

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИГЕННЫХ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ТАТАРСКОГО СВОДА)

Н.Е. Соснин

ОАО «КамНИИКИГС», г. Пермь, Россия

В условиях усложнения поисков месторождений нефти и газа на территории Удмуртии все большее экономическое значение приобретает создание более совершенных моделей для прогноза нефтегазоносности подготовленных и выявленных локальных структур. На территории Северо-Татарского свода накоплен определенный фактический материал как по локальным структурам, содержащим залежи углеводородов, так и по тем структурам, где проведено поисковое бурение, но залежи углеводородов не открыты. На данном статистическом материале можно опробовать методику прогноза нефтегазоносности с помощью построения вероятностно-статистических моделей по характеристикам локальных структур. Особенностью данной методики является то, что в качестве показателей будут использованы те, которые всегда имеются в распоряжении производителей. При этом необходимо отметить, что данные показатели будут применяться комплексно, что является залогом высокой надежности построенных вероятностно-статистических моделей прогноза нефтегазоносности.

Данная методика прогноза нефтегазоносности может быть реализована в условиях определенной изученности территории, т.е. тогда, когда для анализа может быть использовано некоторое количество поднятий, одни из которых содержат углеводороды, другие их в исследуемых отложениях не содержат, т.е. являются пустыми структурами. Здесь необходимо отметить, что все эти поднятия могут быть охарактеризованы одними и теми же показателями, которые можно определить до организации на них глубокого поискового бурения. Данное обстоятельство позволяет строить вероятностно-статистические модели, которые практически можно будет использовать при оценке нефтегазоносности неразбуренных локальных структур. С помощью данной методики можно планировать очередность бурения на локальных поднятиях, что позволит стабилизировать добычу нефти на территории Удмуртии. Выделение наиболее перспективных поднятий в отношении нефтегазоносности предлагается производить с помощью построения геолого-математических моделей прогноза. При помощи анализа характеристик поднятий будут количественно определены те, которые реально формируют нефтегазоносность структур. Отличительной особенностью данной работы является то, что при построении моделей на первом этапе будут использоваться не сами показатели, имеющие различные размерности, а вероятности, вычисленные по ним. Для этого будут построены уравнения регрессии, по которым будут рассчитаны вероятности.

По значениям вероятностей с использованием пошаговых линейного дискриминантного и многомерного регрессионного анализов будет разработан комплексный вероятностный критерий. Данный критерий в дальнейшем будет использован для построения многомерной модели уже непосредственно по самим характеристикам структур. На основании разработанной многомерной статистической модели представляется возможным определить первоочередные структуры, рекомендуемые для проведения глубокого поискового бурения.

Ключевые слова: углеводороды, нефтегазоносность структур, прогноз, уравнения регрессии, корреляционные связи, коэффициент корреляции, информативность показателей, линейный дискриминантный анализ, многомерный регрессионный анализ.

DEVELOPMENT OF STATISTICAL MODELS FOR PREDICTING OIL-AND-GAS CONTENT (ON THE EXAMPLE OF TERRIGENOUS DEVONIAN SEDIMENTS OF NORTH TATAR ARCH)

N.E. Sosnin

KamNIKIGS JSC, Perm, Russian Federation

The economic importance of creation more sophisticated models for the prediction of oil and gas from produced and identified local structures in increasing under the conditions of more complex search for oil and gas in Udmurtia. Some factual material about local structures containing hydrocarbon deposits, and on those structures which conducted exploratory drilling, but deposits of hydrocarbons are not open on the North-Tatar territory are gained. A feature of this method is that, as indicators to be used by those who are always available to producers. It should be noted that these figures will be an integrated, which guarantees high reliability built probabilistic and statistical forecast models of oil and gas.

This technique of forecasting petroleum can be implemented in a specific area of study, that is, when the analysis can be used for a number of lifts, some of which contain hydrocarbons, others into these deposits do not contain, ie are empty structures. It should be noted that all of these uplifts can be characterized by the same parameters, which can be determined before placing them deep exploratory drilling. This fact allows us to construct probabilistic and statistical models that can be practically used in assessing local undeveloped oil and gas structures. With this technique, you can plan the sequence of drilling on local uplifts that will stabilize the oil production in the Republic of Udmurtia. Identification of the most promising raised regarding the proposed oil and gas produce by constructing mathematical models of geological forecast. By analyzing the characteristics of uplifts are quantified ones that actually form the oil and gas structures. A distinctive feature of this work is that the construction of models in the first phase will be used not the indicators with different dimensions, and the probabilities calculated for them. This will be constructed regression equations by which to calculate probabilities.

By the values of the probabilities using stepwise linear discriminant and multivariate regression analyzes will be developed a comprehensive probabilistic criterion. This criterion will be used in the future to build a multidimensional model is directly on the very characteristics of structures. Based on multivariate statistical model developed is impossible to determine the priority structure, recommended for deep exploratory drilling.

Key-words: hydrocarbons, oil-and-gas content of structures, prediction, regression equation, correlation connections, correlation coefficient, indexes informativeness, linear discriminant analysis, multivariate regression analysis.

Введение

В условиях нарастающей освоенности территории Удмуртии все большее экономическое значение приобретает создание более совершенных моделей и методов поисков нефтяных месторождений, учитывающих характеристики локальных структур. Эффективность этих моделей и методов во многом зависит от использования тех характеристик структур, которые контролируют их нефтегазоносность.

В старых нефтедобывающих регионах накоплен огромный фактический материал по характеристикам локальных структур. Комплексное использование геолого-геофизической информации в связи с разработкой методики прогноза нефтегазоносности структур позволит наиболее оптимально размещать поисковые, а в ряде случаев и оценочные скважины. Решение таких задач возможно только путем построения комплексных вероятностно-статистических моделей структур, учитывающих особенности их геологического строения и нефтегазоносности. Для этого необходимо изучить влияние характеристик структур на нефтегазоносность. Методические вопросы построения статистических моделей нефтегазоносности по характеристикам самих локальных поднятий приведены в работе [1]. Примеры использования вероятностно-статистических оценок для прогноза различных явлений при поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа достаточно детально описаны в работах [7–15]. Различные математические аппараты и возможности их использования для решения прогнозных задач приведены в работах [2–18].

При разработке вероятностных моделей для прогноза нефтегазоносности структур по локальным критериям были использованы следующие показатели: площадь ловушки S , амплитуда ловушки A и интенсивность ловушки $A/S^{1/2}$, размеры длинной и короткой осей структур L_d, L_k ,

наикратчайшее расстояние от геометрического центра структуры до ближайшего разлома $L_{\text{разл}}$, абсолютные отметки кровли пласта $H_{\text{кр}}$, абсолютные отметки подошвы пласта $H_{\text{под}}$, общая мощность пласта M_o , эффективная мощность пласта $M_{\text{эф}}$, коэффициент песчаности $K_{\text{пес}}$, коэффициент расчлененности $K_{\text{расч}}$, коэффициент пористости $K_{\text{пор}}$, коэффициент проницаемости $K_{\text{прон}}$. Исследование возможностей построения индивидуальных моделей прогноза нефтегазоносности выполним по вышеприведенным характеристикам поднятий.

Построение индивидуальных моделей для прогноза нефтегазоносности структур

По вышеприведенным показателям, характеризующим особенности локального геологического строения и нефтегазоносности структур, были вычислены средние значения, среднеквадратичные отклонения для нефтяных и «пустых» структур и с помощью критерия t выполнена оценка степени их влияния на нефтегазоносность. Будем считать, что чем больше по критерию t разделяются средние значения, тем более сильно они «контролируют» нефтегазоносность структур. По рассматриваемым показателям на первом этапе локального прогноза были построены индивидуальные вероятностные модели. Рассмотрим их на конкретном примере. Пусть имеется выборка девонских терригенных локальных объектов, которая описана с помощью вышеприведенных характеристик. Относительно этих структур известно, что одни из них принадлежат к 1-му классу (нефтяные структуры), другие – к 2-му классу («пустые» структуры). Построением моделей решается задача отнесения объектов к одному из классов по совокупности (набору) показателей, характеризующих локальный объект. На первом этапе построения индивидуальной вероятностной модели для классов 1 и 2 строятся гистограммы по показателям,

например, S (км²), A (м). Другие показатели также имеют различные размерности (табл. 1), поэтому для приведения используемых показателей в единую систему был использован вероятностный подход. Его применение для решения аналогичных задач приведено в работах [7, 9, 14]. Для всех показателей устанавливали оптимальные величины интервалов варьирования. Затем в каждом интервале определялись вероятности принадлежности к 1-му классу, которые сопоставлялись со средними интервальными значениями показателя. По этим данным высчитывался парный коэффициент корреляции r и строилось уравнение регрессии. При построении моделей выполнялась их корректировка из условия, что среднее значение для 1-го класса должно быть больше 0,5, а для 2-го – меньше 0,5. Уравнения регрессии по всем изучаемым показателям приведены в табл. 1, примеры графических изображений по показателям S и $L_{\text{разл}}$ – на рис. 1.

Проанализируем полученные данные по средним значениям и оценим «работоспособность» построенных моделей, приведенных в табл. 1. Максимальное статистическое различие средних значений по критерию t из данных критериев получено по $A/S^{1/2}$ и S (см. табл. 1). При этом отметим, что статистические различия в средних значениях имеются только по показателю $A/S^{1/2}$: $p = 0,038783 < 0,05$. По остальным показателям статистических различий в средних значениях не наблюдается. Анализ построенных уравнений регрессий показывает, что большинство из них имеет прямой вид и на вероятностном уровне подтверждает наличие влияния изучаемых характеристик на нефтегазоносность структур. Графические изображения соотношений S и $P(S)$, а также $L_{\text{разл}}$ и $P(L_{\text{разл}})$, приведенные на рис. 1, показывают, что в первом случае при увеличении S с 1,2 до 37,0 км² величина $P(S)$ повышается с 0,38 до 0,84, при увеличении $L_{\text{разл}}$ с 0,2 до 21,5 км,

наоборот, уменьшается с 0,52 до 0,37. Эти данные свидетельствуют о том, что показатель S более информативен, чем показатель $L_{\text{разл}}$. Анализ остальных рассмотренных показателей показывает, что во всех случаях выполнено следующее условие: для нефтяных структур средние значения вероятностей больше 0,5, а для пустых структур меньше 0,5. Это указывает на то, что рассматриваемые показатели в том или ином качестве контролируют существование залежей углеводородов в девонских терригенных отложениях. Построенные статистические модели вероятности наличия залежей по проанализированным выше показателям будут использованы для расчетов вероятностей по прогнозным структурам, находящимся на данной территории.

Далее наше исследование предполагает проведение прогнозных оценок с помощью комплексного использования построенных статистических вероятностных моделей. Для совместного их использования будут выполнены расчеты по определению значений условных комплексных $P_{\text{комп}}$.

Построение комплексных моделей для прогноза нефтегазоносности структур

При построении комплексных моделей прогноза дебитов нефти были использованы вероятностно-статистические методы, ранее применяющиеся при решении аналогичных геологических задач и изложенные в работах [11–17].

Для построения наиболее оптимальной модели прогноза с помощью индивидуальных вероятностей вычислим обобщенную вероятность

$$P_{\text{комп}} = \frac{\prod P_{\text{укви}}}{\prod P_{\text{укви}} + \prod (1 - P_{\text{укви}})},$$

где $P_{\text{укви}}$ – соответственно вероятности $P(A_{\text{дi}})$, $P(S_{\text{дi}})$, $P(A_{\text{дi}}/S_{\text{дi}}^{1/2})$, $P(L_{\text{дi}})$, ... $P(K_{\text{прои}})$.

Таблица 1

Статистические модели прогноза нефтегазоносности по морфологическим показателям

Показатель	Статистические характеристики показателей*		Критерии		Верхняя строка – уравнение вероятности принадлежности к классу нефтяных структур; средняя – область применения модели; нижняя – диапазон изменения вероятности
	Нефтяные структуры	Пустые структуры	<i>t</i>	<i>p</i>	
<i>A</i> , м	$\frac{15,6 \pm 6,4}{0,501 \pm 0,057}$	$\frac{15,3 \pm 6,7}{0,499 \pm 0,004}$	0,459680	0,647911	$P(A) = 0,414 + 0,00619 A$ 1–31 м 0,43–0,59
<i>S</i> , км ²	$\frac{13,1 \pm 11,6}{0,539 \pm 0,146}$	$\frac{8,3 \pm 8,8}{0,476 \pm 0,112}$	1,586741	0,119422	$P(S) = 0,371 + 0,01268 S$ 1,2–37,0 км ² 0,38–0,84
<i>A/S</i> ^{1/2}	$\frac{6,5 \pm 2,9}{0,523 \pm 0,092}$	$\frac{5,5 \pm 4,1}{0,476 \pm 0,071}$	2,127359	0,038783	$P(A/S^{1/2}) = 0,235 + 0,04423 A/S^{1/2}$ 2,1–11,0 м/км 0,32–0,72
<i>L_д</i> , км	$\frac{5,2 \pm 3,0}{0,530 \pm 0,151}$	$\frac{4,2 \pm 2,3}{0,483 \pm 0,116}$	1,218732	0,229159	$P(L_d) = 0,271 + 0,04996 L_d$ 1,4–11,5 км 0,34–0,85
<i>L_к</i> , км	$\frac{2,1 \pm 1,1}{0,509 \pm 0,043}$	$\frac{1,7 \pm 1,0}{0,494 \pm 0,042}$	1,202055	0,235494	$P(L_k) = 0,423 + 0,04011 L_k$ 0,6–4,8 км 0,45–0,61
<i>L_{разл}</i> , км	$\frac{2,7 \pm 4,4}{0,502 \pm 0,031}$	$\frac{3,3 \pm 3,9}{0,498 \pm 0,028}$	-0,488081	0,327811	$P(L_{разл}) = 0,522 - 0,0071 L_{разл}$ 0,2–21,5 км 0,37–0,52
<i>H_{кр}</i> , м	$\frac{-1603,0 \pm 78,1}{0,510 \pm 0,070}$	$\frac{-1616,1 \pm 58,9}{0,499 \pm 0,060}$	0,658446	0,513533	$P(H_{кр}) = 2,063 + 0,00097 H_{кр}$ -1716,0 – -1610,9 м 0,37–0,52
<i>H_{под}</i> , м	$\frac{-1673,8 \pm 90,6}{0,500 \pm 0,068}$	$\frac{-1683,0 \pm 68,1}{0,499 \pm 0,051}$	0,398314	0,692214	$P(H_{под}) = 1,777 + 0,00076 H_{под}$ -1806,0 – -1679,4 м 0,40–0,51
<i>M_о</i> , м	$\frac{72,0 \pm 19,5}{0,514 \pm 0,119}$	$\frac{68,4 \pm 18,4}{0,492 \pm 0,112}$	0,650300	0,518733	$P(M_o) = 0,414 + 0,00619 M_o$ 32,5–103,0 м 0,27–0,70
<i>M_{эф}</i> , м	$\frac{35,0 \pm 14,6}{0,495 \pm 0,082}$	$\frac{36,2 \pm 13,1}{0,502 \pm 0,112}$	-0,304799	0,761894	$P(M_{эф}) = 0,298 + 0,00565 M_{эф}$ 12,0–65,2 м 0,36–0,65
<i>K_{нес}</i> , отн. ед.	$\frac{0,479 \pm 0,129}{0,521 \pm 0,103}$	$\frac{0,524 \pm 0,116}{0,485 \pm 0,095}$	-1,26495	0,212262	$P(K_{нес}) = 0,298 + 0,00565 K_{нес}$ 0,280–0,740 отн. ед. 0,31–0,68
<i>K_{расч}</i> , шт.	$\frac{6,7 \pm 2,3}{0,502 \pm 0,044}$	$\frac{6,5 \pm 2,2}{0,499 \pm 0,041}$	0,278765	0,781675	$P(K_{расч}) = 0,376 + 0,01881 K_{расч}$ 3,0–11,0 шт. 0,43–0,58
<i>K_{пор}</i> , %	$\frac{17,6 \pm 2,7}{0,508 \pm 0,042}$	$\frac{18,5 \pm 2,1}{0,494 \pm 0,034}$	-1,25238	0,216762	$P(K_{пор}) = 0,785 - 0,0157 K_{пор}$ 12,0–22,0 % 0,43–0,59
<i>K_{прон}</i> , фм ²	$\frac{219,7 \pm 219,1}{0,505 \pm 0,021}$	$\frac{304,8 \pm 204,5}{0,496 \pm 0,020}$	-1,37143	0,176895	$P(K_{прон}) = 0,527 - 0,0001 K_{прон}$ 3,0–525,0 фм ² 0,47–0,52

Примечание: * в числителе – среднее значение показателя и стандартное отклонение, в знаменателе – среднее значение вероятности и стандартное отклонение.

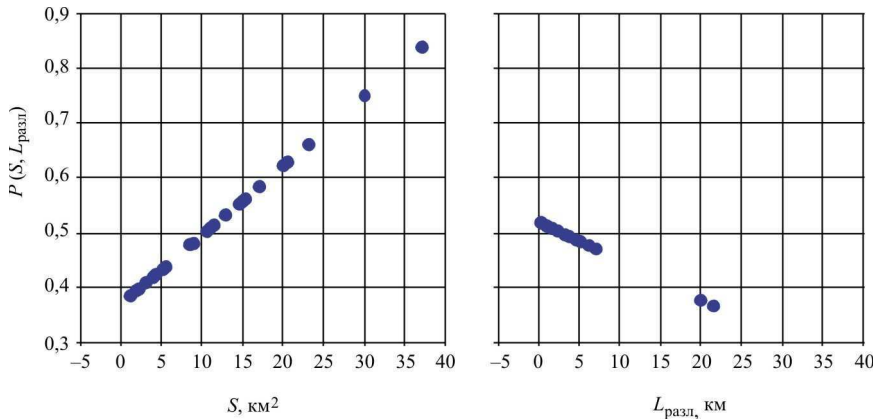


Рис. 1. Соотношения между S и $P(S)$, $L_{\text{разл}}$ и $P(L_{\text{разл}})$

При вычислении $P_{\text{комп}}$ используется такое сочетание вероятностей, при котором средние значения вероятностей $P_{\text{комп}}$ наиболее сильно отличаются в изучаемых классах при равном значении m . Количество сочетаний определяется по следующей формуле:

$$C_m^n = \frac{n!}{m!(n-m)!},$$

где n – количество всех показателей, равное 14.

Величины этих вероятностей при разных значениях m приведены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что при $m = 2$ использовались вероятности $P(S)$ и $P(A/S^{1/2})$, при этом средние значения $P_{\text{комп}}(m=2)$ по критерию t являются статистически значимыми. При оценке значимости величины $P_{\text{комп}}(m=2)$ сравнивались плотности распределений вероятностей в изучаемых классах по критерию χ^2 . Возможность такого подхода для решения аналогичных задач приводится во многих работах [8–12]. Таким образом, по критериям t и χ^2 комплексный критерий $P_{\text{комп}}(m=2)$ является информативным. Верность правильного распознавания составила 66 %, при этом 1-й класс распознается хуже, чем 2-й (см. табл. 2). При $m = 3$ к вышеиспользуемым вероятностям присоеди-

лась вероятность $P(K_{\text{прон}})$. Отметим, что и при $m = 3$ критерий $P_{\text{комп}}(m=3)$ является информативным как по критерию t , так и по χ^2 . Верность правильного распознавания составила 64 %, при этом 1-й класс, как и при $m = 2$, распознается хуже, чем 2-й. При увеличении m от 4 до 7 для нефтяных структур средние значения комплексных вероятностей закономерно повышаются с 0,591 до 0,603, далее остаются практически постоянными (см. табл. 2). Для пустых структур при m от 4 до 11 средние значения комплексных вероятностей закономерно уменьшаются от 0,438 до 0,397, далее остаются практически постоянными. Во всех рассмотренных вариантах критерий $P_{\text{комп}}(m=4-14)$ остается информативным. Правильность распознавания по вероятностям, вычисленным по этим данным, составляет 72–58 %, при этом необходимо отметить, что класс нефтяных структур распознается хуже, чем «пустых». При дальнейшем анализе будем использовать $P_{\text{комп}}$ при $m = 4$ как имеющее максимальное правильное распознавание. Для контроля полученных значений вероятностей применим метод пошагового линейного дискриминантного анализа (ПЛДА). Примеры использования ПЛДА для решения подобных геологических задач приведены в работах [8, 9, 14, 15].

Таблица 2

К обоснованию прогноза нефтегазоносности по локальным характеристикам структур

Наименование	Сочетание вероятностей при различных m												
Вероятности	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$P(A)$									+	+	+	+	+
$P(S/D)$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(A/S^{1/2})$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(L_{ij})$					+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(L_k)$						+	+	+	+	+	+	+	+
$P(L_{разл})$													+
$P(H_{кр})$								+	+	+	+	+	+
$P(H_{под})$										+	+	+	+
$P(M_o)$							+	+	+	+	+	+	+
$P(M_{эф})$											+	+	+
$P(K_{нес})$			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(K_{расч})$												+	+
$P(K_{пор})$				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$P(K_{прон})$		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Среднее – 1-й класс	0,568	0,572	0,591	0,597	0,602	0,603	0,597	0,604	0,600	0,604	0,594	0,594	0,594
Среднее – 2-й класс	0,465	0,450	0,438	0,433	0,417	0,413	0,402	0,400	0,397	0,397	0,398	0,400	0,400
t_{1-2}	4,0566	4,263	3,6787	3,3836	2,7062	2,5397	2,4425	2,468	2,3950	2,3749	2,2911	2,2432	2,2284
p_{1-2}	0,0001	0,0000	0,0006	0,0015	0,0095	0,0014	0,018	0,017	0,021	0,021	0,026	0,029	0,030
χ^2_{1-2}	13,8428	15,0481	11,6136	9,9227	6,6511	5,9068	5,7225	5,6951	5,3599	5,2145	4,9546	4,9130	4,8508
p_{1-2}	0,0009	0,0005	0,0000	0,0070	0,0359	0,0521	0,0571	0,057	0,068	0,073	0,083	0,085	0,088
% классификации													
Класс 1	47,36	52,63	57,89	57,89	57,89	52,63	52,63	52,63	47,36	36,84	36,84	36,84	36,84
Класс 2	89,65	82,75	82,75	79,31	72,41	75,86	75,86	75,86	75,86	72,41	75,86	75,86	75,86
Среднее	72,91	70,83	72,91	70,83	66,66	66,66	66,66	66,66	64,58	58,33	60,41	60,41	60,41

В результате реализации ПЛДА были получены следующие линейные дискриминантные функции:

$$Z_1 = 549,94 P(A/S^{1/2}) + 49,34 P(S) + 336,54 P(A) + 575,84 P(H_{кр}) + 1901,27 P(K_{прон}) + 817,97 P(K_{расч}) - 1075,69;$$

$$Z_2 = 496,77 P(A/S^{1/2}) + 18,85 P(S) + 387,00 P(A) + 554,43 P(H_{кр}) + 1859,72 P(K_{прон}) + 801,67 P(K_{расч}) - 101869,69.$$

По данным функциям была определена каноническая функция Z , позволяющая вычислить значения принадлежности к классу нефтяных структур – $P(Z)$. Соотношения между Z и $P(Z)$ приведены на рис. 2.

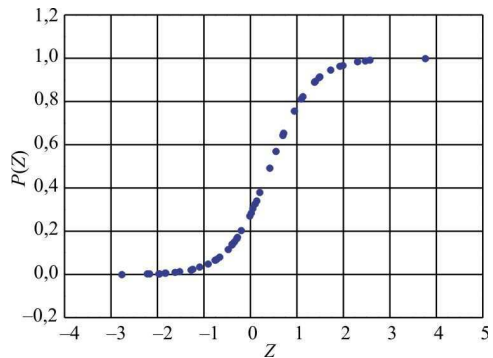


Рис. 2. Зависимость $P(Z)$ от Z

Данные рис. 2 показывают, что при изменении Z от отрицательных значений к положительным величина $P(Z)$ закономерно повышается. Среднее значение Z для 1-го класса скважин равно 1,332; для 2-го – -0,873. Отметим, что среднее

значение $P(Z)$ для 1-го класса скважин составляет $0,755 \pm 0,275$, для 2-го – $0,147 \pm 0,210$. Процент верного распознавания для 1-го класса равен 78,9, для 2-го класса – 92,1, в среднем верное распознавание составляет 87,5 %. Применение методов условных комплексных вероятностей и ПЛДА показывает, что с их помощью действительно можно прогнозировать нефтегазоносность структур.

Значение коэффициента r между $P(Z)$ и $P_{\text{комп}} (m=4)$ равно 0,59.

Анализ соотношения показывает следующее: несмотря на то что связь статистически значимая, наблюдаются значительные отличия в распределении значений $P(Z)$ и $P_{\text{комп}}$. Для совместного учета результатов расчетов, полученных по двум разработанным методикам прогноза, будем использовать пошаговый регрессионный анализ.

В нашем случае в качестве прогнозируемого признака будем рассматривать среднее значение, вычисленное по величинам $P(Z)$ и $P_{\text{комп}} (m=4)$ (комплексный вероятностный критерий – $P_{\text{комп}}$), а в качестве факторов, которые формируют этот критерий – фактические значения используемых показателей $A, S, A/S^{1/2}, L_d, L_k, L_{\text{разл}}, H_{\text{кр}}, H_{\text{под}}, M_o, M_{\text{эф}}, K_{\text{пес}}, K_{\text{расч}}, K_{\text{пор}}, K_{\text{прон}}$. Оценку «работоспособности» разработанного комплексного критерия выполним с помощью критериев t и χ^2 .

Среднее значение $P_{\text{комп}}$ для нефтяных структур – $0,673 \pm 0,179$, для пустых – $0,292 \pm 0,151$, значение критерия $t = 8,021$ при $p = 0,000000$, значение критерия $\chi^2 = 34,412$ при $p = 0,000000$, правильность распознавания составила 87,50 %. Таким образом, можно констатировать, что критерий $P_{\text{комп}}$ можно использовать для разработки многомерной модели прогноза нефтегазоносности в качестве признака, контролирующего нефтегазоносность структур.

Расчет регрессионных коэффициентов в разрабатываемой модели прогноза

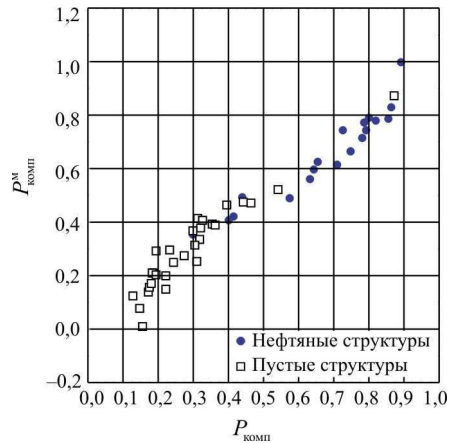


Рис. 3. Поле корреляции между $P_{\text{комп}}$ и $P_{\text{комп}}^M$

выполним при помощи метода наименьших квадратов. В результате реализации данного метода получена формула, которая может быть использована для прогнозных оценок:

$$P_{\text{комп}}^M = 0,963 + 0,031428S + 0,155424 A/S^{1/2} - 0,018211 A - 0,372762 K_{\text{пес}} + 0,002669 H_{\text{кр}} - 0,000077 K_{\text{прон}} + 0,019190 K_{\text{расч}} - 0,003347 M_o - 0,001987 H_{\text{под}} - 0,001987 K_{\text{пор}},$$

при $r = 0,97; p < 0,000000$.

Итак, в модель входят 10 показателей. На первом этапе в модель был включен показатель S ($r = 0,501$), далее на втором этапе показатель $A/S^{1/2}$ ($r = 0,841$), затем A ($r = 0,910$), на 4-м шаге – показатель $K_{\text{пес}}$ ($r = 0,948$). Затем были использованы показатели: $H_{\text{кр}}$ ($r = 0,956$), $K_{\text{прон}}$ ($r = 0,965$), $K_{\text{расч}}$ ($r = 0,970$), M_o ($r = 0,971$), $H_{\text{под}}$ ($r = 0,972$). На заключительном этапе в модель был включен показатель $K_{\text{пор}}$ ($r = 0,973$). Поле корреляции между фактическими ($P_{\text{комп}}$) и модельными ($P_{\text{комп}}^M$) значениями для терригенных девонских пород с учетом их нефтегазоносности приведено на рис. 3.

На рис. 3 видно, что $P_{\text{комп}}$ и $P_{\text{комп}}^M$ хорошо коррелируют между собой ($r = 0,97$). Отметим, что в верхней части графика расположены значения вероятностей, принадлежащие нефтяным, в нижней – «пустым» структурам. Все вышеизложенное

показывает, что разработанную статистическую модель можно использовать при оценке нефтегазоносности локальных структур в девонских терригенных отложениях на территории северного окончания Татарского свода.

Заключение

Наиболее существенные результаты исследований сводятся к следующему:

– построены индивидуальные модели прогноза нефтегазоносности терригенных девонских отложений по характеристикам локальных структур для северной части Татарского свода;

– обоснована необходимость построения многомерных статистических моделей для прогноза нефтегазоносности данных отложений.

Список литературы

1. К методике оценки перспектив нефтегазоносности 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. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis data. – Boston: MartinusNijhoff Publishing, 1979. – 284 p.
3. Davis C.J. Estimation of the probability of success in petroleum exploration // *Mathematical Geology*. – 1977. – Vol. 9, № 4. – P. 409–427.
4. Watson G.S. *Statistic on spheres*. – New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. – 238 p.
5. Unwin D. *Introductory spatial analysis*. – London: Methuen and Co., Ltd., 1981. – 212 p.
6. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. Построение статистических моделей для прогноза дебитов по верхнеюрским отложениям Когалымского региона // *Нефтяное хозяйство*. – 2010. – № 1. – С. 52–54.
7. Додевонские 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.
8. Прогнозная оценка нефтегазоносности структур на территории Соликамской депрессии / В.И. Галкин, А.В. Растегаев, И.А. Козлова, И.В. Ванцева, С.Н. Кривошеков, В.Л. Воеводкин // *Нефтепромысловое дело*. – 2010. – № 7. – С. 4–7.
9. Галкин В.И., Хижняк Г.П. О влиянии литологии на коэффициент вытеснения нефти водой // *Нефтяное хозяйство*. – 2012. – № 3. – С. 70–73.
10. Оценка точности определения прогнозных запасов нефти в пределах Соликамской впадины / А.В. Растегаев, В.И. Галкин, И.А. Козлова, В.Л. Воеводкин, И.В. Ванцева // *Нефтепромысловое дело*. – 2010. – № 7. – С. 8–12.
11. Оценка возможностей определения коэффициентов извлечения нефти по обобщенным статистическим моделям (на примере Пермского края) / В.И. Галкин, С.В. Галкин, А.Н. Аношкин, И.А. Акимов // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. – 2007. – № 10. – С. 51–53.
12. Исследование влияния геолого-технологических показателей на эффективность гидро-разрыва пласта (на примере Повховского месторождения – пласта БВ8) / С.А. Иванов, К.Г. Скачек, В.И. Галкин, А.В. Растегаев, С.А. Шихов // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. – 2009. – № 10. – С. 42.
13. Кривошеков С.Н., Галкин В.И. Построение матрицы элементарных ячеек при прогнозе нефтегазоносности вероятностно-статистическими методами на территории Пермского края // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. – 2008. – № 8. – С. 20–23.
14. Кривошеков С.Н., Галкин В.И., Волкова А.С. Разработка вероятностно-статистической методики прогноза нефтегазоносности структур // *Нефтепромысловое дело*. – 2010. – № 7. – С. 28–31.
15. Шайхутдинов А.Н., Галкин В.И. О возможностях прогноза нефтегазоносности юрских отложений вероятностно-статистическими методами (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз» // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. – 2009. – № 6. – С. 11–14.

16. Путилов И.С., Галкин В.И. Применение вероятностного статистического анализа для изучения фациальной зональности турнейско-фаменского карбонатного комплекса Сибирского месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 9. – С. 112–114.

17. Андрейко С.С. Статистические критерии и результаты оценки закономерностей распределения газодинамических явлений на калийных месторождениях // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2003. – № 4. – С. 45–56.

18. Андрейко С.С., Бикмаева Т.А., Иванов О.В. Разработка математической модели метода прогнозирования внезапных разрушений пород почвы горных выработок при очистной выемке карналлитового пласта в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 4. – С. 191–196.

References

1. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vanceva I.V., Krivovokov S.N., Voevodkin V.L. K metodike ocenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoj depressii po harakteristikam lokal'nykh struktur [Method of assessing the prospects for oil and gas Solikamsk depression on the characteristics of local structures]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 12–17.

2. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis data. Boston: MartinusNijhoff Publishing, 1979. 284 p.

3. Davis C.J. Estimation of the probability of success in petroleum exploration. *Mathematical Geology*. 1977, Vol. 9, no. 4, pp. 409–427.

4. Watson G.S. Statistic on spheres. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. 238 p.

5. Unwin D. Introductory spatial analysis. London: Methuen and Co., Ltd., 1981. 212 p.

6. Galkin V.I., Shaikhutdinov A.N. Postroenie statisticheskikh modelej dlia prognoza debitov po vrkhneiurskim otlozheniiam Kogalym'skogo regiona [Building statistical models to predict flow rates for the Upper Jurassic deposits of the region Kogalym]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2010, no. 1, pp. 52–54.

7. Belokon' T.V., Galkin V.I., Kozlova I.A., Bashkova S.E. Dodevonskie otlozheniia Permskogo Prikam'ia kak odno iz perspektivnykh napravlenii geologorazvedochnykh rabot [Dodevonskie deposits of Perm as one of the promising areas of exploration]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2005, no. 9–10, pp. 24–28.

8. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Kozlova I.A., Vanceva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin V.L. Prognoznoia ocenka neftegazonosnosti struktur na territorii Solikamskoj depressii [Prognostic evaluation of oil and gas structures in the Solikamsk depression]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 4–7.

9. Galkin V.I., Hizhniak G.P. O vlianii litologii na koeffitsient vytesneniia nefi vodoi [About influence of lithology on the coefficient of oil displacement by water]. *Neftiannoe khoziaistvo*, 2012, no. 3, pp. 70–73.

10. Rastegaev A.V., Galkin V.I., Kozlova I.A., Voevodkin V.L., Vanceva I.V. Ocenka tochnosti opredeleniia prognoznykh zapasov nefi v predelakh Solikamskoj vpadiny [Estimation of accuracy of expected oil reserves within Solikamsk Depression]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 8–12.

11. Galkin V.I., Galkin S.V., Anoshkin A.N., Akimov I.A. Otsenka vozmozhnostei opredeleniia koeffitsientov izvlecheniia nefi po obobshchennym statisticheskim modeliam (na primere territorii Permskogo kraia) [Evaluation of options determining the coefficients of the oil recovery in generalized statistical models (on the example of Perm region)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2007, no. 10, pp. 51–53.

12. Ivanov S.A., Skachek K.G., Galkin V.I., Rastegaev A.V., Shikhov S.A. Issledovanie vliianiia geologo-tekhnologicheskikh pokazatelei na effektivnost' gidrorazryva plasta (na primere Povkhovskogo mestorozhdeniia – plasta BV8) [Investigation of the influence of geological and production data on the effectiveness of hydraulic fracturing (for example Povkhovskoye field – bed BV8)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2009, no. 10, pp. 42–45.

13. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I. Postroenie matritsy elementarnykh iacheek pri prognoze neftegazonosnosti veroiatnostno-statisticheskimi metodami na territorii Permskogo kraia [Construction of a matrix of elementary cells for the forecast of oil-and-gas content by probabilistic-statistical methods in Perm region]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2008, no. 8, pp. 20–23.

14. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I., Volkova A.S. Razrabotka veroiatnostno-statisticheskoi metodiki prognoza neftegazonosnosti struktur [The development of probabilistic and statistical techniques for the forecast of oil-and-gas content of structures]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 28–31.

15. Shaikhutdinov A.N., Galkin V.I. O vozmozhnostiakh prognoza neftegazonosnosti i ursskikh otlozhenii veroiatnostno-statisticheskimi metodami (na primere territorii deiatel'nosti TPP «Kogalymneftegaz») [About possibilities of forecast oil and gas potential of the Jurassic deposits of probabilistic and statistical methods (for example, the territory of the Chamber of Commerce «Kogalymneftegaz»]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2009, no. 6, pp. 11–14.

16. Putilov I.S., Galkin V.I. Primenenie veroiatnostnogo statisticheskogo analiza dlia izucheniia fatsial'noi zonal'nosti turne-famenskogo karbonatnogo kompleksa Sibirskogo mestorozhdeniia [The use of probabilistic statistical analysis to study the facies zonation of the tour-Famennian carbonate complex of the Siberian fields]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2007, no. 9, pp. 112–114.

17. Andrejko S.S. Statisticheskie kriteriii rezul'taty ocenki zakonomernostej raspredelenija gazodinamicheskikh javlenij na kalijnykh mestorozhdenijah [Statistical criteria and the evaluation of the distribution of gas-dynamic phenomena in the potash deposits]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2003, no. 4, pp. 45–56.

18. Andrejko S.S., Bikmaeva T.A., Ivanov O.V. Razrabotka matematicheskoi modeli metoda prognozirovaniia v nezapnykh razrushenij porod pochvy gornykh vyrabotok priochistnoy vyemke karnallitovogo plasta v usloviiah Verhnekamskogo mestorozhdeniia kalijnyhsolej [Development of a mathematical model of forecasting method of sudden destruction of the rock soil excavations at recess carnallite sewage reservoir in Verhnekamskoye potash]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2010, no. 4, pp. 191–196.

Об авторе

Соснин Николай Евгеньевич (Пермь, Россия) – заведующий отделом геологии и нефтегазоносности Волго-Урала ОАО «Камский научно-исследовательский институт комплексных исследований глубоких и сверхглубоких скважин» (ОАО «КамНИИКИГС») (614000, г. Пермь, ул. Краснофлотская 15; e-mail: provorov@perm.ru).

About the author

Sosnin Nikolaj Evgen'evich (Perm, Russian Federation) – head of the department for geology and petroleum potential of the Volga-Urals, Kama Research Institute of comprehensive studies in deep and ultra-deep wells (KamNIKIGS JSC) (614000, Perm, ul. Krasnoflotskaja, 15; e-mail: provorov@perm.ru).

Получено ???.2012