

Д.К. Сафин, В.И. Галкин, А.В. Растегаев  
 ОАО НК «ЛУКОЙЛ»,  
 Пермский государственный технический университет

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД ПЛАСТА БС<sub>10</sub><sup>2</sup> ДРУЖНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Получены уравнения регрессии, позволяющие прогнозировать коэффициент проницаемости пласта БС<sub>10</sub><sup>2</sup> Дружного месторождения для различных интервалов изменения коэффициента пористости.

Коэффициент проницаемости ( $K_{\text{прон}}$ ) пород пласта БС<sub>10</sub><sup>2</sup> Дружного месторождения определялся по корреляционной зависимости между пористостью ( $K_{\text{пор}}$ ) и проницаемостью. Анализ корреляционного поля показывает, что расположение точек в координатах  $K_{\text{пор}}$  и  $K_{\text{прон}}$  характеризуется сильной нелинейностью, обусловленной тем, что при определении  $K_{\text{прон}}$  по  $K_{\text{пор}}$  использовалась логарифмическая зависимость (рис. 1). На корреляционном поле визуально выделяется несколько участков зависимости  $K_{\text{пор}}$  и  $K_{\text{прон}}$ . С использованием последовательного линейного

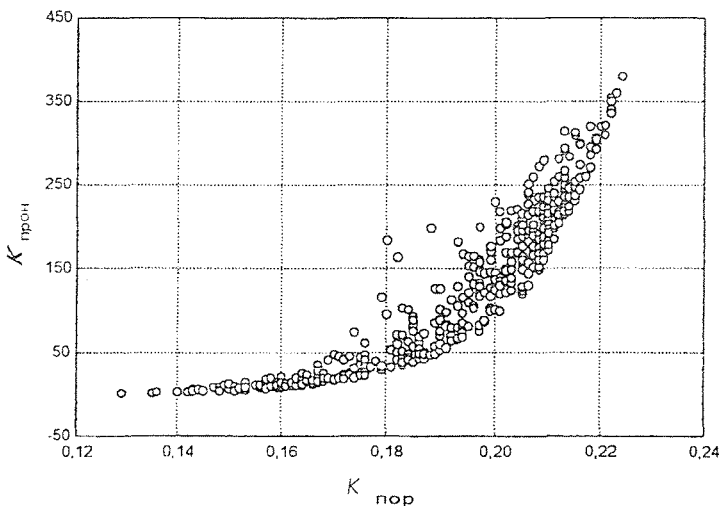


Рис. 1. Корреляционное поле между  $K_{\text{пор}}$  и  $K_{\text{прон}}$

корреляционного анализа по соотношению  $K_{\text{пор}}$  и  $K_{\text{прон}}$  было выделено пять участков (классов): первый участок по  $K_{\text{пор}} < 0,155$ , второй – от 0,155 до 0,180, третий – от 0,180 до 0,200, четвертый – от 0,200 до 0,215, пятый – при

$K_{пор} > 0,215$ . Основные статистические характеристики этих классов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Некоторые статистические характеристики по классам пористости

Наименование	Классы пористости				
	< 0,155	0,156-0,180	0,181-0,200	0,201 – 0,215	> 0,215
	В числителе – среднее значение и среднеквадр.отклонение, в знаменателе – размах значений				
Мощность песчанников $m_p$	$3,3 \pm 3,0$	$4,4 \pm 3,1$	$9,5 \pm 4,9$	$13,0 \pm 3,9$	$11,7 \pm 5,1$
	1,0 – 17,3	0,7 – 18,0	0,4 – 18,9	4,0 – 23,0	2,7 – 17,9
Мощность глин $m_g$	$5,1 \pm 5,1$	$10,0 \pm 5,4$	$6,1 \pm 4,1$	$3,88 \pm 2,6$	$2,3 \pm 2,2$
	0 – 16,3	0 – 24,1	0 – 14,7	0 – 13,1	0 – 11,1
Общая мощность пласта $m_o$	$8,4 \pm 6,2$	$14,4 \pm 5,6$	$15,6 \pm 4,6$	$19,6 \pm 5,3$	$14,1 \pm 5,9$
	1 – 20,0	0,7 – 29,9	0,4 – 22,2	4,7 – 25,6	2,7 – 20,8
Кэфф. пористости $KP$	$52,9 \pm 27,9$	$36,5 \pm 24,7$	$62,4 \pm 24,8$	$76,8 \pm 15,7$	$85,5 \pm 12,9$
	11,3 – 100,0	9 – 100,0	12,5 – 100,0	25,0 – 100,0	40,0 – 100,0
Кол-во песчаных пропластков $n_p$	$3,7 \pm 2,7$	$5,2 \pm 3,8$	$10,2 \pm 5,5$	$13,8 \pm 4,9$	$12,7 \pm 5,9$
	1 – 15	1 – 22	1 – 23	3 – 27	2 – 23
Кэфф. расчлен. $NI$	$2,4 \pm 0,9$	$2,8 \pm 0,8$	$3,2 \pm 1,2$	$3,2 \pm 1,1$	$2,5 \pm 1,1$
	1 – 5	1 – 5	1 – 7	1 – 7	1 – 5
Абсолют. отметка кровли $H_{кр}$	$-2286,7 \pm 11,14$	$2279,6 \pm 15,4$	$-2275,4 \pm 8,04$	$-2273,9 \pm 11,4$	$-2275,2 \pm 10,3$
	-2303,5 – -2267,7	-2365,7 – -2191,7	-2295,0 – -2257,6	-2380,2 – -2354,6	-2310 – -2257,9
Кэфф. проницаемости $K_{прон}$	$7,0 \pm 3,4$	$25,3 \pm 22,9$	$96,0 \pm 42,4$	$201,8 \pm 41,9$	$308,8 \pm 38,3$
	1 – 14,6	7,5 – 183,3	33,4 – 229,6	100,0 – 313,7	244,2 – 380,0
Интегр. кэфф. неоднор. $KNI$	$29,3 \pm 34,5$	$13,6 \pm 19,4$	$19,2 \pm 20,4$	$22,17 \pm 15,4$	$41,3 \pm 30,1$
	4,6 – 100,0	2,5 – 100,0	3,3 – 100,0	5,1 – 100,0	13,3 – 100,0

Из табл. 1 видно, что по некоторым показателям наблюдается их закономерный рост ( $m_p$ ,  $n_p$ ,  $K_{прон}$ ) или снижение ( $m_r$ ) с увеличением пористости. Для количественной оценки вычислим коэффициенты парной корреляции  $r$  между изученными показателями (табл.2).

Таблица 2

## Корреляционная матрица

	$K_{\text{пор}}$	$m_p$	$m_r$	$m_o$	$KP$	$n_p$	$NI$	$H_{\text{кр}}$	$K_{\text{прон}}$	$KNI$
$K_{\text{пор}}$	1,00	<u>0,96</u>	-0,59	0,74	0,84	<u>0,97</u>	0,39	<u>0,92</u>	<u>0,94</u>	0,36
$m_p$		1,00	-0,66	0,79	0,88	1,00	0,51	<u>0,90</u>	0,88	0,30
$m_r$			1,00	-0,09	-0,93	-0,65	0,17	-0,29	-0,77	-0,84
$m_o$				1,00	0,40	0,79	0,83	<u>0,90</u>	0,50	-0,31
$KP$					1,00	0,87	0,09	0,61	<u>0,92</u>	0,71
$n_p$						1,00	0,50	<u>0,91</u>	<u>0,89</u>	0,30
$NI$							1,00	0,68	0,06	-0,63
$H_{\text{кр}}$								1,00	0,73	-0,01
$K_{\text{прон}}$									1,00	0,65
$KNI$										1,00

Примечание:  $r$  – статистически значимые связи между показателями.

Из табл. 2 видно, что между показателями существуют разнообразные по силе и направленности связи. Например,  $K_{\text{пор}}$  имеет значимые связи с  $m_p$ ,  $n_p$ ,  $H_{\text{кр}}$  и  $K_{\text{прон}}$ . Коэффициент проницаемости зависит от  $K_{\text{пор}}$ ,  $KP$ ,  $n_p$ . С помощью пошагового регрессионного анализа по средним данным в классах построим обобщенную модель определения величин  $K_{\text{прон}}$ :

$$K_{\text{прон}} = 8331,4 K_{\text{пор}} - 21,6 H_{\text{кр}} - 4,0 m_p + 50596,8$$

при  $R = 0,99$ ,  $F_p / F_r = 8055,0 / 3,1$  и  $p < 0,0082$ .

Средние значения  $K_{\text{прон}}$ , вычисленные по данной формуле в исследуемых пяти классах пористости, имеют следующие значения: 7,1; 24,6; 97,1; 200,9 и 309,1  $\text{мкм}^2$ . Если их сравнить со средними значениями, определенными ранее (см. табл.1), то видно, что они практически равны.

Для более полного анализа параметров, влияющих на коллекторские свойства, исследуем их взаимную коррелируемость путем расчета коэффициентов  $r$  в каждом из пяти выделенных классов по пористости (табл.3). При анализе особое внимание было обращено не только на тесноту связей между показателями, но и на те зависимости, где наблюдаются различия коэффициентов корреляции в пределах рассматриваемых классов.

## Корреляционная матрица

Классы по $K_{нор}$	Параметр	$m_p$	$m_i$	$m_o$	$KP$	$n_p$	$NI$	$K_{нор}$	$H_{кр}$	$K_{нр}$
<0,155	$m_p$	1,00	0,13	0,58	-0,001	0,95	0,31	0,24	0,13	0,18
0,156-0,180		1,00	-0,24	0,31	0,43	0,94	0,24	0,31	0,07	0,11
0,181-0,200		1,00	-0,49	0,62	0,60	0,92	0,42	0,38	-0,01	0,13-
0,201-0,215		1,00	-0,54	0,75	0,69	0,88	0,10	0,14	0,32	0,07
>0,215		1,00	0,23	0,92	-0,05	0,92	0,71	-0,34	0,34	-0,39
<0,155	$m_i$		1,00	0,88	-0,82	0,25	0,52	0,11	0,54	0,26
0,156-0,180			1,00	0,84	-0,89	-0,26	0,35	-0,23	0,35	-0,04
0,181-0,200			1,00	0,36	-0,96	-0,45	0,19	-0,20	0,25	0,14
0,201-0,215			1,00	0,13	-0,96	-0,50	0,30	-0,22	-0,07	0,14
>0,215			1,00	0,57	-0,93	0,17	0,57	0,17	0,11	0,10
<0,155	$m_o$			1,00	-0,13	0,66	0,57	0,21	0,50	0,30
0,156-0,180				1,00	-0,64	0,26	0,48	-0,08	0,35	0,02
0,181-0,200				1,00	-0,22	0,58	0,62	-0,22	0,21	0,27
0,201-0,215				1,00	0,07	0,64	0,36	0,01	0,32	0,02
>0,215				1,00	-0,39	0,84	0,82	-0,21	0,33	-0,28
<0,155	$KP$				1,00	-0,13	-0,62	-0,05	-0,35	-0,34
0,156-0,180					1,00	0,43	-0,32	0,28	-0,20	0,01
0,181-0,200					1,00	0,55	-0,07	0,25	-0,17	-0,11
0,201-0,215					1,00	0,63	-0,22	0,21	0,13	-0,17
>0,215					1,00	-0,01	-0,46	-0,22	-0,02	-0,17
<0,155	$n_p$					1,00	0,41	0,33	0,13	0,31
0,156-0,180						1,00	0,23	0,31	0,05	0,09
0,181-0,200						1,00	-0,46	0,33	-0,05	0,10
0,201-0,215						1,00	0,07	0,11	0,25	-0,09
>0,215						1,00	0,67	-0,33	0,37	-0,36
<0,155	$NI$						1,00	0,23	-0,09	0,39
0,156-0,180							1,00	0,05	0,05	0,12
0,181-0,200								1,00	0,13	0,10
0,201-0,215								1,00	-0,18	0,01
>0,215								1,00	-0,13	0,27
<0,155	$H_{кр}$								1,00	0,07
0,156-0,180									1,00	0,10
0,181-0,200									1,00	0,26
0,201-0,215									1,00	0,06
>0,215									1,00	0,15
<0,155	$K_{нр}$									1,00
0,156-0,180										1,00
0,181-0,200										1,00
0,201-0,215										1,00
>0,215										1,00

Анализ табл. 3 показывает, что по ряду показателей коэффициент корреляции в пределах классов изменяется незначительно, например между  $m_p$  и  $n_p$ . В то же время по ряду корреляций наблюдается закономерное их изменение. Это наблюдается при сопоставлении  $m_p$  и  $m_o$ ,  $KP$  и  $m_i$ ,  $m_o$  и  $n_p$ ,  $K_{нр}$  и

$n_p$ ,  $K_{пор}$  и  $K_{прон}$ . Кроме этого, наблюдаются такие распределения  $r$  по классам, где коэффициенты отличаются между собой значительно. Это относится к корреляциям  $H_{кр}$  с  $m_p$ , для которых более сильные связи характерны для интервалов по  $K_{пор} > 0,200$ , а также  $n_p$  и  $K_p$ , где более высокие корреляции наблюдаются в интервалах 0,156-0,215. Также имеются варианты, когда при минимальных и максимальных значениях пористости фиксируются отличия по  $r$  от их значений в интервале 0,156-0,215 ( $m_r$  и  $m_p$ ,  $m_p$  и  $KP$ ,  $K_{пор}$  и  $m_r$ ).

Для прогнозирования  $K_{пор}$  и  $K_{прон}$  по изучаемым показателям нами построены уравнения регрессии, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Корреляционные зависимости

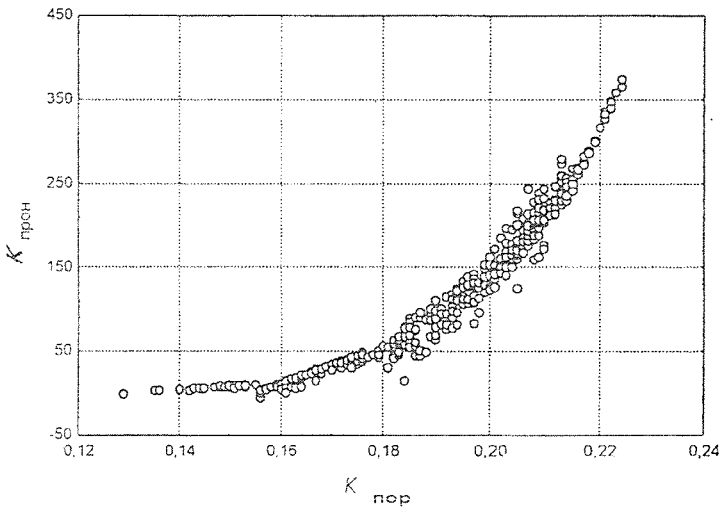
№ п/п	Уравнения связи: верхнее – по пористости, нижнее – по проницаемости	Коэффициенты корреляции	Значимость коэффициента корреляции по критерию $t$
1	$K_{пор} = 0,132 + 0,00647 m_p$ $K_{прон} = -85,66 + 25,409 m_p$	$r = 0,96$ $r = 0,87$	$t_p > t_t$ $t_p < t_t$
2	$K_{пор} = 0,220 - 0,0062 m_r$ $K_{прон} = 310,95 - 33,55 m_r$	$r = -0,61$ $r = -0,79$	$t_p < t_t$ $t_p < t_t$
3	$K_{пор} = 0,093 + 0,00674 m_o$ $K_{прон} = -139,6 + 19,263 m_o$	$r = 0,74$ $r = 0,49$	$t_p < t_t$ $t_p < t_t$
4	$K_{пор} = 0,105 + 0,00129 KP$ $K_{прон} = -250,9 + 6,0263 KP$	$r = 0,85$ $r = 0,92$	$t_p < t_t$ $t_p > t_t$
5	$K_{пор} = 0,128 + 0,00634 NP$ $K_{прон} = -99,82 + 24,901 NP$	$r = 0,96$ $r = 0,88$	$t_p > t_t$ $t_p > t_t$
6	$K_{пор} = 11,904 + 0,00514 H_{кр}$ $K_{прон} = 40367 + 1,663 H_{кр}$	$r = 0,91$ $r = 0,73$	$t_p > t_t$ $t_p < t_t$
7	$K_{пор} = 0,159 + 0,00108 KVI$ $K_{прон} = -33,10 + 56,648 KVI$	$r = 0,39$ $r = 0,15$	$t_p < t_t$ $t_p < t_t$

Отсюда видно, что  $K_{пор}$  можно определять по  $m_p$ ,  $NP$ , а  $K_{прон}$  по  $KP$ . Кроме этого, было подмечено, что на более высоких абсолютных отметках наблюдается улучшение коллекторских свойств: повышаются значения  $m_p$ ,  $NP$ ,  $K_{прон}$  и  $K_{пор}$ .

Все вышеизложенное позволило построить многомерные модели для определения среднего  $K_{прон}$  для пласта БС<sub>10</sub><sup>2</sup> (табл.5).

## Модели прогноза коэффициентов проницаемости

№ п/п	Интервал применения модели по $K_{пор}$	Множествен. коэффициент корреляции	Многомерные уравнения регрессии	$F_p/F_T$
1	<0,155	0,79	$K_{прон} = 375,56 K_{пор} - 0,0371 KP - 46,42$	22,1/2,2
2	0,156 - 0,180	0,63	$K_{прон} = 2289,2 K_{пор} - 0,1609 KP - 351,72$	33,7/2,1
3	0,181 - 0,200	0,74	$K_{прон} = 5158,28 K_{пор} - 1,1718 KP + 5,9400 NI + 0,7528 H_c - 4,5777 m_r + 903,14$	28,0/5,1
4	0,201 - 0,215	0,79	$K_{прон} = 8072,28 K_{пор} - 2,6658 KP + 0,3457 H_c - 8,6050 m_r + 2,0324 m_p - 482,49$	61,4/5,2
5	> 0,215	0,91	$K_{прон} = 13115,21 K_{пор} - 0,5990 m_o - 2560,82$	66,4/2,2

Рис.2. Корреляционное поле между  $K_{пор}$  и расчетным  $K_{прон}$ 

Из табл. 5 видно, что кроме  $K_{пор}$  в построенных моделях всегда присутствуют и другие характеристики пласта. При малых и больших значениях  $K_{пор}$  дополнительно присутствует по одному показателю. При  $0,181 < K_{пор} < 0,215$  на  $K_{прон}$  начинает оказывать влияние гипсометрическое положение пласта и его глинистость. При этом, как показывают знаки уравнений,  $m_r$  уменьшает повышенное гипсометрическое положение пласта, увеличивает проницаемость.

На рис. 2 приведено сопоставление  $K_{пор}$  с  $K_{прон}$ , определенное по построенным моделям, из которого видно, что полностью нелинейность устранить не удалось, но вариации значений стали значительно ниже ( $r=0,96$ ,  $t_p > t_i$ ).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при определении  $K_{прон}$  кроме использования средней величины  $K_{пор}$  необходимо привлекать дополнительные показатели.

Получено 11.12.2000

УДК 622.245.122

Г. М. Толкачев, А. М. Шилов, А. С. Козлов, В. П. Болотов  
Пермский государственный технический университет

### РАСШИРЯЮЩИЙСЯ ТАМПОНАЖНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ КОНДУКТОРОВ В СКВАЖИНАХ НА ТЕРРИТОРИИ ВКМКС

Для повышения качества крепления кондукторов в скважинах на территории ВКМКС разработан состав расширяющегося тампонажного материала. По результатам испытаний успешность работ составила 100%.

В настоящее время из недр территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) ведется добыча солей и нефти, залегающей в подсолевых отложениях.

Разработка каменной и калийно-магниевых солей ведется подземным способом. Добыча ископаемых солей таким способом связана с потенциальной опасностью проникновения флюидов из надсолевого водоносного комплекса к разрабатываемой толще солей по горным выработкам, сообщающим соляной массив с дневной поверхностью. Это, в свою очередь, может привести к безвозвратной потере части запасов калийно-магниевых солей или даже затоплению и гибели рудника [1].

К таким горным выработкам относятся и скважины различного назначения. При строительстве нефтяных скважин на территории ВКМКС вскрываются надсолевые отложения, характеризующиеся наличием вод различного состава и степени минерализации, безводная часть разреза (соляная толща, глинисто-доломитоангидритовая пачка) и подсолевые отложения с наличием высокоминерализованных вод. Воды над- и подсолевых комплексов являются напорными по отношению к солесодержащей части разреза.

Очевидно, что каждая пробуренная на территории ВКМКС глубокая скважина является потенциальным каналом для поступления флюидов из над- и подсолевого водоносных комплексов в солесодержащую часть разреза, увеличивая тем самым риск потери балансовых запасов калийно-магниевых солей.