

А. Н. КАБОКИН

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА И СОСТАВА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ КОЦЕБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В последнее время возросло внимание к горючим сланцам (ГС) новых крупных разведанных месторождений Поволжья — Перелюбского и Коцебинского, лучшие разновидности сланца которых по качеству не уступают знаменитым кукерситам Прибалтийского сланценосного бассейна (ПСБ) [1]. Ведется интенсивный поиск новых безотходных технологий промышленной переработки высокосернистых волжских ГС, в связи с чем большое значение приобретает точный прогноз качества и технологических свойств ГС названных месторождений.

В этом плане весьма существенна роль математической статистики и корреляционного анализа как метода оценки и прогноза, которые широко используются в геологии [2, 3], и в частности при изучении горючих сланцев [4—7].

Вопросы взаимосвязи между показателями качества и составом ГС рассмотрены в ряде работ, в основном по месторождениям ПСБ, Болтышскому и др. [1, 5, 6, 8—11]. Установлены тесные корреляционные связи между такими показателями, как удельная теплота сгорания, выход смолы полукоксования, с одной стороны, и зольность, содержание органического вещества (ОВ), плотность действительная и кажущаяся — с другой. Нашими работами подтверждено, что при значительном объеме выборки (несколько десятков определений) распределение значений показателей качества ГС можно считать нормальным и к такой выборке применимы законы математической статистики.

Эмпирические уравнения регрессии описывают общую закономерность поведения одного искомого показателя в зависимости от изменения другого (других) и применяются для достоверного прогноза оцениваемого показателя с некоторой известной ошибкой — как правило, в границах области наблюдений как значений показателей, так и площади месторождения/участка. Для каждого месторождения/участка характерны эмпирические уравнения со своими значениями коэффициентов регрессии и свободного члена уравнения, учитывающие индивидуальные особенности ГС отдельных пластов или месторождения в целом. Для Коцебинского месторождения корреляционные зависимости между основными показателями качества и состава установлены впервые.

Пласты ГС Коцебинского месторождения существенно различаются по качеству. Так, зольность рядовых проб ГС колеблется от 38,9 до 75,8 %, содержание ОВ — от 16,1 до 54,7 %, удельная теплота сгорания — от 5,43 до 18,53 МДж/кг и выход смолы полукоксования — от 6,8 до 27 %. Минеральное вещество ГС представлено карбонатом, терригенно-глинистым материалом и пиритом, которые влияют на удельную теплоту сгорания и выход сланцевой смолы. Поэтому

прогноз основных показателей качества и состава ГС Коцебинского месторождения является довольно сложным вопросом, который имеет важное практическое значение.

Для изучения корреляционных зависимостей между показателями качества и состава была сделана представительная выборка (2200 результатов анализов). Цифровые массивы значений показателей ГС пробивали на перфокарты, записывали на магнитную ленту и обчисляли на ЭВМ: — по программе линейной множественной корреляции общего вида:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n, \quad (1)$$

где  $y$  — зависимая переменная;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — независимые переменные;  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  — коэффициенты регрессии; — как частный случай уравнения (1) — методами парной корреляции по уравнению прямой с одной независимой переменной:

$$y = a_0 + a_1x. \quad (2)$$

Кроме того, с помощью ЭВМ проведен анализ корреляционных уравнений: вычислены теснота связи между коррелируемыми величинами показателей, коэффициент парной ( $r$ ) и множественной ( $R$ ) корреляции, а также стандартная погрешность оценки уравнения ( $\Delta y$ ).

### Парные линейные корреляционные зависимости

Основные показатели качества и свойств ГС Коцебинского месторождения, такие, как удельная теплота сгорания  $Q_s^d$ , выход сланцевой смолы  $T_{sK}^d$ , содержание общей серы  $S_t^d$  и органической серы  $S_o^d$ , находятся в достаточно тесной корреляционной зависимости между собой и зависят от содержания ОВ, зольности  $A^d$  и плотности ГС — действительной  $d_r$  и кажущейся  $d_a$ . В работе [4] установлено, что плотность ГС зависит от соотношения содержания ОВ (плотность 1,02—1,1 г/см<sup>3</sup>) и карбонатно-терригенного материала (плотность 2,6—2,8 г/см<sup>3</sup>). Основные виды зависимостей приведены на графиках (рисунки 1 и 2).

Парные линейные корреляционные зависимости обчислены на ЭВМ по пластам ГС (I—V) всей сланценовой толщи месторождения. Основные показатели качества ГС ( $Q_s^d$ ,  $T_{sK}^d$  и  $S_t^d$ ) коррелируют с параметром зольности  $A^d$  и описываются следующими уравнениями:

$$Q_s^d = 25,908 - 0,268A^d \quad (3)$$

при  $r = -0,899$ ,  $\Delta Q_s^d = 1,08$  МДж/кг,  $n = 780$ ;

$$T_{sK}^d = 38,86 - 0,428A^d \quad (4)$$

при  $r = -0,899$ ,  $\Delta T_{sK}^d = 1,8$  %,  $n = 477$ ;

$$S_t^d = 10,91 - 0,117A^d \quad (5)$$

при  $r = 0,757$ ,  $\Delta S_t^d = 0,83$  %,  $n = 771$ .

Как видно из рис. 1 и анализа эмпирических формул (3)—(5), между удельной теплотой сгорания, выходом смолы, содержанием общей серы и зольностью зависимость обратно пропорциональная с достаточно высокой теснотой связи ( $-0,899 \geq r \geq -0,757$ ). Стандартная ошиб-

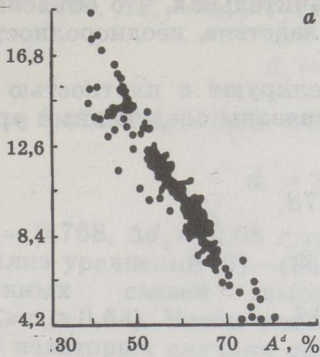
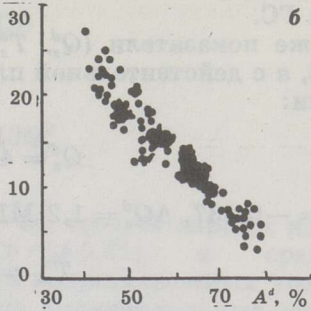
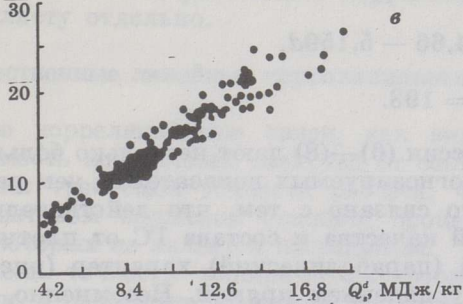
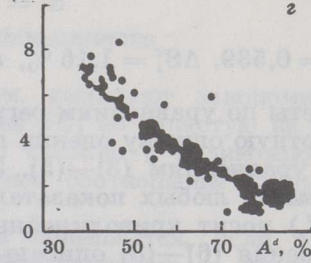
$Q_s^d$ , МДж/кг $T_{SK}^d$ , % $T_{SK}^d$ , % $S_t^d$ , %

Рис. 1

Зависимость между различными показателями качества ГС: *а* — между удельной теплотой сгорания сланца  $Q_s^d$  и зольностью  $A^d$  ( $n = 171$ ); *б* — между выходом смолы полукокования  $T_{SK}^d$  и зольностью ( $n = 170$ ); *в* — между выходом смолы полукокования и удельной теплотой сгорания ( $n = 170$ ); *г* — между содержанием общей серы  $S_t^d$  и зольностью ( $n = 209$ ).  $n$  — число пар лабораторных анализов

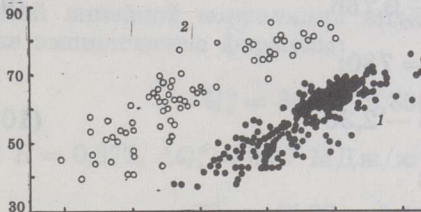
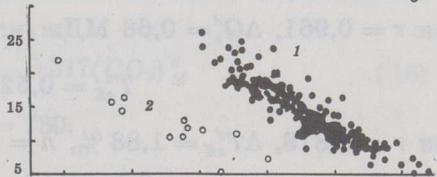
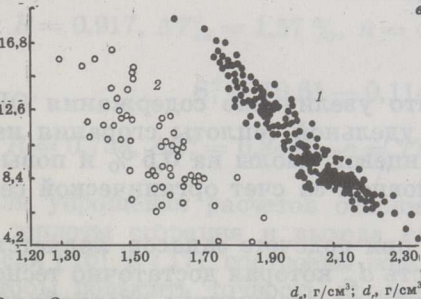
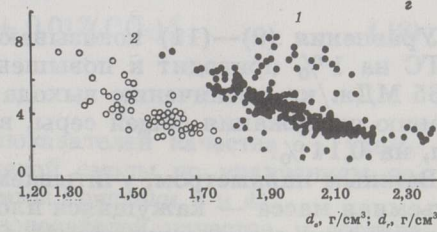
 $A^d$ , % $T_{SK}^d$ , % $Q_s^d$ , МДж/кг $S_t^d$ , %

Рис. 2

Зависимость от действительной плотности  $d_r$  (1) и кажущейся плотности  $d_a$  (2): *а* — зольности  $A^d$  (для  $d_r$   $n = 394$ , для  $d_a$   $n = 75$ ); *б* — выхода смолы полукокования  $T_{SK}^d$  (для  $d_r$   $n = 269$ , для  $d_a$   $n = 12$ ); *в* — удельной теплоты сгорания сланца  $Q_s^d$  (для  $d_r$   $n = 269$ , для  $d_a$   $n = 59$ ); *г* — содержания общей серы  $S_t^d$  (для  $d_r$   $n = 400$ , для  $d_a$   $n = 59$ ) ( $n$  — число пар лабораторных анализов)

ка оценки прогнозируемых показателей значительная, что объясняется неравномерной карбонатностью и, как следствие, неоднородностью состава ГС.

Эти же показатели ( $Q_s^d$ ,  $T_{sK}^d$  и  $S_i^d$ ) коррелируют с плотностью ГС (рис. 2), а с действительной плотностью  $d_r$  связаны следующими уравнениями:

$$Q_s^d = 44,476 - 16,977d_r \quad (6)$$

при  $r = -0,837$ ,  $\Delta Q_s^d = 1,2$  МДж/кг,  $n = 212$ ;

$$T_{sK}^d = 64,9 - 25,219d_r \quad (7)$$

при  $r = 0,805$ ,  $\Delta T_{sK}^d = 2,13$  %,  $n = 88$ ;

$$S_i^d = 14,66 - 5,159d_r \quad (8)$$

при  $r = 0,539$ ,  $\Delta S_i^d = 1,16$  %,  $n = 193$ .

Расчеты по уравнениям регрессии (6)—(8) дают несколько бóльшую стандартную ошибку оценки прогнозируемых показателей, чем расчеты по уравнениям (3)—(5). Это связано с тем, что действительная зависимость любых показателей качества и состава ГС от плотности ( $d_a$  и  $d_r$ ) носит криволинейный (параболический) характер (рис. 1), а уравнения (6)—(8) описаны уравнением прямой. Несомненно, для небольших отрезков кривой (обычно в ее центральной части) можно принять, что кривая по виду весьма близка к прямой (рис. 2), и проводить расчеты по уравнениям (6)—(8).

Основные полезные свойства ГС связаны с содержанием ОВ. Действительно, между показателями  $Q_s^d$ ,  $T_{sK}^d$ ,  $S_i^d$  и содержанием ОВ\* существует тесная корреляционная зависимость, которая описывается следующими уравнениями регрессии:

$$Q_s^d = 0,35ОВ - 0,756 \quad (9)$$

при  $r = 0,961$ ,  $\Delta Q_s^d = 0,68$  МДж/кг,  $n = 780$ ;

$$T_{sK}^d = 0,521ОВ - 2,36 \quad (10)$$

при  $r = 0,878$ ,  $\Delta T_{sK}^d = 1,88$  %,  $n = 477$ ;

$$S_i^d = 0,14 + 0,125ОВ \quad (11)$$

при  $r = 0,664$ ,  $\Delta S_i^d = 0,96$  %,  $n = 771$ .

Уравнения (9)—(11) показывают, что увеличение содержания ОВ в ГС на 1 % приводит к повышению удельной теплоты сгорания на 0,35 МДж/кг, увеличению выхода сланцевой смолы на 0,5 % и повышению содержания общей серы, в основном за счет органической серы, на 0,14 %.

Важным параметром, учитываемым при подсчете запасов, является объемная масса — кажущаяся плотность  $d_a$ , которая достаточно тесно коррелирует с показателями  $A^d$ , ОВ и  $Q_s^d$  по следующим уравнениям регрессии:

$$d_a = 0,884 + 0,001A^d \quad (12)$$

\* ОВ =  $100 - [A^d + (CO_2)_M^d]$ .

при  $r = 0,83$ ,  $\Delta d_a = 0,09$  г/см<sup>3</sup>,  $n = 70$ ;

$$d_a = 2,01 - 0,0140B \quad (13)$$

при  $r = 0,871$ ,  $\Delta d_a = 0,08$  г/см<sup>3</sup>,  $n = 70$ ;

$$d_a = 1,898 - 0,00013Q_s^d \quad (14)$$

при  $r = 0,768$ ,  $\Delta d_a = 0,08$  г/см<sup>3</sup>,  $n = 61$ .

Анализ уравнений (3)—(14) показывает, что теснота парных корреляционных связей высокая ( $0,96 \geq r \geq 0,81$ ) и средняя ( $0,76 \geq r \geq 0,54$ ). Чтобы увеличить точность корреляционных уравнений, в некоторых случаях достаточно учесть индивидуальные особенности пластов ГС и рассчитать корреляционные зависимости по каждому пласту отдельно.

### Множественные линейные корреляционные зависимости

Парные корреляционные связи, как видим, выявляют закономерную зависимость показателей качества от состава ГС, но зачастую не обеспечивают требуемой точности расчета, что связано с поликомпонентным составом волжских сланцев, процентное соотношение компонентов в которых не является постоянным.

Степень точности эмпирических формул повышается, если учесть не один, а несколько факторов, существенно влияющих на расчетный параметр. Например, кроме зольности, вторым таким параметром является содержание минеральной углекислоты  $(CO_2)_M^d$ , которое в ГС меняется в широких пределах — от 3,3 до 24,3 %. Поэтому расчеты по уравнению множественной линейной регрессии вида

$$y = f[A^d, (CO_2)_M^d] \quad (15)$$

дают гораздо меньшую ошибку прогноза, чем расчеты по уравнениям парной линейной корреляции вида (2), в чем убеждают приведенные ниже эмпирические формулы:

$$Q_s^d = 34,2 - 0,355A^d - 0,317(CO_2)_M^d \quad (16)$$

при  $R = 0,973$ ,  $\Delta Q_s^d = 0,57$  МДж/кг,  $n = 780$ ;

$$T_{sK}^d = 47,35 - 0,519A^d - 0,305(CO_2)_M^d \quad (17)$$

при  $R = 0,917$ ,  $\Delta T_{sK}^d = 1,57$  %,  $n = 477$ ;

$$S_t^d = 10,61 - 0,114A^d + 0,012(CO_2)_M^d \quad (18)$$

при  $R = 0,758$ ,  $\Delta S_t^d = 0,84$  %,  $n = 771$ .

Для упрощения расчетов основных показателей качества — удельной теплоты сгорания и выхода сланцевой смолы по уравнениям регрессии (16) и (17) построены номограммы (рисунки 3 и 4).

Чтобы повысить точность прогноза показателей качества и состава ГС, в расчетную схему линейной множественной корреляции в дополнение к показателям  $A^d$  и  $(CO_2)_M^d$  ввели третью независимую переменную — плотность ГС  $d_r$ :

$$y = f[d_r, A^d, (CO_2)_M^d] \quad (19)$$

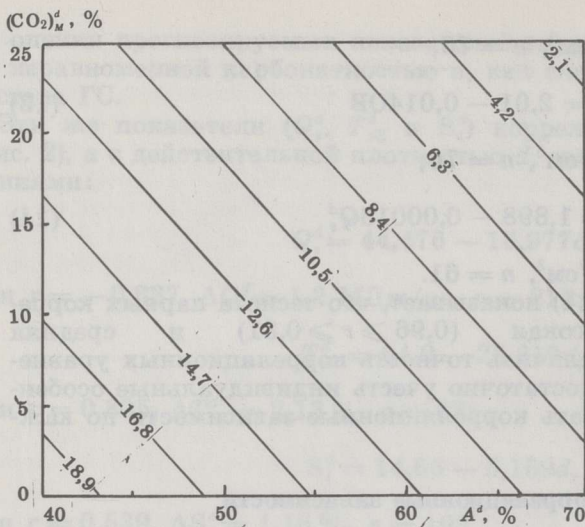


Рис. 3  
Номограмма для определения  
удельной теплоты сгорания  
сланца

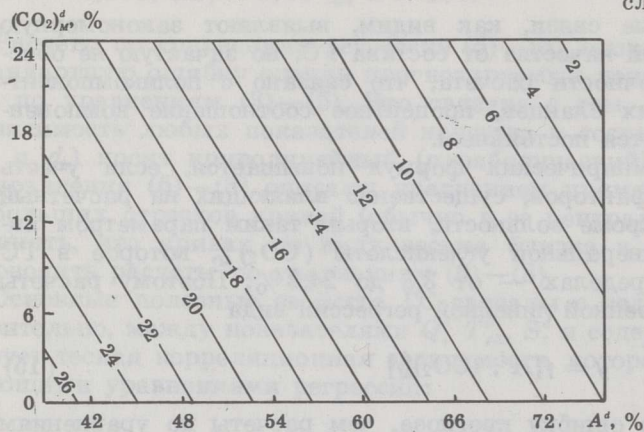


Рис. 4  
Номограмма для  
определения  
выхода сланцевой  
смолы

и получили следующие уравнения регрессии:

$$Q_s^d = 36,38 - 0,982d_r + 0,356A^d - 0,333(CO_2)_M^d \quad (20)$$

при  $R = 0,99$ ,  $\Delta Q_s^d = 0,36$  МДж/кг,  $n = 211$ ;

$$T_{sK}^d = 49,69 + 0,068d_r - 0,544A^d - 0,324(CO_2)_M^d \quad (21)$$

при  $R = 0,937$ ,  $\Delta T_{sK}^d = 1,27$  %,  $n = 87$ ;

$$S_i^d = 8,39 + 3,163d_r - 0,179A^d - 0,012(CO_2)_M^d \quad (22)$$

при  $R = 0,861$ ,  $\Delta S_o^d = 0,66$  %,  $n = 279$ ;

$$S_o^d = 12,76 - 1,341d_r - 0,113A^d - 0,028(CO_2)_M^d \quad (23)$$

при  $R = 0,951$ ,  $\Delta S_o^d = 0,34$  %,  $n = 131$ ,

где  $S_o^d$  — органическая сера.

Коэффициент множественной корреляции в уравнениях регрессии (20)—(23) высокий (0,86—0,99), а погрешность оценки прогнозируемого показателя значительно снижена по сравнению с уравнениями (16)—(18). Расчеты, выполненные по схеме корреляции (19) для ГС отдельных пластов, представлены в табл. 1.

Результаты расчета уравнений регрессии множественной линейной зависимости  $y = a_0 + a_1 A^d + a_2 (\text{CO}_2)_M^d$  основных показателей качества ГС по пластам

| Индекс пласта                              | Количество наблюдений $n$ | Свободный член уравнения $a_0$ | Коэффициенты регрессии |        |        | Стандартная ошибка уравнения $\Delta$ | Коэффициент множественной корреляции $R$ |
|--|---------------------------|--------------------------------|------------------------|--------|--------|---------------------------------------|--|
|  |                           |                                | $a_1$                  | $a_2$  | $a_3$  |                                       |  |
| Удельная теплота сгорания $Q_s^d$ (МДж/кг) |                           |                                |                        |        |        |                                       |  |
| I  | 35                        | 38,62                          | -4,109                 | -0,273 | -0,344 | 0,56                                  | 0,954                                    |
| II   | 60                        | 35,96                          | -1,694                 | -0,333 | -0,273 | 0,25                                  | 0,973                                    |
| III  | 117                       | 38,66                          | -4,479                 | -0,292 | -0,234 | 0,45                                  | 0,987                                    |
| IV   | 31                        | 37,68                          | -1,712                 | -0,362 | -0,223 | 0,4                                   | 0,939                                    |
| V  | 40                        | 35,34                          | -0,088                 | -0,387 | -0,264 | 0,37                                  | 0,981                                    |
| Выход смолы полукоксования $T_{sK}^d$ (%)  |                           |                                |                        |        |        |                                       |  |
| I  | 24                        | 63,96                          | -15,3                  | -0,28  | -0,15  | 1,78                                  | 0,768                                    |
| II   | 34                        | 45,02                          | -0,77                  | -0,46  | -0,23  | 0,84                                  | 0,842                                    |
| III  | 65                        | 45,77                          | 1,97                   | -0,53  | -0,42  | 1,47                                  | 0,902                                    |
| IV   | 16                        | 59,07                          | -6,07                  | -0,5   | -0,31  | 0,78                                  | 0,881                                    |
| V  | 21                        | 28,2                           | 13,54                  | -0,7   | -0,01  | 1,67                                  | 0,837                                    |
| Общая сера $S_t^d$ (%)                     |                           |                                |                        |        |        |                                       |  |
| I  | 33                        | -9,18                          | 20,03                  | -0,34  | -0,43  | 0,82                                  | 0,799                                    |
| II   | 60                        | 15,21                          | -0,11                  | -0,18  | 0,01   | 0,52                                  | 0,63                                     |
| III  | 116                       | 13,47                          | -1,06                  | -0,11  | -0,1   | 0,49                                  | 0,893                                    |
| IV   | 29                        | 11,3                           | -1,88                  | -0,06  | -0,06  | 0,40                                  | 0,565                                    |
| V  | 40                        | 13,3                           | -1,09                  | -0,13  | 0,02   | 0,23                                  | 0,946                                    |

По схеме корреляции (19) можно рассчитать элементный состав ГС, в частности содержание основных топливных элементов — углерода  $C^d$  и водорода  $H^d$ :

$$C^d = 66,61 + 6,367d_r - 0,839A^d - 0,869(\text{CO}_2)_M^d \quad (24)$$

при  $R = 0,964$ ,  $\Delta C^d = 1,5\%$ ,  $n = 32$ ;

$$H^d = 4,66 + 2,343d_r - 0,101A^d - 0,103(\text{CO}_2)_M^d \quad (25)$$

при  $R = 0,85$ ,  $\Delta H^d = 0,27\%$ ,  $n = 31$ ;

а также оценить минеральную часть ГС, в частности по содержанию в золе основных окислов, таких как  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :

$$\text{SiO}_2 = 34,94 - 15,531d_r + 0,883A^d - 1,226(\text{CO}_2)_M^d \quad (26)$$

при  $R = 0,956$ ,  $\Delta \text{SiO}_2 = 2,74\%$ ,  $n = 139$ ;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 8,43 - 3,626d_r + 0,238A^d - 0,258(\text{CO}_2)_M^d \quad (27)$$

при  $R = 0,788$ ,  $\Delta \text{Al}_2\text{O}_3 = 1,69\%$ ,  $n = 139$ .

Анализ точности определений показателей качества ГС, проведенный в работах [12, 13], показал, что основные углехимические лаборатории страны укладываются в две лабораторные ошибки, допускаемые ГОСТом при определении показателей качества угля и ГС, а случайные погрешности, устанавливаемые при геологическом контроле, в 1,5—3 раза превышают расхождения, выявляемые при лабораторном контроле. Отсюда вывод: максимально допустимые погрешно-

сти при определении качественных показателей ГС также не должны превышать двух лабораторных ошибок. Сравнение стандартных ошибок уравнений регрессии, рассчитанных по формулам общего вида (15) и (19), с допускаемыми ГОСТом двойными лабораторными ошибками определения одноименных параметров показало, что большинство полученных уравнений регрессии удовлетворяют данным требованиям точности или близки к ним (табл. 2) и, следовательно, могут быть применены для расчета показателей качества ГС на стадиях предварительной и детальной разведки.

Для более точного прогноза качества и состава ГС, наряду с традиционными показателями — зольностью и минеральной углекислотой, необходимо определять в рядовых пробах и действительную плотность.

Таблица 2

Сравнение точности оценки основных показателей качества и состава ГС, рассчитанных по уравнениям множественной регрессии, с погрешностью оценки, допускаемой ГОСТом

| Определяемый показатель, %        | Допускаемые предельные расхождения параллельных определений показателей при внешнем контроле | Стандартная ошибка уравнений регрессии* |                              |                             |                   |                                 |              |              |             |              |
|-----------------------------------|--|---|------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|                                   |  | ГОСТ                                    | Интервал значений параметров | Погрешность определений $m$ | максимальная $2m$ | по слоям по пластам             |              |              |             |              |
|                                   |  |   |                              |                             |                   | по сланцевой толще (пласты I—V) | I            | II           | III         | IV           |
| Теплота сгорания $Q_s^d$ , МДж/кг | 147-74   | До 14,7 при $S_t^d \geq 4\%$            | 0,21                         | 0,42                        | 0,57<br>0,36      | 0,59<br>0,56                    | 0,25<br>0,25 | 0,5<br>0,45  | 0,4<br>0,4  | 0,37<br>0,37 |
| Смола полукоксования $T_{sK}^d$   | 3169-56  | До 15<br>>15                            | 0,7<br>1,0                   | 1,4—2,0                     | 1,57<br>1,27      | 1,79<br>1,78                    | 0,84<br>0,84 | 1,59<br>1,47 | 0,8<br>0,78 | 1,67<br>1,67 |
| Сера общая $S_t^d$                | 8606-72  | >2                                      | 0,2                          | 0,4—0,6                     | 0,84              | 0,91                            | 0,59         | 0,49         | 0,4         | 0,27         |
| Ускоренный Углерод                | 2059-75  | До 5<br>>5                              | 0,2<br>0,3                   |                             | 0,66              | 0,82                            | 0,52         | 0,49         | 0,4         | 0,23         |
| Водород                           | 6389-71  |   | 0,5                          | 1,0                         | 1,5               |                                 |              |              |             |              |
|                                   | 2408-75  |   | 0,15                         | 0,3                         | 0,27              |                                 |              |              |             |              |
| SiO <sub>2</sub>                  | 10538,1-72   | >20                                     | 1,0                          | 2,0                         | 2,74              |                                 |              |              |             |              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 10538,3-72   | 5—10<br>10—20<br>>20                    | 0,4<br>0,5<br>1,0            | 0,8—2,0                     | 1,69              |                                 |              |              |             |              |

\* В числителе — стандартная ошибка оценки параметра, рассчитанная по формуле общего вида (15), в знаменателе — та же ошибка, рассчитанная по общей формуле (19).

## Выводы

1. С помощью графо-аналитического метода установлены тесные корреляционные зависимости между показателями качества и состава ГС  $Q_s^d$ ,  $T_{sK}^d$ ,  $S_t^d$ ,  $C^d$ ,  $H^d$ , SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с одной стороны, и содержанием ОВ, зольностью, минеральной углекислотой и действительной плотностью — с другой.

2. На ЭВМ рассчитаны линейные уравнения регрессии как парной, так и множественной корреляции и проведен анализ полученных эм-



пирических уравнений. Теснота связи между коррелируемыми параметрами составляет в основном 0,7—0,9.

3. Наименьшей стандартной ошибкой оценки параметров качества и состава характеризуются уравнения множественной регрессии, рассчитанные для ГС отдельных пластов как функция от действительной плотности, зольности и минеральной углекислоты, а также от зольности и минеральной углекислоты. Стандартная ошибка этих уравнений регрессии укладывается, как правило, в две лабораторные ошибки, допускаемые ГОСТом при определении соответствующих показателей качества, что позволяет использовать уравнения регрессии для расчета недостающих параметров и построения детальных карт качества и технологических показателей ГС ( $Q_s^d$ ,  $T_{sk}^d$ ,  $S_i^d$  и др.), прогноза этих показателей по заданным зольности и минеральной углекислоте.

4. Для получения более точных расчетных оценок параметров качества и состава ГС рекомендуется определять в рядовых пробах действительную плотность ГС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жмур С. И., Каттай В. А. Состав и качество горючих сланцев Волжского и Прибалтийского бассейнов // Горючие сланцы. 1984. Т. 1, № 1. С. 24—28.
2. Арабаджи М. С., Бакиров Э. А., Мильничук В. С., Сенюков Р. В. Математические методы и ЭВМ в поисково-разведочных работах. — М. 1984.
3. Родионов Д. А., Коган Р. И., Голубева В. А. и др. Справочник по математическим методам в геологии. — М. 1987.
4. Смит Дж. У. Зависимость между выходом смолы и плотностью горючих сланцев // Разработка и использование запасов горючих сланцев. Таллинн, 1970. С. 473—479.
5. Зеленин Н. И., Озеров И. М. Справочник по горючим сланцам. — Л., 1983.
6. Арукюла Х. Х., Сакс Л. А. Статистический анализ качественной неоднородности эстонских горючих сланцев // Горючие сланцы. 1985. Т. 2, № 4. С. 341—349.
7. Халдна Ю. Об использовании коэффициентов парной, частной и множественной корреляции для оценки стохастических связей между компонентами в горючих сланцах // Там же. 1984. Т. 1, № 2. С. 175—178.
8. Отс А. А., Саар Г. К., Махлануу А. Я. Использование теплоты сгорания сланца // Теплоэнергетика. 1967. № 6. С. 31—35.
9. Бауков С. С. Закономерности вещественного состава горючих сланцев ПСБ // Тр. Ин-та геол. АН ЭССР. 1958.
10. Мязюла О. Э., Отс А. А. Определение состава сланцев по теплоте сгорания // Тр. Таллинск. политех. ин-та. 1977. № 416. С. 19—24.
11. Каттай В. А. Зависимость между составом и качественными показателями горючих сланцев-кукерситов // Осадочные полезные ископаемые Прибалтики и их рациональное использование. Рига, 1985. С. 66—74.
12. Клер В. Р. Изучение и геолого-экономическая оценка качества углей при геологоразведочных работах. — М., 1975. С. 282.
13. Клер В. Р. Обработка материалов разведки месторождений угля. — М., 1980. С. 16—21, 54.

Представил В. Г. Каширский

Поступила в редакцию

1.08.1988

Саратовская комплексная  
геологоразведочная экспедиция  
ПГО «Нижневолжскгеология»

**CORRELATION BETWEEN QUALITATIVE AND COMPOSITIONAL PARAMETERS OF KOTSEBINSK OIL SHALES**

To elucidate a correlation between their qualitative and compositional parameters, data on Kotsebinsk oil shales from the Volga basin (2200 laboratory tests) have been processed, using the linear multiple correlation programme, and regression equations solved.

The correlation between the parameters under study is 0.86—0.99, the estimation error amounting to 1.5—2.5 of laboratory experimental error according to the USSR State Standard. Thus, on the basis of real shale density, its ashes and mineral carbon acid it is possible to predict (with the known admissible error) the following indices —  $Q_s^d$ ,  $T_{sk}^d$ ,  $S_t^d$ ,  $C^d$ ,  $H^d$ , and the major ash oxides —  $SiO_2$  and  $Al_2O_3$ .

*Saratov Geological Expedition of the Production Association «Niznevolzhskgeologija»*