66	-0.84	0.40	2.6
	БПП(18)	2.55	2.76	2.61	0.52	1.69	2.15	2.0
$V_p$	БДД	3300	5230	3856	5.11	1.82	1.82	13.3
	БДЦ	3130	4150	3535	2.65	0.48	-0.75	7.5
	БМБ	2210	4410	3701	3.12	-1.34	6.50	8.4
	БММ	2070	4010	3468	3.80	-1.82	4.11	11.0
	БПП	2920	3910	3348	2.40	0.44	0	7.2
$R_c$	БДД	39.5	138.1	72.1	18.39	1.32	2.63	25.5
	БДЦ	22.9	103.1	57.5	15.62	0.10	0.31	27.2
	БМБ	33.1	128.6	68.3	18.09	0.50	0.70	26.5
	БММ	42.6	109.5	71.7	17.61	0.43	-0.61	24.6
	БПП	38.8	99.3	69.3	16.19	-0.40	-0.47	23.3
$\rho_s$	БДД	2.63	2.72	2.66	0.18	1.16	1.56	0.7
	БДЦ	2.61	2.69	2.65	0.14	0.19	0.79	0.5
	БМБ	2.59	2.69	2.66	0.17	-1.04	3.21	0.6
	БММ	2.46	2.77	2.69	0.59	-2.00	5.19	2.2
	БПП	2.63	2.80	2.68	0.44	1.72	2.04	1.6
$F_{кр}$	БДД	4.0	13.8	7.2	1.84	1.34	2.63	25.5
	БДЦ	2.3	10.3	5.8	1.56	0.09	0.28	27.2
	БМБ	3.3	12.9	6.8	4.81	0.49	0.70	26.5
	БММ	4.3	11.0	7.2	4.76	0.44	-0.60	24.5
	БПП	3.9	9.9	6.9	1.62	-0.41	-0.50	23.4
$E_{сд}$	БДД	25.2	71.5	36.6	12.41	1.93	2.07	33.9
	БДЦ	23.0	41.0	29.4	4.89	0.63	-0.59	16.6
	БМБ	12.1	48.8	33.6	5.69	-0.20	3.38	17.0
	БММ	9.1	38.4	27.5	6.01	-0.90	1.32	21.5
	БПП	18.5	35.9	25.0	4.1	0.96	0.95	16.4

Примечания.  $\bar{x}$  – среднее арифметическое,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение, A – асимметрия, E – эксцесс, V – коэффициент вариации.

## Результат дисперсного анализа

Физико-механические свойства (см. в тексте)	Вычисленные значения F-критерия (критическое 2.57)
$\rho_0$	67.69
$V_p$	7.06
$R_c$	0.85
$\rho_x$	36.31
$f_{кр}$	0.85
$E_{ог}$	8.21

Предположение о сильном влиянии на изменчивость физико-механических свойств всего комплекса литологических признаков может быть доказано с помощью статистического метода. Его сущность заключается в выявлении и оценке той доли общей изменчивости данного показателя, которая обусловлена закономерным влиянием одного общего фактора сразу на несколько сравниваемых выборок. Это влияние считается доказанным, если получаемая величина статистического критерия выше определенного критического уровня. Применению методики дисперсного анализа в геологии посвящена обширная литература [5]. Мы располагаем данными по пяти выборкам, они отличаются друг от друга условиями формирования пород (осадков).



Поля корреляции мощности пород ( $\rho_0$ , г/куб. см) и их гравулометрического состава ( $\gamma_c$ , в баллах) по фациям. Обозначения: 1 – изолинии равной плотности точек на корреляционном поле; 2 – эмпирические линии регрессии

Проверяемая с помощью дисперсного анализа гипотеза формируется следующим образом: если на изменчивость какого-либо из физико-механических свойств влияют литологические особенности породы и условия осадконакопления, то его колебания между выборками БП, БММ, БМБ, БДД и БДЦ будут более существенны, чем внутри каждой из них и значения получаемого F-критерия превысят критический уровень. Результаты расчетов приведены в табл.4. Из нее следует, что за



исключением показателя динамической крепости  $f_{dp}$  и связанного с ним  $R_c$ , все остальные физико-механические свойства бесспорно сильно зависят от конкретных условий осадконакопления.

Наиболее полную картину изменчивости исследуемых характеристик в пределах одной выборки дает анализ линейных корреляционных связей отдельных признаков (см. рисунок). Как из него следует, внутренняя изменчивость физико-механических свойств также имеет закономерный характер.

Подводя итоги проведенному формализованному и содержательному анализу, можно констатировать, что высокая изменчивость физико-механических свойств имеет достаточно закономерный характер и в значительной степени объясняется влиянием конседиментационных факторов. Универсальность фашиальной изменчивости физико-механических свойств пород угленосных отложений, наиболее детально рассмотренная С. А. Топорцом [6], получила яркое подтверждение в работах Л. В. Лабунского и др. по Южно-Якутскому бассейну [4]. Тем самым определяется отчетливая потребность в определенном изменении методики опробования угленосных отложений с целью изучения их физико-механических свойств – не по гранулометрическим, а по литологическим типам, характеризующимся определенными условиями осадконакопления. Учитывая определенные сложности в выполнении таких работ, можно рекомендовать их проведение по опорным скважинам с последующей корреляцией получаемых данных на “обычное” опробование.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В. П., Никоин В. В. Об одном из путей совершенствования методики изучения физико-механических свойств угленосных отложений // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Материалы науч. конф. – Томск: Изд-во ТГУ, 1998. – Т.1. – С.24-26.
2. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. – СПб: Изд-во ВНИМИ, 1993. – 147 с.
3. Князев В. А., Алексеев В. П., Сычева Э. А. К вопросу о прогнозировании прочностных свойств боковых пород угольных пластов по данным литолого-фашиального состава // Тез. докл. III Дальневосточной конф. углегеологов. – Артем, 1978. – С. 67-70.
4. Лабунский Л. В., Зайцев А. А., Кабаков А. М. Литологический состав, строение и физико-механические свойства Южно-Якутского бассейна // Геология угольных месторождений. – Екатеринбург: Изд-во УГТГА, 1997. – Вып.7. – С. 239-253.
5. Справочник по математическим методам в геологии. – М.: Недра, 1987. – 335 с.
6. Топорец С. А. Фашиальный контроль петрофизической изменчивости пород угленосных формаций // Геология угольных месторождений. – Екатеринбург: Изд-во УГТГА, 1996. – Вып. 6. – С.91-99.

УДК 624.131:551.3

О.Н.Грязнов, О.М.Гуман, Л.П.Морозова, **Н.С.Шабалина**

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Выбор участков для размещения полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в пределах Свердловской области в первую очередь должен определяться геологическими особенностями того или иного региона, где проектируется проведение изыскательских работ.