

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА НЕФТЕМАТЕРИНСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ КОГАЛЫМСКОГО И ПОКАЧЕВСКОГО РЕГИОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

С.А. Лац, И.А. Пантелейко

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПнефть» в г. Тюмени,  
Тюмень, Россия

В условиях усложнения поисков месторождений нефти и газа на территории Когалымского и Покачевского регионов Западной Сибири всё большее экономическое значение приобретает создание более совершенных моделей для оценки качества нефтематеринского потенциала пород. На этой территории накоплен определенный фактический материал по качеству нефтематеринского потенциала пород. На данном статистическом материале можно опробовать методику построения моделей для оценки качества нефтематеринского потенциала пород по характеристикам рассеянного органического вещества (РОВ). Особенностью данной методики является то, что будут использованы те показатели, которые всегда имеются в распоряжении производителей. При этом необходимо отметить, что данные показатели будут использоваться комплексно, что является залогом высокой надежности построенных вероятностно-статистических моделей прогноза качества нефтематеринского потенциала пород.

Данная методика прогноза может быть реализована в условиях определенной изученности территории. Здесь необходимо отметить, что все исследованные пробы должны быть охарактеризованы одними и теми же показателями. Это обстоятельство позволяет строить вероятностно-статистические модели, которые практически можно будет использовать при оценке качества нефтематеринского потенциала пород по всей территории исследований. С помощью данной методики можно будет оценивать качество нефтематеринского потенциала пород на территории Когалымского и Покачевского регионов Западной Сибири. Выделение наиболее перспективных по качеству нефтематеринского потенциала пород участков предлагается производить с помощью построения геолого-математических моделей прогноза. При помощи анализа характеристик РОВ будут количественно определены те, которые реально формируют нефтематеринский потенциал пород. Отличительной особенностью данной работы является то, что при построении моделей на первом этапе будут использоваться не сами показатели, которые имеют различные размерности, а вероятности, вычисленные по ним. Для этого будут построены уравнения регрессии, по которым и будут вычислены вероятности.

По значениям вероятностей с использованием пошаговых линейного дискриминантного и многомерного регрессионного анализа будет разработан комплексный вероятностный критерий. Данный критерий в дальнейшем будет использован для построения многомерной модели уже непосредственно для оценки качества нефтематеринских пород.

**Ключевые слова:** нефтематеринский потенциал пород, характеристики рассеянного органического вещества, метод Rock-Eval, статистические классификации пород, схема нефтематеринского потенциала пород.

## DEVELOPING MODELS FOR EVALUATION OF QUALITY OF OIL SOURCE ROCK POTENTIAL (THE CASE OF KOGALYMSKY AND POKACHEVSKY REGIONS, WEST SIBERIA)

S.A. Lats, I.A. Panteleiko

Branch of LLC "LUKOIL-Engineering" "KogalymNIPneft" in Tyumen,  
Tyumen, Russian Federation

As oil and gas search in the Kogalymsky and Pokachevsky regions of West Siberia gets more complicated, development of advanced models to evaluate quality of oil source rock potential acquires an increasing economic value. There are some factual data on the quality of oil source rock potential for these areas. These statistics may be made use of to test a method of producing a model to evaluate oil source rock potential using parameters of dispersed organic matter. This technique features input of data always available for developers. It has to be stressed that such data will be processed in a complex manner, which guarantees high fidelity of probability-statistical models to forecast oil source rock potential.

This technique requires the certain state of exploration of the area. It is worth mentioning that all the samples should have the same parameters. This allows building probability-statistical models which may have practical usage to evaluate oil source rock potential of the whole exploration area. By this method the quality of oil source rock potential of the Kogalymsky and Pokachevsky regions of West Siberia may be evaluated. Selection of the most prospective plots in terms of oil source rock potential is performed by geologic-mathematical forecast models. An analysis of dispersed organic matter produces numeric results to select the zones that actually make oil source rock potential. One feature of the research is processing probabilities at the first stage instead of the parameters of different dimensions. To achieve this regression equations will be formulated to calculate probability.

Drawn on the probabilities values with recursive linear discriminatory and multidimensional regression analysis an integrated probabilistic criterion will be developed. This criterion will then be used to produce a multidimensional model immediately for evaluation of oil source rock potential.

**Keywords:** oil source rock potential, parameters of dispersed organic matter, Rock-Eval method, statistic classifications of rock, scheme of oil source rock potential.

### Введение

В условиях нарастающей освоенности территории Когалымского и Покачевского регионов Западной Сибири всё большее экономическое значение приобретает создание более совершенных моделей и методов оценки качества нефтематеринского потенциала пород, учитывающих характеристики РОВ. Эффективность этих моделей и методов во многом зависит от использования тех характеристик рассеянного органического вещества (РОВ), которые контролируют их нефтематеринский потенциал.

В старых нефтедобывающих регионах накоплен огромный фактический материал по характеристикам РОВ. Комплексное использование геолого-геохимической информации в связи с разработкой методики качества нефтематеринского потенциала пород позволяет наиболее оптимально размещать объемы поисковых работ. Решение таких задач возможно только путем построения комплексных вероятностно-статистических моделей, учитывающих характеристики РОВ. Методические вопросы построения статистических моделей приведены в работах [1–11]. Примеры использования вероятностно-статистических оценок для прогноза различных явлений при поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа достаточно детально описаны в работах [2–11]. Математические аппараты и возможности их использования для решения различных прогнозных задач приведены в работах [2–16]. Для решения данной задачи на территории Когалымского и Покачевского ре-

гионов использованы характеристики РОВ, изученные в 29 скважинах по 908 пробам с помощью пирометрического метода в варианте Rock-Eval. При данном методе определяются следующие показатели:  $C_{орг}$  – содержание органического углерода;  $S_1$  – часть исходного ОВ, образующегося в зоне катагенеза;  $S_2$  – часть исходного ОВ, которая не была трансформирована в УВ в природных условиях;  $T_{max}$  – фиксируемая температура, соответствует максимуму скорости выделения УВ в пике  $S_2$ . Сумма  $S_1$  и  $S_2$  является количественной мерой суммарного нефтегазогенерационного потенциала материнских отложений. В табл. 1 приведена классификация пород по  $C_{орг}$ ,  $S_1$  и  $S_2$  по Н.В. Лопатину (1997).

При оценках используют отношение  $S_2$  к  $C_{орг}$ , называемое водородным индексом  $HI$ , и отношение  $S_1$  к  $(S_1 + S_2)$ , называемое индексом продуктивности  $PI$ . На территориях Когалымского и Покачевского регионов изучались следующие породы: аргиллиты, песчаники, угли и алевролиты. Средние значения изучаемых характеристик для этих пород приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что имеется значительное изменение рассматриваемых характеристик для различных типов пород. С целью возможного использования типов пород для оценки качества НГМП использовались следующие ранговые оценки: 1 – аргиллиты, 2 – песчаники, 3 – угли, 4 – алевролиты. Представленные выше литологические разности пород в основном (59,2 %) отобраны из баженовской свиты.

Таблица 1

Качественная классификация пород

Качество нефтегенерационного потенциала материнской породы (НГМП)	Показатели		
	$C_{орг}$ , вес. %	$S_1$ , мг УВ/г $C_{орг}$	$S_2$ , мг УВ/г $C_{орг}$
Плохое	< 0,5	< 0,5	< 2,5
Удовлетворительное	0,5–5,0	0,5–3,0	2,5–25
Отличное	> 5,0	> 3,0	> 25

Таблица 2

Характеристики пород

Характеристики пород	Породы			
	Аргиллиты	Песчаники	Угли	Алевролиты
$H$ , м	2977,1±212,9	2873,6±147,1	3127,7±192,3	3048,4±212,5
$C_{орг}$ , вес. %	7,98±7,33	0,99±1,77	71,42±18,35	1,71±1,36
$S_1$ , мг УВ/г $C_{орг}$	3,56±7,33	1,55±1,77	11,97±18,35	0,38±1,36
$S_2$ , мг УВ/г $C_{орг}$	35,19±36,25	4,01±5,25	185,68±63,38	3,47±6,31
$S_1 + S_2$ , мг УВ/г $C_{орг}$	38,68±38,50	5,56±5,69	197,65±63,81	3,86±6,69
$T_{max}$ , °C	440,25±7,89	434,61±8,47	435,67±8,15	439,75±5,24
$HI$ , мг УВ/г $C_{орг}$	324,13±197,36	222,04±197,90	261,96±65,81	129,80±99,08
$PI$ , отн. ед.	0,115±0,085	0,343±0,170	0,063±0,016	0,116±0,065

**Построение комплексных моделей для оценки качества нефтематеринского потенциала пород**

При оценке качества НГМП в случае использования одного из вышеприведенных критериев невозможно однозначно выполнить классификацию пород. Выясним это с помощью пошагового линейного дискриминантного анализа (ПЛДА). Для учета суммарного различия исследуемых показателей на классы по распределению по площади коллекторов используем ПЛДА. Возможности использования данного метода для решения аналогичных задач приводятся в работах [1–10, 12–16]. Возможность построения линейной дискриминантной функции (ЛДФ) сводится к следующему. Если обозначить через  $X_{ij}$  значение переменной с номером  $i$  в точке наблюдения с номером  $j$ , взятой из выборки с плохим качеством нефтематеринского потенциала, то в результате может быть получена матрица  $W_1$  порядка  $m$  и  $n_1$  результатов наблюдений над этой выборкой:

$$W_1 = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n_1} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn_1} \end{bmatrix}$$

Обозначим через  $X_{ij}^1$  результат измерения переменной с номером  $i$  в точке с номером  $j$ , взятой из выборки из скважин с удовлетворительным качеством нефтематеринского потенциала, получим матрицу  $W_2$  порядка  $m \times n_2$ :

$$W_2 = \begin{bmatrix} X_{11}^1 & X_{12}^1 & \dots & X_{1n_2}^1 \\ X_{21}^1 & X_{22}^1 & \dots & X_{2n_2}^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1}^1 & X_{m2}^1 & \dots & X_{mn_2}^1 \end{bmatrix}$$

Обозначим через  $X_{ij}^2$  результат измерения переменной с номером  $i$  в точке с номером  $j$ , взятой из выборки из скважин с отличным качеством нефтематеринского потенциала. В результате получим матрицу  $W_3$  порядка  $m \times n_2$ :

$$W_3 = \begin{bmatrix} X_{11}^2 & X_{12}^2 & \dots & X_{1n_2}^2 \\ X_{21}^2 & X_{22}^2 & \dots & X_{2n_2}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1}^2 & X_{m2}^2 & \dots & X_{mn_2}^2 \end{bmatrix}$$

где  $m$  – число показателей;  $n_1, n_2, n_3$  – объем выборки.

Для построения ЛДФ составляются матрицы центрированных сумм квадратов и смещенных произведений, по ним вычисляется выборочная матрица.

Далее для определения коэффициентов линейной дискриминантной функции находится обратная выборочная ковариационная матрица – матрица  $C$ .

Затем вычисляются граничные значения дискриминантных функций  $R_0$ , которые делят выборку на три подмножества.

Надежность классификации определяются с помощью критериев Пирсона, Фишера и расстояния Махаланобиса.

В качестве классификаторов будем последовательно использовать  $C_{орг}$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ . По классификатору  $C_{орг}$  разделим выборку на три класса (плохое, удовлетворительное и отличное качество НГМП) и построим линейные дискриминантные функции:

$$Z_1^1 = -10,3813 + 0,2087S_1 + 0,0059HI + 4,0384PI + 0,0123S_2 - 0,1766R_{lit} - 0,0005H + 0,0197T_{max},$$

при  $R = 0,889$ ,  $\chi^2 = 1546,060$ ,  $p = 0,00$ .

$$Z_1^2 = 4,91861 + 0,20807S_1 - 0,00254HI - 8,78025PI - 0,00545S_2 - 0,02604R_{lit} + 0,00217H - 0,02288T_{max},$$

при  $R = 0,376$ ,  $\chi^2 = 138,092$ ,  $p = 0,00$ .

Соотношения между  $Z_1^1$  и  $Z_1^2$  приведены на рис. 1, из которого видно, что имеется пересечение полей с различным качеством НГМП.

Аналогичные ЛДФ построены, когда в качестве классификаторов использованы  $S_1$  и  $S_2$ . Здесь также имеются пересечения полей, выделенных по НГМП классов пород.

Исходя из этого далее в качестве классификаторов были использованы совместно три критерия ( $C_{орг}$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ) и с помощью ПЛДА путем перебора построены такие ЛДФ, которые полностью разделили выборку на три класса по качеству НГМП. Эти ЛДФ имеют следующий вид:

$$Z_1 = 24,69717 - 0,01032HI + 4,08179PI - 0,14885S_1 + 0,02017S_2 - 0,09262C_{орг} + 0,21016R_{lit} + 0,00207H - 0,06333T_{max},$$

при  $R = 0,921$ ,  $\chi^2 = 2705,235$ ,  $p = 0,00$ .

$$Z_2 = -13,3515 + 0,0006HI + 18,2475PI - 0,1190S_1 + 0,0207S_2 + 0,001C_{орг} - 0,2139R_{lit} - 0,0024H + 0,0407T_{max},$$

при  $R = 0,819$ ,  $\chi^2 = 1004,259$ ,  $p = 0,00$ .

Соотношения между  $Z_1$  и  $Z_2$  приведены на рис. 2.

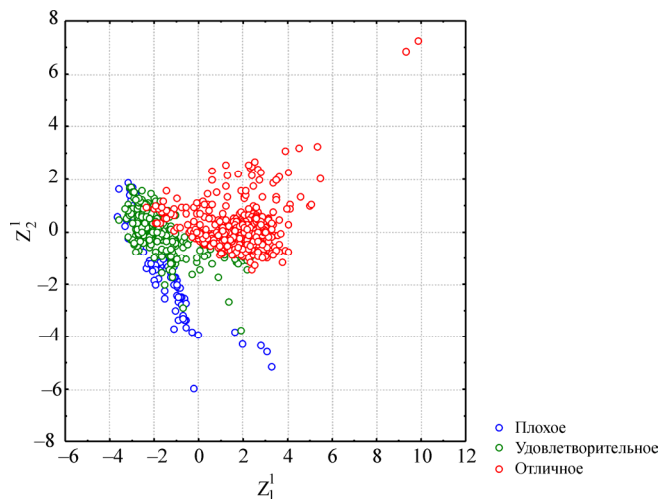


Рис. 1. Соотношение  $Z_1^1$  и  $Z_1^2$  по классификатору  $C_{орг}$  по комплексу данных

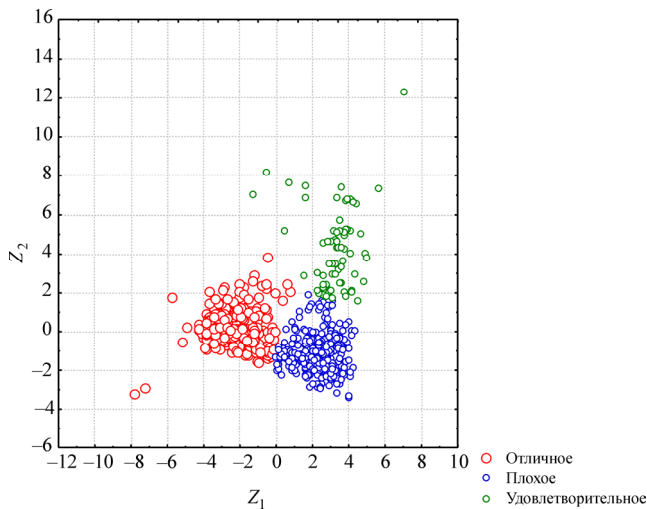


Рис. 2. Соотношение  $Z_1$  и  $Z_2$  по трем классам пород относительно НГМП

Из рис. 2 видно, что корреляционные поля исследуемых пород не перекрываются. Отметим, что по ЛДФ наиболее сильно различаются породы, принадлежащие к отличному и плохому качеству НГМП. В связи с тем, что количество образцов с удовлетворительным качеством составляет всего 8 %, в дальнейшем при разработке моделей будем использовать выборку, состоящую из двух классов, соответствующих породам отличного и плохого качества. Для этого будем использовать метод условных комплексных вероятностей. Возможности использования метода условных комплексных вероятностей для решения аналогичных геологических задач приведены в работах [1, 6, 11].

Для применения данного метода на первом этапе статистической обработки для эталонных участков с отличными и плохими нефтегазоматеринскими условиями строятся гистограммы для всех имеющихся геохимических параметров. Оптимальные величины интервалов значений параметров вычисляются по формуле Стерджесса:

$$\Delta X_j = \frac{X_{j\max} - X_{j\min}}{1 + 3,32 \cdot \lg N},$$

где  $X_{j\max}$  – максимальное значение  $j$ -го параметра;  $X_{j\min}$  – минимальное значение  $j$ -го параметра;  $N$  – объем выборки.

Затем в каждом интервале и для каждого параметра определяются частоты:

$$P(X_j/W_q) = \frac{n_k}{n_q},$$

где  $P(X_j/W_q)$  – частность в  $k$ -м интервале для группы  $W_q$  ( $q = 1$  – соответствует эталонной зоне с отличными нефтегазоматеринскими условиями, а  $q = 2$  – с плохими);  $n_k$  – число случаев содержания параметра  $X_j$  в  $k$ -м интервале;  $n_q$  – объем выборки для эталонной зоны с плохими нефтегазоматеринскими условиями ( $n_q = N/2$ ). Для разработки комплексной модели отнесения пород к классу с отличными нефтегазоматеринскими условиями строятся линейные вероятностные модели. Для построения этих моделей на первом этапе исследований строятся распределения частостей для пород плохого и отличного качества. Примеры распределения частостей для пород плохого и отличного качества по ряду показателей приведены в табл. 3–6.

Информативность исследуемых критериев определялась по критерию Стью-

Таблица 3

Распределение частот для НГМП по  $C_{орг}$ 

Качество НГМП	Интервалы варьирования $C_{орг}$ , вес. %								
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90
Плохое	0,983	0,017	–	–	–	–	–	–	–
Отличное	0,369	0,485	0,088	0,004	0	0,004	0,009	0,019	0,022

Таблица 4

Распределение частот для НГМП по  $S_1$ 

Качество НГМП	Интервалы варьирования $S_1$ , мг УВ/г $C_{орг}$								
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45
Плохое	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Отличное	0,432	0,424	0,137	0,004	–	–	–	–	0,002

Таблица 5

Распределение частот для НГМП по  $S_2$ 

Качество НГМП	Интервалы варьирования $S_2$ мг УВ/г $C_{орг}$								
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–45
Плохое	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Отличное	0,432	0,424	0,137	0,004	–	–	–	–	0,002

Таблица 6

Распределение частот для НГМП по  $HI$ 

Качество НГМП	Интервалы варьирования $HI$ , мг УВ/г $C_{орг}$								
	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800	800–900
Плохое	0,372	0,417	0,165	0,039	0,005	–	–	–	–
Отличное	–	0,006	0,088	0,236	0,295	0,248	0,107	0,012	0,004

дента  $t_p$ . Использование величины  $t_p$  связано с проверкой гипотезы о равенстве выборочных средних значений для зон с отличными и плохими НГМП:

$$t_p = \frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \left( \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)}}$$

где  $X_1, X_2$  – соответственно средние значения признака в пределах отличных и плохих условий НГМП для отложений;  $S_1^2, S_2^2$  – дисперсии признака в пределах отличных и плохих НГМП. Критерий считается информативным, если  $t_p > t_t$ .

Значения  $t_t$  определяются в зависимости от количества эталонных объектов и уровня значимости ( $\alpha = 0,05$ ).

Затем в каждом интервале определяются вероятности принадлежности к классу отличного качества НГМП. Далее интервальные вероятности принадлежности к классу отличного качества НГМП сопоставляются со средними интервальными значениями показателя. Приведем пример вычисления значений  $P(HI)$  по показателю  $HI$ . Первоначально вычисляются средние интервальные значения  $HI_n$  и по ним рассчитываются  $P(HI)_n$ , значения которых приведены ниже.

$H_{и}$ , мг УВ/г $C_{орг}$	50	150	250	350	450	550	650	750	850
$P(H)_{и}$	0,00	0,014	0,347	0,858	0,983	1,000	1,000	1,000	1,000

Т а б л и ц а 7

Характеристики нефтегазоматеринских толщ по качеству НГМП

Характеристики НГМП	Уравнение регрессии для вычисления вероятности отнесения НГМП к отличному качеству	Диапазон применения уравнений регрессии	Средние значения индивидуальных вероятностей		$\frac{l}{P}$
			Отличное качество НГМП	Плохое качество НГМП	
$H$ , м	$P(H) = 3,889 - 0,0011H$	3535–2639	0,683±0,156	0,470±0,266	$\frac{14,396}{0,000000}$
$C_{орг}$ , вес. %	$P(C_{орг}) = 0,434 + 0,0063C_{орг}$	0,09–88,7	0,539±0,108	0,447±0,015	$\frac{15,920}{0,000000}$
$S_1$ , мг УВ/г $C_{орг}$	$P(S_1) = 0,452 + 0,0123S_1$	0,00–44,32	0,528±0,050	0,457±0,008	$\frac{26,476}{0,000000}$
$S_2$ , мг УВ/г $C_{орг}$	$P(S_2) = 0,404 + 0,00202S_2$	0,01–292,20	0,541±0,095	0,412±0,014	$\frac{25,138}{0,000000}$
$S_1 + S_2$ , мг УВ/г $C_{орг}$	$P(S_1 + S_2) = 0,399 + 0,00196(S_1 + S_2)$	0,01–305,49	0,543±0,096	0,408±0,015	$\frac{26,414}{0,000000}$
$T_{max}$ , °C	$P(T_{max}) = 3,451 - 0,0097T_{max}$	375–492	0,512±0,037	0,488±0,068	$\frac{6,747}{0,000000}$
$HI$ , мг УВ/г $C_{орг}$	$P(HI) = 0,236 + 0,000857HI$	4–890	0,629±0,104	0,352±0,065	$\frac{44,119}{0,000000}$
$PI$ , отн. ед.	$P(PI) = 0,486 + 0,14414PI$	0,000–0,830	0,500±0,008	0,499±0,006	$\frac{0,457}{0,647513}$
$R_{lit}$ , ранг	$P(R_{lit}) = 0,683 - 0,1256R_{lit}$	1–4	0,527±0,070	0,488±0,154	$\frac{7,084}{0,000000}$

Отсюда видно, что при увеличении значений  $H_{и}$  величины  $P(H)_{и}$  закономерно повышаются. Всё это предполагает, что между ними может существовать значимая корреляционная связь, которую можно будет использовать для прогноза. Поэтому далее по этим данным высчитывается парный коэффициент корреляции  $r$  и строится уравнение регрессии. При построении моделей выполняется их корректировка из условия, что среднее значение для класса отличного качества НГМП должно быть больше 0,5, а для класса плохого качества НГМП меньше 0,5. Аналогичные расчеты выполнены и по другим изучаемым показателям. Уравнения регрессии и ряд графических представлений соотношений приведены в табл. 7 и рис. 3.

Анализ построенных уравнений регрессии, приведенных в табл. 4, показывает, что по всем показателям при увели-

чении или уменьшении значений изменения вероятностей имеют закономерный вид. Отметим, что в восьми случаях из девяти по критерию Стьюдента они являются информативными. Уравнения регрессии, построенные для оценки качества НГМП, были использованы для обоснования комплексного геохимического критерия  $P_{отл}$ .

С помощью метода условных комплексных вероятностей вычисляется вероятность принадлежности к отличному качеству НГМП по следующей формуле:

$$P_{отл} = \frac{\prod P_{отли}}{\prod P_{отли} + \prod (1 - P_{отли})},$$

где  $P_{отли}$  – соответственно индивидуальные вероятности:  $P(H)$ ,  $P(C_{орг})$ ,  $P(S_1)$ ,  $P(S_2)$ ,  $P(S_1 + S_2)$ ,  $P(T_{max})$ ,  $P(HI)$ ,  $P(PI)$ ,  $P(R_{lit})$ .

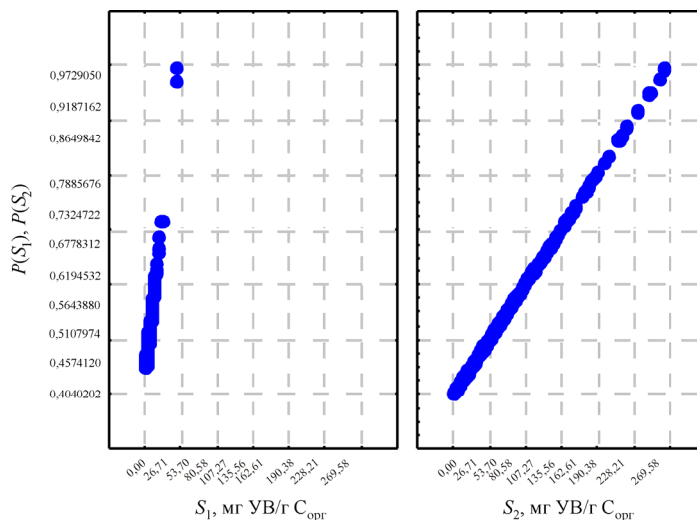


Рис. 3. Зависимости  $P(S_1)$ ,  $P(S_2)$  от  $S_1$ ,  $S_2$

Таблица 8

Оценка наличия пород отличного НГМП

Вероятности	Сочетание вероятностей при различных $m$							
	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(H)$					+	+	+	+
$P(C_{opr})$				+	+	+	+	+
$P(S_1)$	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(S_2)$			+	+	+	+	+	+
$P(S_1 + S_2)$		+	+	+	+	+	+	+
$P(T_{max})$							+	+
$P(HI)$	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(PI)$								+
$P(R_{III})$						+	+	+
Среднее по НГМП отличного качества	0,655	0,687	0,701	0,709	0,822	0,841	0,842	0,843
Среднее по НГМП плохого качества	0,315	0,243	0,186	0,158	0,221	0,191	0,199	0,201
$\frac{t_{1-2}}{p_{1-2}}$	$\frac{56.2663}{0.00000}$	$\frac{65.6564}{0.00000}$	$\frac{57.6332}{0.00000}$	$\frac{56.7363}{0.00000}$	$\frac{52.6213}{0.00000}$	$\frac{54.6493}{0.00000}$	$\frac{51.3904}{0.00000}$	$\frac{51.58861}{0.00000}$
$\frac{\chi^2_{1-2}}{p_{1-2}}$	$\frac{1421.50}{0.00000}$	$\frac{1433.50}{0.00000}$	$\frac{1417.04}{0.00000}$	$\frac{1409.76}{0.00000}$	$\frac{1229.19}{0.00000}$	$\frac{1275.84}{0.00000}$	$\frac{1195.76}{0.00000}$	$\frac{1197.20}{0.00000}$
Процент правильной классификации								
Отличное качество НГМП	97,66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Плохое качество НГМП	99,15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Для решения практических задач будет использоваться такое сочетание индивидуальных вероятностей, при котором средние значения  $P_{отл}$  наиболее сильно отличаются в изучаемых классах при равном значении  $m$ . Статистические характеристики  $P_{отл}$  при разных значениях  $m$  приведены в табл. 8.

Из табл. 5 видно, что при  $m$  от 2 до 9 средние значения  $P_{отл}$  для пород отличного качества НГМП повышаются от 0,655 до 0,843. Для пород плохого качества НГМП средние значения  $P_{отл}$  убывают от 0,315 до 0,158 при изменении  $m$  от 2 до 5, затем, при возрастании  $m$  до 9, они практически не изменяются. Во всех рассмотренных вариантах критерий  $P_{отл}^{m=2..9}$  по  $t$  и  $\chi^2$  является информативным. Правильность распознавания выборки изменяется от 97 до 100 %.

На рис. 4 представлена вероятностная схема критерия  $P_{отл}^{m=3}$ , из которой видно,

что для пород, расположенных в пределах отрицательных структур I порядка, нефтематеринский потенциал значительно выше, чем на положительных структурах. Размеры участков с повышенными значениями  $P_{отл}^{m=3}$  пропорциональны размерам мегапрогибов. Максимальные из них расположены в центральной части Пякупурского мегапрогиба и в западной ветви Яромовского мегапрогиба. Для средних по размерам прогибов, приуроченных к впадинам второго порядка (Имилорский прогиб), значения  $P_{отл}^{m=3}$  значительно ниже.

Минимальные значения  $P_{отл}^{m=3}$  установлены для латеральной зоны транзита УВ (северный склон Сургутского свода). Распределение значений  $P_{отл}^{m=3}$  отличается и для положительных структур I порядка. Так, для пород Вартовского свода наблюдается более высокий НГМП пород по сравнению с Сургутским сводом.

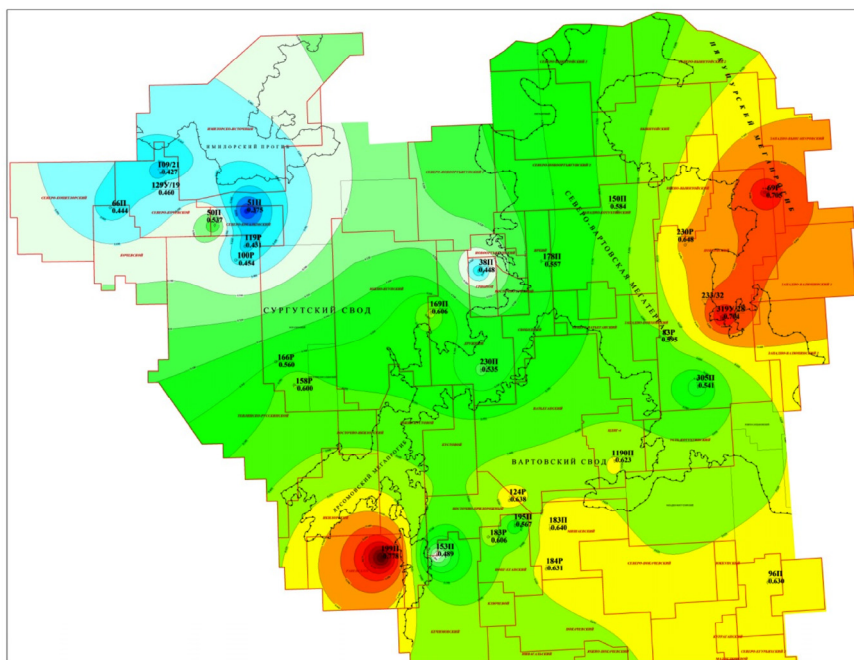


Рис. 4. Вероятностная схема критерия  $P_{отл}^{m=3}$  в пределах лицензионных участков Когалымского и Покачевского регионов

Построенную схему рекомендуется использовать при зональных оценках нефтегазонасности Когалымского и Покачевского регионов.

### Заключение

Наиболее существенные результаты исследований сводятся к следующему:

– построены индивидуальные модели прогноза качества нефтематеринских

толщ территории Когалымского и Покачевского регионов;

– обоснована необходимость построения многомерных статистических моделей для оценки качества нефтематеринских толщ территории Когалымского и Покачевского регионов;

– построена вероятностная схема критерия  $P_{отл}^{m=3}$ .

### Список литературы

1. К методике оценки перспектив нефтегазонасности Соликамской депрессии по характеристикам локальных структур / В.И. Галкин, И.А. Козлова, А.В. Растегаев, И.В. Ванцева, С.Н. Кривошеков, В.Л. Воеводкин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 12–17.
2. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. Построение статистических моделей для прогноза дебитов по верхнеюрским отложениям Когалымского региона // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 52–54.
3. Девонские отложения Пермского Прикамья как одно из перспективных направлений геолого-разведочных работ / Т.В. Белоконь, В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Е. Башкова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 9–10. – С. 24–28.
4. Зональный прогноз нефтегазонасности юрских отложений в пределах территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз» / В.И. Галкин, В.В. Бродягин, А.А. Потрясов, К.Г. Скачек, А.Н. Шайхутдинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 31–35.
5. Оценка коэффициентов извлечения нефти для месторождений Пермского края на основе статистических моделей / С.В. Галкин, Т.Б. Поплаухина, А.В. Распопов, Г.П. Хижняк // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 4. – С. 38–39.
6. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. О возможности прогноза нефтегазонасности юрских отложений вероятностно-статистическими методами (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз») // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 6. – С. 11–14.
7. Потрясов А.А. Применение вероятностных моделей для прогноза нефтегазонасности ачимовских толщ. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 184 с.
8. Кривошеков С.Н., Галкин В.И., Козлова И.А. Определение перспективных участков геолого-разведочных работ на нефть вероятностно-статистическими методами на примере территории Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 4. – С. 7–14.
9. Носов М.А. Определение методики количественной оценки ресурсов углеводородов при региональной геолого-экономическом моделировании территории Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 4. – С. 15–21.
10. Мелкишев О.А., Кривошеков С.Н. Стохастическая оценка прогнозных ресурсов нефти на поисково-оценочном этапе геолого-разведочных работ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 4. – С. 33–40.
11. Соснин Н.Е. Разработка статистических моделей для прогноза нефтегазонасности (на примере терригенных девонских отложений Северо-Татарского свода) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 5. – С. 16–25.
12. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis data. – Boston: MartinusNijhoff Publishing, 1979. – 284 p.
13. Davis C.J. Estimation of the probability of success in petroleum exploration // Mathematical Geology. – 1977. – Vol. 9, № 4. – P. 409–427. DOI 10.1007/BF02047411
14. Kaufman M.G. Statistical issues in the assessment of undiscovered oil and gas resources. – MIT-CEEPR, 1992. – 30 p.
15. Watson G.S. Statistic on spheres. – New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. – 238 p.
16. Unwin D. Introductory spatial analysis. – London: Methuen and Co., Ltd., 1981. – 212 p.

### References

1. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vantseva I.V., Krivoshechekov S.N., Voevodkin V.L. K metodike otsenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoi depressii po kharakteristikam lokal'nykh struktur [On evaluation of oil-and-gas potential of the Solikamskaya depression with local structures parameters]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 12-17.
2. Galkin V.I., Shaikhutdinov A.N. Postroenie statisticheskikh modelei dlia prognoza debitov po verkhneurskim otlozheniam Kogalymnskogo regiona [Building statistical models to forecast outputs in the Upper-Jurassic deposits of the Kogalym region]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2010, no. 1, pp. 52-54.
3. Belokon' T.V., Galkin V.I., Kozlova I.A., Bashkova S.E. Dodevonskie otlozheniia Permskogo Prikam'ia kak odno iz perspektivnykh napravlenii geologo-razvedochnykh rabot [The Pre-Devonian deposits in Prykamye as one of the potential exploration trends]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2005, no. 9-10, pp. 24-28.
4. Galkin V.I., Brodiagin V.V., Potriassov A.A., Skachek K.G., Shaikhutdinov A.N. Zonal'nyi prognoz neftegazonosnosti iurskikh otlozhenii v predelakh territorii deiatel'nosti TPP "Kogalymneftegaz" [Zonal forecast of oil-and-gas content of the Jurassic sediments within the operational area of the Kogalymneftegaz business unit]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2008, no. 8, pp. 31-35.

5. Galkin S.V., Poplauhkina T.B., Raspopov A.V., Khizhniak G.P. Otsenka koeffitsientov izvlecheniia nefiti dlia mestorozhdenii Permskogo kraia na osnove statisticheskikh modelei [Assessment of oil recovery factors for Perm krai deposits by statistical models]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2009, no. 4, pp. 38-39.
6. Galkin V.I., Shaikhutdinov A.N. O vozmozhnosti prognoza neftegazonosnosti iurskikh otlozhenii veroiatnostno-statisticheskimi metodami (na primere territorii deiatel'nosti TPP "Kogalymneftegaz") [About the possibility to forecast oil-and-gas content of the Jurassic sediments by probabilistic-statistical methods (the case of the operational area of the Kogalymneftegaz business unit)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2009, no. 6, pp. 11-14.
7. Potriasov A.A. Primenenie veroiatnostnykh modelei dlia prognoza neftegazonosnosti achimovskikh tolshch [Application of probabilistic models to forecast oil-and-gas content of the Achimovskoe field]. *Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet*, 2006. 184 p.
8. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I., Kozlova I.A. Opredelenie perspektivnykh uchastkov geologo-razvedochnykh rabot na nefi' veroiatnostno-statisticheskimi metodami na primere territorii Permskogo kraia [Locating potentially oil-bearing areas for survey operations by probabilistic-statistical methods by the example of Perm krai]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 4, pp. 7-14.
9. Nosov M.A. Opredelenie metodiki kolichestvennoi otsenki resursov uglevodorodov pri regional'noi geologo-ekonomicheskom modelirovanii territorii Permskogo kraia [On developing a method of quantitative estimation of hydrocarbon reserves in regional geologic-economic simulation of Perm krai]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 4, pp. 15-21.
10. Melkisev O.A., Krivoshchekov S.N. Stokhasticheskaia otsenka prognozykh resursov nefiti na poiskovo-otsenochnom etape geologo-razvedochnykh rabot [Stochastic assessment of forecast oil resources at the survey-evaluation stage of exploration works]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 4, pp. 33-40.
11. Sosnin N.E. Razrabotka statisticheskikh modelei dlia prognoza neftegazonosnosti (na primere terrigenykh devonskikh otlozhenii Severo-Tatarskogo svoda [Development of statistical models to predict oil-and-gas content (the case of the terrigenous Devonian deposits of North-Tatar anticline)]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2012, no. 5, pp. 16-25.
12. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis data. Boston: MartinusNijhoff Publishing, 1979. 284 p.
13. Davis C.J. Estimation of the probability of success in petroleum exploration. *Mathematical Geology*, 1977, vol. 9, no. 4, pp. 409-427. DOI: 10.1007/BF02047411
14. Kaufman M.G. Statistical issues in the assessment of undiscovered oil and gas resources. MIT-CEEPR, 1992. 30 p.
15. Watson G.S. Statistic on spheres. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. 238 p.
16. Unwin D. Introductory spatial analysis. London: Methuen and Co., Ltd., 1981. 212 p.

### Об авторах

**Лац Сергей Анатольевич** (Тюмень, Россия) – начальник центра мониторинга ГРП ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (625000, Россия, г. Тюмень, ул. Республики, 143а; e-mail: LatsSA@tmn.lukoil.com).

**Пантелейко Ирина Анатольевна** (Тюмень, Россия) – ведущий инженер ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (625000, г. Тюмень, ул. Республики, 143а; e-mail: IPanteleyko@nipi.ws.lukoil.com).

### About the authors

**Sergei A. Lats** (Tyumen, Russia) – Head of the Centre for Monitoring of Geologic Exploration Planning, Branch of LLC "LUKOIL-Engineering" "KogalymNIPINeft" in Tyumen (625000, Russian Federation, Tyumen, Respubliki st., 143a; e-mail: LatsSA@tmn.lukoil.com).

**Irina A. Panteleiko** (Tyumen, Russian Federation) – Senior Engineer, Branch of LLC "LUKOIL-Engineering" "KogalymNIPINeft" in Tyumen (625000, Russian Federation, Tyumen, Respubliki st., 143a; e-mail: IPanteleyko@nipi.ws.lukoil.com).

Получено 30.03.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лац С.А., Пантелейко И.А. Построение моделей для оценки качества нефтематеринского потенциала пород (на примере Когалымского и Покачеvского регионов Западной Сибири) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 16. – С. 35–45. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.4

Please cite this article in English as:

Lats S.A., Panteleiko I.A. Developing models for evaluation of quality of oil source rock potential (the case of Kogalymsky and Pokachevsky regions, West Siberia). *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 16, pp. 35-45. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.16.4