



УДК 622.276:553.98.044

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2020

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПО ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯМ В ТОЛЩЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

В.И. Галкин, О.А. Мелкишев, С.В. Варушкин, С.С. Андрейко¹, Т.А. Лялина¹

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

¹Горный институт Уральского отделения Российской академии наук – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (614007, Россия, г. Пермь, Сибирская, 78а)

DEVELOPMENT OF THE STATISTICAL MODEL TO FORECAST OIL AND GAS POTENTIAL ACCORDING TO GAS CONTENT IN THE VERKHNEKAMSKOE DEPOSIT OF POTASSIUM AND MAGNESIUM SALTS

Vladislav I. Galkin, Oleg A. Melkishev, Stanislav V. Varushkin, Segey S. Andreiko¹, Tamara A. Lialina¹

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

¹Mining Institute of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (78a Sibirskaya st., Perm, 614007, Russian Federation)

Получена / Received: 01.10.2019. Принята / Accepted: 10.01.2020. Опубликована / Published: 02.03.2020

Ключевые слова:

прогноз нефтегазоносности, газоносность солей, газодинамические явления, вероятностно-статистические модели, вероятность, Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей, Пермский край.

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей расположено в пределах Предуральского краевого прогиба на территории Соликамской депрессии. В верхней части разреза находится соляная залежь, а ниже ее – множество месторождений нефти и газа.

Известно, что газовый фактор играет основную роль в процессе протекания газовыделений при бурении геолого-разведочных скважин и инициирования газодинамических явлений при подземных горных работах. Для этого были собраны все сведения о газовыделениях, зафиксированных при бурении солеразведочных скважин на территории Верхнекамского месторождения калийных солей, приведенные в архивных данных и отчетах о поисково-оценочных работах. Они были обобщены и использованы для построения вероятностно-статистической модели прогноза нефтегазоносности.

В работе рассмотрено 18 характеристик по 374 скважинам, связанных с мощностью продуктивных пластов солей и их количеством. Сопоставление характеристик производилось при помощи *t*-критерия Стьюдента и критерия Пирсона χ^2 .

На первом этапе строились индивидуальные одномерные вероятностные модели прогноза газоносности. Полученные индивидуальные вероятности являлись основой для получения дискриминантной функции (Z_m) для прогнозирования газоносности в толще солей.

Полученные значения дискриминантной функции Z_m использовались для построения регрессионной модели прогноза нефтегазоносности $P_n(Z_m)$.

По данной зависимости были вычислены значения вероятности $P_n(Z_m)$ по всем 856 изучаемым солеразведочным скважинам, пробуренным для проведения поисковых и разведочных работ.

Средне значение (\pm стандартное отклонение) вероятности для класса в контуре нефтегазоносности составило $0,510 \pm 0,068$ доли ед. Для класса вне контура нефтегазоносности среднее значение составило $0,490 \pm 0,070$ доли ед. Полученные модели позволяют построить схемы прогноза газопроявлений и схему прогноза нефтегазоносности в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей.

Key words:

forecast of oil and gas content, gas content of salts, gas-dynamic phenomena, probabilistic-statistical models, probability, Verkhnekamskoe field of potassium and magnesium salts, Perm region.

The Verkhnekamskoe field of potassium magnesium salts is located within the Pre-Ural foredeep in the territory of the Solikamsk depression. There are a salt deposit located in the upper part of the cross-section and a lot of oil and gas fields below.

It is known that the gas factor plays a major role in the process of gas emission during drilling of exploration wells and the initiation of gas-dynamic phenomena during underground mining. For this, all the data given in archival data and reports on prospecting and evaluation work, on gas emissions recorded during the drilling of prospecting wells in the territory of the Verkhnekamskoe potassium salt deposit were collected. They were generalized and used to build a probabilistic-statistical model for forecasting oil and gas potential.

The paper considers 18 characteristics of 374 wells associated with the productive salt formations. The characteristics were compared using the Student *t*-test and the Pearson criterion χ^2 .

At the first stage, individual one-dimensional probabilistic models for forecasting gas content were built. The obtained individual probabilities were the basis for the discriminant function (Z_m) for predicting gas content in the salt layer.

The obtained values of the discriminant function Z_m were used to build a regression model for predicting the oil and gas potential of $P_n(Z_m)$. According to this dependence, $P_n(Z_m)$ probability values were calculated for all the 856 wells under study that were drilled for prospecting and exploration.

The average value (\pm standard deviation) of the probability for the class in the oil and gas potential was 0.510 ± 0.068 . For the class outside the oil and gas potential, the average value was 0.490 ± 0.070 .

The obtained models allow to construct gas forecast schemes and a petroleum potential forecast scheme within the Verkhnekamskoe potassium salt deposit.

Галкин Владислав Игнатьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии нефти и газа (тел.: +007 219 80 00, e-mail: Vgalkin@pstu.ru).

Мелкишев Олег Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа (тел.: +007 342 219 84 11, e-mail: Melkishev@pstu.ru).

Контактное лицо для переписки.

Варушкин Станислав Владимирович – аспирант кафедры геологии нефти и газа (тел.: +007 219 80 00, e-mail: Stanislav.Varushkin2@lp.lukoil.com).

Андрейко Сергей Семенович – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических процессов и рудничной газодинамики (тел.: +007 342 216 75 02, e-mail: ssa@mi-perm.ru).

Лялина Тамара Александровна – инженер (тел.: +007 342 216 75 02, e-mail: lyalina@mi-perm.ru).

Vladislav I. Galkin (Author ID in Scopus: 55418067700) – Doctor in Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Geology (tel.: +007 342 219 80 00, e-mail: Vgalkin@pstu.ru).

Oleg A. Melkishev (Author ID in Scopus: 55531674700) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Geology (tel.: +007 342 219 84 11, e-mail: Melkishev@pstu.ru). The contact person for correspondence.

Stanislav V. Varushkin – PhD student at the Department of Oil and Gas Geology (tel.: +007 342 219 80 00, e-mail: Stanislav.Varushkin2@lp.lukoil.com).

Segey S. Andreiko (Author ID in Scopus: 119301) – Doctor in Engineering, Professor, Head of Laboratory of Geotechnological Processes and Mine Gas Dynamics (tel.: +007 342 216 75 02, e-mail: ssa@mi-perm.ru).

Tamara A. Lialina (Author ID in Scopus: 569077) – Engineer (tel.: +007 342 216 75 02, e-mail: lyalina@mi-perm.ru).

Введение

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС) расположено в пределах Предуральского краевого прогиба на территории Соликамской депрессии. В верхней части разреза находится соляная залежь, а ниже ее – множество месторождений нефти и газа. Данная территория вызывает значительный интерес при изучении распределения нефтегазоносности в разрезе [1–10].

Известно, что газовый фактор играет основную роль в инициировании и процессе протекания газовыделений при бурении геолого-разведочных скважин и газодинамических явлений при подземных горных работах. Для этого были собраны все сведения о газовыделениях, зафиксированных при бурении солеразведочных скважин на территории Верхнекамского месторождения калийных солей, приведенные в архивах и отчетах о поисково-оценочных работах. Эти данные были обобщены и использованы для построения вероятностно-статистической модели прогноза нефтегазоносности.

Возможности построения геолого-математических моделей для решения различных геологических задач приведены в работах [11–14]. При построении одномерных и многомерных линейных статистических моделей использовались методы математической статистики и теории вероятностей, которые детально описаны в работах как отечественных, так и зарубежных авторов [15–30].

Разработка моделей прогноза газопроявлений в толще ВКМКС

Первоначально для разработки моделей прогноза газовыделений было выполнено сравнение средних значений по площадям [31–45], где наблюдались газопроявления (класс 1), и площадям, где они не наблюдались (класс 2), по обучающей выборке из 374 скважин (рис. 1).

Анализ проводился по следующим характеристикам: $M_{пкс}$ – мощность покровной каменной соли, $M_{калия}$ – мощность от 1-го калийного пропластка до подошвы солей, $N_{пл}$ – количество пластов в разрезе, M_c – мощность соляной толщи, $M_{плк}$ – мощность пласта К, $M_{плИ}$ – мощность пласта И, $M_{плЗ}$ – мощность пласта З, $M_{плЖ}$ – мощность пласта Ж, $M_{плЕ}$ – мощность пласта Е, $M_{плД}$ – мощность пласта Д, $M_{плГ}$ – мощность пласта Г,

$M_{плВ}$ – мощность пласта В, $M_{плБ}$ – мощность пласта Б, $M_{плАБ}$ – мощность пласта АБ, $M_{плА}$ – мощность пласта А, $M_{плК_1}$ – мощность пласта K_1 , $M_{плК_2}$ – мощность пласта K_2 , $M_{плК_3}$ – мощность пласта K_3 , с использованием различных статистических критериев.

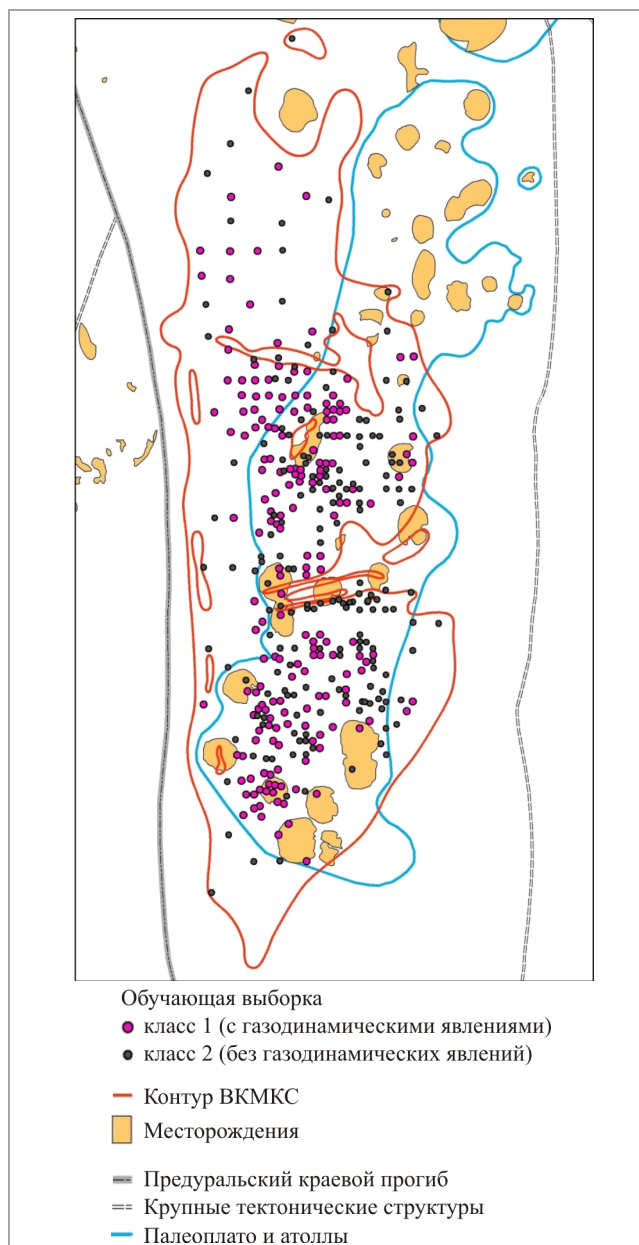


Рис. 1. Схема расположения скважин из обучающей выборки по газодинамическим явлениям

Выполним сравнение распределений с помощью вычисления t -критерия Стьюдента [11] и критерия Пирсона χ^2 .

Исследования заключались в сравнении средних значений показателей и построении вероятностных моделей принадлежности к классу территорий с газопроявлениями (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение средних значений и индивидуальные вероятностные модели по мощностям пластов

Показатель	Статистические характеристики показателей*		Критерий		Уравнение вероятности принадлежности к классу территорий с газопроявлениями	Область применения модели	Диапазон изменения вероятности
	Класс 1. Территории с газопроявлениями (n = 187)	Класс 2. Территория без газопоявлений (n = 187)	$\frac{t}{p}$	$\frac{\chi^2}{p}$			
$M_{\text{пкс}}, \text{ м}$	$22,2 \pm 7,1$ $0,506 \pm 0,063$	$20,3 \pm 6,5$ $0,488 \pm 0,059$	$\frac{2,817}{0,005}$	$\frac{8,585}{0,014}$	$P(M_{\text{пкс}}) = 0,306 + 0,0090 M_{\text{пкс}}$	0,5–76,5 м	0,31–0,99
$M_{\text{калия}}, \text{ м}$	$78,8 \pm 22,6$ $0,531 \pm 0,120$	$64,1 \pm 25,6$ $0,453 \pm 0,135$	$\frac{5,898}{<10^{-5}}$	$\frac{34,253}{<10^{-5}}$	$P(M_{\text{калия}}) = 0,114 + 0,0053 M_{\text{калия}}$	0,5–165,8 м	0,11–0,99
$N_{\text{пл}}, \text{ штук}$	$11,7 \pm 1,8$ $0,523 \pm 0,076$	$10,7 \pm 25,6$ $0,480 \pm 0,135$	$\frac{4,230}{0,00003}$	$\frac{36,188}{<10^{-5}}$	$P(N_{\text{пл}}) = 0,036 + 0,04174 N_{\text{пл}}$	1–13 штук	0,07–0,58
$M_{\text{с}}, \text{ м}$	$100,0 \pm 23,0$ $0,540 \pm 0,124$	$82,0 \pm 27,6$ $0,440 \pm 0,151$	$\frac{6,845}{<10^{-5}}$	$\frac{45,835}{<10^{-5}}$	$P(M_{\text{с}}) = 0,00 + 0,540 M_{\text{с}}$	0,5–185,0 м	0,00–0,99
$M_{\text{плк}}, \text{ м}$	$0,93 \pm 0,41$ $0,501 \pm 0,024$	$0,89 \pm 0,40$ $0,498 \pm 0,151$	$\frac{0,967}{0,334}$	$\frac{1,931}{0,941}$	$P(M_{\text{плк}}) = 0,445 + 0,06011 M_{\text{плк}}$	0,15–2,80 м	0,45–0,61
$M_{\text{плИ}}, \text{ м}$	$1,16 \pm 0,63$ $0,502 \pm 0,032$	$1,08 \pm 0,60$ $0,497 \pm 0,031$	$\frac{1,252}{0,211}$	$\frac{1,895}{<10^{-5}}$	$P(M_{\text{плИ}}) = 0,441 + 0,05141 M_{\text{плИ}}$	0,07–4,70 м	0,44–0,67
$M_{\text{плз}}, \text{ м}$	$0,58 \pm 0,36$ $0,501 \pm 0,013$	$0,62 \pm 0,54$ $0,499 \pm 0,018$	$\frac{-0,628}{0,530}$	$\frac{1,404}{0,496}$	$P(M_{\text{плз}}) = 0,521 - 0,0355 M_{\text{плз}}$	0,05–7,00 м	0,28–0,52
$M_{\text{плж}}, \text{ м}$	$0,80 \pm 0,47$ $0,500 \pm 0,007$	$0,79 \pm 0,35$ $0,499 \pm 0,005$	$\frac{0,243}{0,809}$	$\frac{1,125}{0,570}$	$P(M_{\text{плж}}) = 0,487 + 0,01507 M_{\text{плж}}$	0,10–4,30 м	0,48–0,55
$M_{\text{плЕ}}, \text{ м}$	$8,82 \pm 5,07$ $0,511 \pm 0,069$	$6,68 \pm 4,28$ $0,482 \pm 0,005$	$\frac{4,401}{0,00001}$	$\frac{23,412}{<10^{-5}}$	$P(M_{\text{плЕ}}) = 0,391 + 0,01370 M_{\text{плЕ}}$	0,20–43,80 м	0,39–0,99
$M_{\text{плД}}, \text{ м}$	$9,86 \pm 5,85$ $0,511 \pm 0,069$	$7,63 \pm 5,90$ $0,482 \pm 0,005$	$\frac{3,657}{0,0003}$	$\frac{16,140}{0,0003}$	$P(M_{\text{плД}}) = 0,364 + 0,01533 M_{\text{плД}}$	0,20–32,25 м	0,37–0,90
$M_{\text{плГ}}, \text{ м}$	$7,70 \pm 5,24$ $0,505 \pm 0,072$	$6,02 \pm 4,26$ $0,482 \pm 0,005$	$\frac{3,401}{0,0007}$	$\frac{14,176}{<10^{-5}}$	$P(M_{\text{плГ}}) = 0,398 + 0,0139 M_{\text{плГ}}$	0,10–43,25 м	0,39–0,99
$M_{\text{плВ}}, \text{ м}$	$6,69 \pm 3,26$ $0,502 \pm 0,012$	$5,28 \pm 3,62$ $0,497 \pm 0,014$	$\frac{3,947}{0,00009}$	$\frac{16,670}{<10^{-5}}$	$P(M_{\text{плВ}}) = 0,476 + 0,00398 M_{\text{плВ}}$	0,15–19,25 м	0,47–0,55
$M_{\text{плБ}}, \text{ м}$	$2,01 \pm 0,89$ $0,501 \pm 0,011$	$1,89 \pm 1,23$ $0,499 \pm 0,015$	$\frac{0,996}{0,320}$	$\frac{2,021}{0,364}$	$P(M_{\text{плБ}}) = 0,476 + 0,0126 M_{\text{плБ}}$	0,15–9,85 м	0,47–0,60
$M_{\text{плАБ}}, \text{ м}$	$3,64 \pm 1,15$ $0,503 \pm 0,026$	$3,36 \pm 1,73$ $0,497 \pm 0,040$	$\frac{1,798}{0,073}$	$\frac{4,014}{0,134}$	$P(M_{\text{плАБ}}) = 0,420 + 0,02305 M_{\text{плАБ}}$	0,42–17,45 м	0,42–0,82
$M_{\text{плА}}, \text{ м}$	$1,65 \pm 0,61$ $0,503 \pm 0,012$	$1,49 \pm 0,69$ $0,499 \pm 0,014$	$\frac{2,374}{0,018}$	$\frac{5,880}{0,0531}$	$P(M_{\text{плА}}) = 0,469 + 0,02113 M_{\text{плА}}$	0,12–12,95 м	0,47–0,74
$M_{\text{плК}_1}, \text{ м}$	$1,14 \pm 0,42$ $0,503 \pm 0,025$	$1,04 \pm 0,40$ $0,496 \pm 0,024$	$\frac{2,717}{0,007}$	$\frac{6,241}{0,044}$	$P(M_{\text{плК}_1}) = 0,435 + 0,05974 M_{\text{плК}_1}$	0,07–4,20 м	0,43–0,68
$M_{\text{плК}_2}, \text{ м}$	$4,64 \pm 1,61$ $0,501 \pm 0,018$	$4,51 \pm 1,89$ $0,499 \pm 0,021$	$\frac{0,776}{0,438}$	$\frac{1,317}{0,576}$	$P(M_{\text{плК}_2}) = 0,447 + 0,01138 M_{\text{плК}_2}$	0,35–13,35 м	0,45–0,59
$M_{\text{плК}_3}, \text{ м}$	$4,70 \pm 1,92$ $0,505 \pm 0,050$	$4,27 \pm 2,07$ $0,494 \pm 0,054$	$\frac{2,068}{0,039}$	$\frac{4,443}{0,108}$	$P(M_{\text{плК}_3}) = 0,382 + 0,02611 M_{\text{плК}_3}$	0,20–16,25 м	0,38–0,78

Примечание: * – в числителе – среднее значение \pm стандартное отклонение показателя; в знаменателе – среднее значение \pm стандартное отклонение вероятностей по этому показателю.

Отсюда видно, что средние значения статистически различаются по следующим показателям: $M_{\text{пкс}}$, $M_{\text{калия}}$, $N_{\text{пл}}$, $M_{\text{с}}$, $M_{\text{плЕ}}$, $M_{\text{плД}}$, $M_{\text{плГ}}$, $M_{\text{плВ}}$, $M_{\text{плА}}$, $M_{\text{плК}_1}$, $M_{\text{плК}_2}$. Для определения влияния каждого из мощностных показателей, по-разному контролируемых направление и силу процессов газовыделения, были построены линейные вероятностные модели (табл. 1), позволяющие определить вероятность принадлежности к классу площадей, где происходили газовыделения по каждому показателю.

Для построения линейных моделей [12] первоначально были изучены их распределения. Для этого по каждому показателю были определены оптимальные величины интервалов

варьирования, которые вычисляются по формуле Стерджесса:

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

где X_{max} – максимальное значение показателя; X_{min} – минимальное значение показателя; N – объем выборки данных.

В каждом интервале определяются частоты:

$$P(X) = \frac{N_k}{N_g}$$

где $P(X)$ – частота в k -м интервале для класса; N_k – число случаев содержания показателя X в k -м интервале класса; N_g – объем выборки для классов 1 и 2 в k -м интервале.

Пример распределения по показателю M_c (мощность солей) приведен в табл. 2.

Таблица 2

Распределение частот значений M_c (мощность солей)

Территория	Интервалы варьирования M_c , м									
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120	120–140	140–160	160–180	180–200
С газопроявлениями	0	0,005	0,032	0,112	0,336	0,347	0,133	0,026	0,005	0,005
Без газопроявлений	0,021	0,037	0,128	0,256	0,310	0,149	0,085	0,010	–	–

При сравнении плотностей распределенных показателей, приведенных в табл. 2, в изучаемых классах применялся критерий Пирсона χ^2 , значения которого представлены в табл. 1. Отсюда видно, что 10 из 18 показателей по критерию χ^2 статистически различаются при $p < 0,05$.

Технология построения линейных вероятностных моделей заключается в следующем. На каждом интервале определяются вероятности принадлежности к территориям с газопроявлениями. Далее интервальные вероятности принадлежности к классу 1 сопоставляются со средними интервальными значениями показателей. По этим величинам рассчитывался парный коэффициент корреляции r и строилось уравнение регрессии. Последующая корректировка построенных моделей выполнялась из условия, что среднее значение для территорий с газопроявлениями должно быть больше 0,5, а для территорий за пределами газопроявлений – меньше 0,5. Построенные с помощью данной схемы уравнения регрессии по мощностным показателям и условия их использования приведены в табл. 1.

Пример сравнения двух индивидуальных моделей по показателям $M_{плж}$ и $M_{плк_1}$ показан на рис. 2.

Модель $P(M_{плк_1})$ обладает большим значением углового члена в уравнении по сравнению с $P(M_{плж})$, что позволяет получать более дифференцированные оценки вероятности газопроявлений на территории ВКМКС.

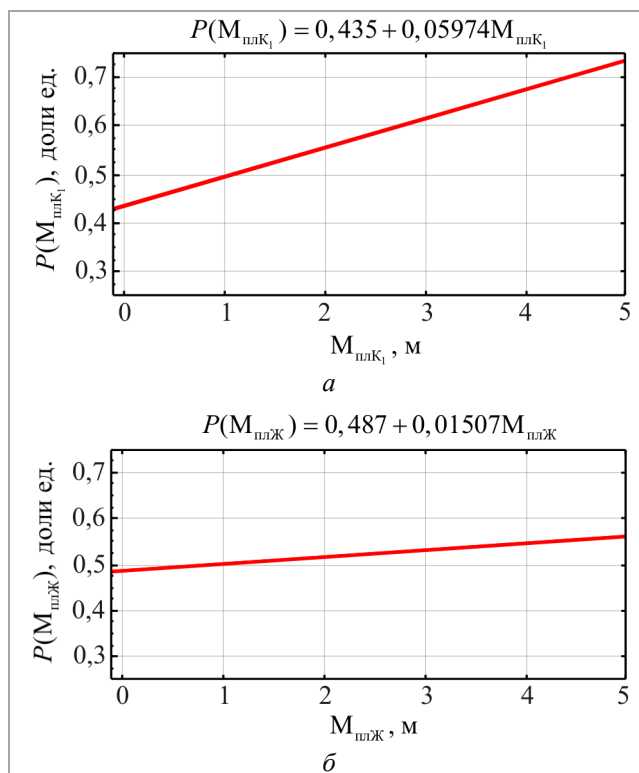


Рис. 2. Сравнение двух индивидуальных моделей: а – $P(M_{плк_1})$; б – $P(M_{плж})$

Анализ построенных индивидуальных моделей и значений критериев t и χ^2 показывает, что наиболее информативными являются следующие показатели: $M_{плк_1}$, $M_{плк_2}$, $M_{плк_3}$, $M_{плк_4}$, $M_{плк_5}$, $M_{плк_6}$, $M_{плк_7}$, $M_{плк_8}$, $M_{плк_9}$, $M_{плк_{10}}$, $M_{плк_{11}}$, $M_{плк_{12}}$, $M_{плк_{13}}$, $M_{плк_{14}}$, $M_{плк_{15}}$, $M_{плк_{16}}$, $M_{плк_{17}}$, $M_{плк_{18}}$, $M_{плк_{19}}$, $M_{плк_{20}}$, $M_{плк_{21}}$, $M_{плк_{22}}$, $M_{плк_{23}}$, $M_{плк_{24}}$, $M_{плк_{25}}$, $M_{плк_{26}}$, $M_{плк_{27}}$, $M_{плк_{28}}$, $M_{плк_{29}}$, $M_{плк_{30}}$, $M_{плк_{31}}$, $M_{плк_{32}}$, $M_{плк_{33}}$, $M_{плк_{34}}$, $M_{плк_{35}}$, $M_{плк_{36}}$, $M_{плк_{37}}$, $M_{плк_{38}}$, $M_{плк_{39}}$, $M_{плк_{40}}$, $M_{плк_{41}}$, $M_{плк_{42}}$, $M_{плк_{43}}$, $M_{плк_{44}}$, $M_{плк_{45}}$, $M_{плк_{46}}$, $M_{плк_{47}}$, $M_{плк_{48}}$, $M_{плк_{49}}$, $M_{плк_{50}}$, $M_{плк_{51}}$, $M_{плк_{52}}$, $M_{плк_{53}}$, $M_{плк_{54}}$, $M_{плк_{55}}$, $M_{плк_{56}}$, $M_{плк_{57}}$, $M_{плк_{58}}$, $M_{плк_{59}}$, $M_{плк_{60}}$, $M_{плк_{61}}$, $M_{плк_{62}}$, $M_{плк_{63}}$, $M_{плк_{64}}$, $M_{плк_{65}}$, $M_{плк_{66}}$, $M_{плк_{67}}$, $M_{плк_{68}}$, $M_{плк_{69}}$, $M_{плк_{70}}$, $M_{плк_{71}}$, $M_{плк_{72}}$, $M_{плк_{73}}$, $M_{плк_{74}}$, $M_{плк_{75}}$, $M_{плк_{76}}$, $M_{плк_{77}}$, $M_{плк_{78}}$, $M_{плк_{79}}$, $M_{плк_{80}}$, $M_{плк_{81}}$, $M_{плк_{82}}$, $M_{плк_{83}}$, $M_{плк_{84}}$, $M_{плк_{85}}$, $M_{плк_{86}}$, $M_{плк_{87}}$, $M_{плк_{88}}$, $M_{плк_{89}}$, $M_{плк_{90}}$, $M_{плк_{91}}$, $M_{плк_{92}}$, $M_{плк_{93}}$, $M_{плк_{94}}$, $M_{плк_{95}}$, $M_{плк_{96}}$, $M_{плк_{97}}$, $M_{плк_{98}}$, $M_{плк_{99}}$, $M_{плк_{100}}$.

Для комплексной оценки связи вероятностей, вычисленных с помощью построенных линейных моделей, с газоносностью будем использовать пошаговый линейный дискриминантный анализ.

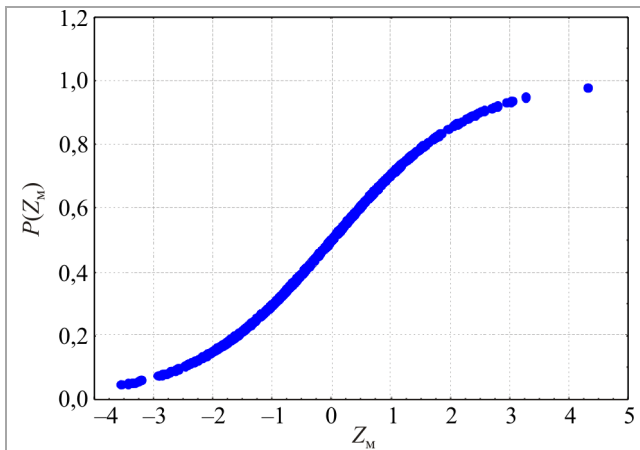
Для разработки моделей использовались данные эталонной выборки, по которой строились линейные модели (класс 1 – 187 значений, класс 2 – 187 значений).

В результате реализации данного метода по мощностям пластов получена следующая линейная дискриминантная функция:

$$Z_M = -17,9265 + 2,6620P(M_c) - 24,1317P(M_{плб}) + 13,8526P(M_{плв}) + 6,2194P(M_{плк_1}) + 12,6002P(M_{плк_2}) + 6,1630P(M_{плк_3}) + 2,7958P(N_{пл}) + 3,6734P(M_{плк_4}) + 14,8381P(M_{плк_5}) + 6,7251P(M_{плк_6}) - 9,3998P(M_{плк_7})$$

при $R = 0,401$, $\chi^2 = 63,94120$, $p < 10^{-5}$.

Формирование очередности включения показателей в функцию происходило в последовательности, приведенной в уравнении.

Рис. 3. Зависимость $P(Z_M)$ от Z_M

По данным функциям были вычислены значения Z_M и вероятность $P(Z_M)$. Соотношение между Z_M и $P(Z_M)$ показано на рис. 3.

Разработка моделей прогноза нефтегазоносности

На основе полученных значений Z_M выполним сравнение средних (табл. 3) значений по скважинам, расположенным в контурах нефтегазоносности (класс 1, $n = 86$), и площадям, где нефтегазоносность не установлена (класс 2, $n = 80$). Сравнение осуществим с помощью критериев t и χ^2 по обучающей выборке (см. рис. 4) объемом 166 скважин.

Анализ распределений Z_M и построение вероятностной модели принадлежности к классу нефтегазоносных территорий выполнялись аналогично, как и в случае с газопроявлениями в толще ВКМКС.

Отсюда видно, что средние значения многомерного критерия Z_M статистически различаются с достигаемым уровнем значимости $p = 0,066$ по t -критерию Стьюдента. Для вычисления вероятности принадлежности к классу площадей с нефтегазоносностью необходимо построить линейную вероятностную модель, по которой можно определить вероятность принадлежности к классу площадей, где наблюдается нефтегазоносность разреза.

Для построения модели прогноза нефтегазоносности по значениям Z_M было изучено распределение Z_M по интервалам варьирования (табл. 4) для областей, находящихся в контуре нефтегазоносности (класс 1) и вне контура (класс 2).

Таблица 3

Сравнение средних значений и вероятностные модели по критерию Z_M

Показатель	Статистические характеристики показателей (среднее значение \pm стандартное отклонение)		$\frac{t}{p}$	$\frac{\chi^2}{p}$
	Класс 1. В контуре нефтегазоносности ($n = 86$)	Класс 2. Вне контура нефтегазоносности ($n = 80$)		
Z_M	$-0,763 \pm 1,085$	$-0,449 \pm 1,113$	$\frac{1,841}{0,066}$	$\frac{3,344}{0,019}$

Распределения критерия Z_M по интервалам варьирования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Распределение частот значений Z_M

Класс	Интервалы варьирования Z_M						
	$(-4,5; -3,5]$	$(-3,5; -2,5]$	$(-2,5; -1,5]$	$(-1,5; -0,5]$	$(-0,5; 0,5]$	$(0,5; 1,5]$	$(1,5; 2,5]$
В контуре нефтегазоносности	0	0,046	0,267	0,244	0,337	0,081	0,025
Вне контура нефтегазоносности	0,014	0,037	0,087	0,350	0,300	0,175	0,037

Согласно данным табл. 4, частота для класса 1 в интервале $(-0,5; 0,5]$ составляет 0,337 доли ед., для класса 2 – 0,300 доли ед. При сравнении плотностей распределений Z_M , приведенных в табл. 4, в изучаемых классах применялся критерий Пирсона χ^2 .

Значения критерия χ^2 приведены в табл. 3. Отсюда видно, что по критерию χ^2 распределения значений Z_M статистически различаются при $p = 0,019$.

Для построения линейной вероятностной модели прогноза нефтегазоносности по данным газопроявления в толще ВКМКС в каждом интервале варьирования определяются вероятности принадлежности к нефтегазоносным территориям. Далее интервальные вероятности принадлежности к классу 1 сопоставляются со средними интервальными значениями комплексного критерия Z_M . По этим величинам рассчитывается парный коэффициент корреляции r и строится уравнение регрессии. Последующая корректировка построенных моделей выполняется из условия, что среднее значение $P_n(Z_M)$ для нефтегазоносных территорий должно быть больше 0,5, а для территорий за пределами нефтегазоносности – меньше 0,5.

Получена следующая модель прогноза вероятности нефтегазоносности по данным Z_M :

$$P_n(Z_M) = 0,462 - 0,0635 Z_M, r = -0,67.$$

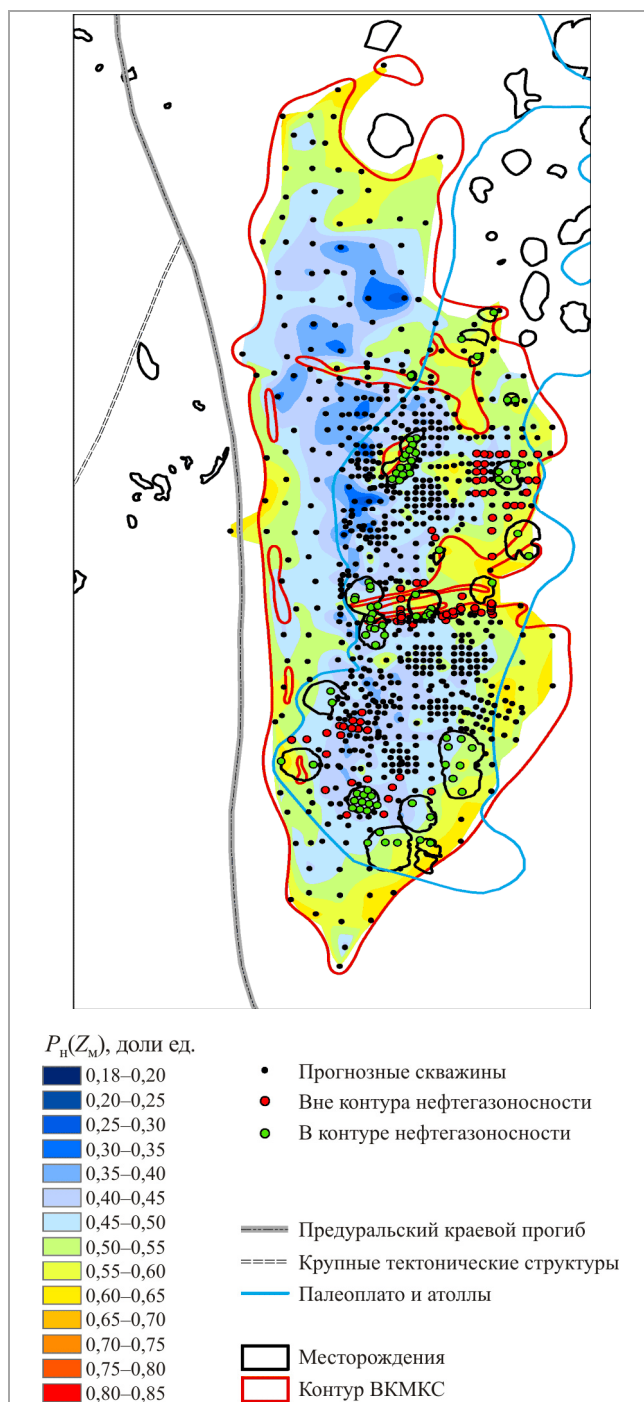


Рис. 4. Схема изменения $P_n(Z_M)$ на территории ВКМКС

Диапазон работы модели Z_M от $-3,525$ до $2,205$. При увеличении значений Z_M от отрицательных к положительным величина $P_n(Z_M)$ уменьшается от $0,682$ до $0,321$ доли ед. С помощью данной зависимости были вычислены значения $P_n(Z_M)$ по всем изучаемым 856 скважинам, пробуренным для проведения поисковых и разведочных работ на соль.

Заключение

Таким образом, полученные средние значения разработанного критерия $P_n(Z_M)$ свидетельствует о том, что он может быть использован для зональной оценки нефтегазоносности изучаемой территории. Среднее значение вероятности нефтегазоносности $P_n(Z_M)$ для класса в контуре нефтегазоносности составило $0,510 \pm 0,068$ доли ед.; для класса вне контура нефтегазоносности – $0,490 \pm 0,070$ доли ед.

По рассчитанным значениям $P_n(Z_M)$ была построена схема вероятности нефтегазоносности по площади исследований (рис. 4).

На схеме вероятностями $P_n(Z_M) > 0,5$ характеризуются периферийные части ВКМКС, значения $P_n(Z_M) < 0,5$ находятся в центральной части ВКМКС. Разработанную схему можно использовать при планировании геолого-поисковых работ с целью добычи нефти для территории ВКМКС.

Список литературы

1. Геолого-математическая оценка влияния солей на процессы нефтегазогенерации (на примере Соликамской депрессии) / В.И. Галкин, А.В. Растегаев, И.А. Козлова, С.В. Галкин, М.Э. Мерсон // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2003. – № 6. – С. 9–13.
2. Бахарев П.Н. Блоковое строение и нефтегазоносность севера Соликамской депрессии // Геология и разведка нефти и газа / Перм. политехн. ун-т. – Пермь, 1989. – С. 8–15.
3. О масштабах миграции углеводородов в пределах Соликамской депрессии Предуральского прогиба и возможностях её использования для прогноза нефтегазоносности / В.Л. Воеводкин, В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н., Кривощёков А.С. Козлов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 12. – С. 6–11.
4. Зонально-локальная оценка перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.В. Галкин, А.В. Растегаев, В.В. Мелкомукоев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 10. – С. 8–11.
5. 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. Кривощёков, В.Л. Воеводкин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 12–17.

6. Галкин В.И., Мелкишев О.А. Разработка зональных вероятностно-статистических моделей прогноза нефтегазоносности для верхневизейско-башкирского карбонатного нефтегазоносного комплекса на территории Соликамской депрессии // Новые идеи в геологии нефти и газа. – 2017. – С. 58–63.
7. Шаронов Л.В. Формирование нефтяных и газовых месторождений северной части Волго-Уральского бассейна. – Пермь, 1971. – 287 с.
8. Козлова И.А., Галкин В.И., Ванцева И.В. К оценке перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии с помощью генерационно-динамических характеристик нефтегазоматеринских пород // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 24–27.
9. Козлова И.А., Галкин В.И., Ванцева И.В. К оценке перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии с помощью геолого-геохимических характеристик нефтегазоматеринских пород // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 20–23.
10. Лядова Н.А., Яковлев Ю.А., Распопов А.В. Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края. – М.: ВНИИОЭНГ, 2010. – 335 с.
11. К обоснованию построения моделей зонального прогноза нефтегазоносности для ниже- и средневизейского комплекса Пермского края / В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, О.А. Мелкишев // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 8. – С. 32–35.
12. 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.
13. Кривошеков С.Н., Галкин В.И., Козлова И.А. Определение перспективных участков геологоразведочных 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.
14. Путилов И.О., Галкин В.И. Применение вероятностного статистического анализа для изучения фациальной зональности турне-фаменского карбонатного комплекса Сибирского месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 9. – С. 112–114.
15. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: пер. с англ. – М.: Недра, 1990. – Кн. 1 – 319 с.; кн. 2. – 427 с.
16. Чини Р.Ф. Статические методы в геологии: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 189 с.
17. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии. Статистический анализ геологических данных. – М.: Недра, 1971. – 246 с.
18. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. гос. горн. ин-та (техн. ун-та), 2006. – 223 с.
19. Михалевич И.М. Применение математических методов при анализе геологической информации (с использованием компьютерных технологий: Statistica) / ИГУ. – Иркутск, 2006. – 115 с.
20. Дементьев Л.Ф. Математические методы и ЭВМ в нефтегазовой геологии. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
21. Давыденко А.Ю. Вероятностно-статистические методы в геолого-геофизических приложениях. – Иркутск, 2007. – 29 с.
22. Koshkin K.A., Melkishev O.A. Use of derivatives to assess preservation of hydrocarbon deposits // International Conference Information Technologies in Business and Industry. – Tomsk, 2018. – Vol. 1015. – P. 032092.
23. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dinamie data analysis. – Paris: Kappa Engineering, 2008. – 694 p.
24. Van Golf-Racht T.D. Fundamentals of fractured reservoir engineering / Elsevier scientific publishing company. – Amsterdam – Oxford – New York, 1982. – 709 p.
25. Horne R.N. Modern well test analysis: a computer aided approach. – 2nd ed. – Palo Alto: PetrowayInc, 2006. – 257 p.
26. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design. – New York – London – Sydney – Toronto, 1977. – 606 p.
27. Montgomery D.C., Peck E.A. Introduction to liner regression analysis. – New York: John Wiley & Sons, 1982. – 504 p.
28. Darling T. Well logging and formation evaluation. – Gardners Books, 2010. – 336 p.
29. Watson G.S. Statistic on spheres. – New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. – 238 p.
30. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics // AAPG. – Tulsa, Oklahoma, 1994. – 231 p.
31. Андрейко С.С., Лялина Т.А. Исследования газовыделений из геолого-разведочных скважин на Верхнекамском месторождении калийных солей // Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – № 2. – С. 33–38.
32. Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при раз-

работке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Научные исследования и инновации. – 2010. – Т. 3, № 4. – С. 34–37.

33. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управление. – Минск: Вышэйшая школа, 2000. – 335 с.

34. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогноза и способы предотвращения: учеб пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 219 с.

35. Андрейко С.С. Механизм образования очагов газодинамических явлений в соляном породном массиве. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 196 с.

36. Прогнозирование выбросоопасных зон пластов при разведке и разработке Верхнекамского месторождения калийных солей / С.С. Андрейко, О.В. Иванов, А.В. Харинцев, А.Н. Чистяков // Горный журнал. – 2008. – № 10. – С. 34–37.

37. Андрейко С.С., Иванов О.В., Литвиновская Н.А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных выработок в подработанном массиве соляных пород. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 158 с.

38. Андрейко С.С., Башура А.Н., Щерба В.Я. Управление газодинамическими процессами при подземной разработке Старобинского месторождения калийных солей. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 196 с.

39. Андрейко С.С. Газовыделения при бурении геолого-разведочных скважин на Верхнекамском месторождении // Аэропылегазодинамика горных выработок: сб. науч. тр.; Ленингр. геол. ин-т. – Л., 1987. – С. 49–54.

40. Проскуряков Н.М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра, 1980. – 263 с.

41. Проскуряков Н.М. Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд. – М.: Недра, 1988. – 239 с.

42. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – 429 с.

43. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – 2-е изд., перераб. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.

44. Кудряшов А.И., Андрейко С.С. О природе очагов внезапных выбросов соли и газа // Известия вузов. Горный журнал. – 1986. – № 2. – С. 10–11.

45. Андрейко С.С. Статистические критерии и результаты оценки закономерностей распределения газодинамических явлений на калийных месторождениях // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2003. – № 4. – С. 45–55.

References

1. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Kozlova I.A., Galkin S.V., Merson M.E. Geologo-matematicheskaya otsenka vlianiia soli na protsessy neftegazogeneratsii (na primere Solikamskoi depressii) [Geological and mathematical assessment of salt influence on oil and gas generation processes (on the example of Solikamsk depression)]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft i gaz*, 2003, no.6, pp.9-13.

2. Bakharev P.N. Blokovoe stroenie i neftegazonosnost severa Solikamskoi depressii [Block structure and oil and gas potential of the north of the Solikamsk depression]. *Geologiya i razvedka nefti i gaza; Permskii politekhnicheskii universitet*. Perm, 1989, pp.8–15.

3. Voevodkin V.L., Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Kozlov A.S. O masshtabakh migratsii uglevodorodov v predelakh Solikamskoi depressii preduralskogo progiba i vozmozhnostiakh ee ispolzovaniia dlia prognoza neftegazonosnosti [Hydrocarbons migration volumes within the limits of Solikamsk depression (Pre-Ural deflection) and possibilities of its use for the oil and gas content forecast]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2010, no.12, pp.6-11.

4. Galkin V.I., Kozlova I.A., Galkin S.V., Rastegaev A.V., Melkomukov V.V. Zonalno-lokalnaia otsenka perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoi depressii [Zonal-local forecast oil-and-gas content at Solikamsk depression]. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2007, no.10, pp.8-11.

5. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vantseva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin V.L. K metodike otsenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoi depressii po kharakteristikam lokalnykh struktur [On the methodology for assessing the prospects of oil and gas potential of the Solikamsk depression according to the characteristics of local structures]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.12-17.

6. Galkin V.I., Melkishev O.A. Razrabotka zonalnykh veroiatnostno-statisticheskikh modelei prognoza neftegazonosnosti dlia verkhnevizeiskobashkirskogo karbonatnogo neftegazonosnogo kompleksa na territorii Solikamskoi depressii [Development of zonal probabilistic and statistical models of oil and gas fore-

cast for the Upper Visean-Bashkir carbonate oil and gas complex in the territory of the Solikamsk depression]. *Novye idei v geologii nefiti i gaza*, 2017, pp.58-63.

7. Sharonov L.V. Formirovanie nefitnykh i gazovykh mestorozhdenii severnoi chasti volgo-uralskogo basseina [Formation of oil and gas fields in the northern part of the Volga-Ural basin]. Perm, 1971, 287 p.

8. Kozlova I.A., Galkin V.I., Vantseva I.V. K otsenke perspektiv neftegazonosnosti solikamskoi depressii s pomoshchiu generatsionno-dinamicheskikh kharakteristik neftegazomaterinskikh porod [Evaluation of Solikamsk depression petroleum potential based on generation-dynamic characteristics of oil and gas source rocks]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.24-27.

9. Kozlova I.A., Galkin V.I., Vantseva I.V. K otsenke perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoi depressii s pomoshchiu geologo-geokhimicheskikh kharakteristik neftegazomaterinskikh porod [Evaluation of Solikamsk depression petroleum potential based on geological and geochemical characteristics of oil and gas source rocks]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.20-23.

10. Liadova N.A., Iakovlev Iu.A., Raspopov A.V. Geologiya i razrabotka nefitnykh mestorozhdenii permskogo kraia [Geology and development of oil fields of the Perm region]. Moscow, VNIIOENG, 2010, 335 p.

11. Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Melkishev O.A. K obosnovaniyu postroeniya modelei zonalnogo prognoza neftegazonosnosti dlia nizhnesrednevizeiskogo kompleksa Permskogo kraia [On the justification of the construction of models for oil and gas potential area forecast Visean deposits of Perm region]. *Oil industry*, 2015, no.8, pp.32-35.

12. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Kozlova I.A., Vantseva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin B.L. Prognoznaya otsenka neftegazonosnosti struktur na territorii Solikamskoi depressii [Probable estimation of oil content of structures in territory of Solikamsk depression]. *Oilfield engineering*, 2010, no.7, pp.4-7.

13. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I., Kozlova I.A. Determination of potentially oil bearing areas by behavioristical method by the example of Perm region (krai). *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2012, no.4, pp.7-14.

14. Putilov I.O., Galkin V.I. Primenenie veroiatnostnogo statisticheskogo analiza dlia izucheniya fatsialnoi zonalnosti turne-famenskogo karbonatnogo kompleksa Sibirskogo mestorozhdeniia [The results of statistical analysis for study fades characterization of T-Fm stage of Sibirskoe oilfield]. *Oil industry*, 2007, no.9, pp.112-114.

15. Devis Dzh.S. Statisticheskii analiz dannykh v geologii [The statistical analysis of data in geology]. Moscow, Nedra, book 1, 319 p.; book 2, 427 p.

16. Chini R.F. Staticheskie metody v geologii [Static methods in geology]. Moscow, Mir, 1986, 189 p.

17. Sharapov I.P. Primenenie matematicheskoi statistiki v geologii. Statisticheskii analiz geologicheskikh dannykh [Application of mathematical statistics in geology. Statistical analysis of geological data]. Moscow, Nedra, 1971, 246 p.

18. Porotov G.S. Matematicheskie metody modelirovaniia v geologii [Mathematical methods of modeling in geology]. Saint Petersburg, Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo gornogo instituta (tekhnicheskogo universiteta), 2006, 223 p.

19. Mikhalevich I.M. Primenenie matematicheskikh metodov pri analize geologicheskoi informatsii (s ispolzovaniem kompiuternykh tekhnologii: Statistika) [Application of mathematical methods in the analysis of geological information (with use of computer technologies: Statistica)]. Irkutsk, IGU, 2006, 115 p.

20. Dementev L.F. Matematicheskie metody i EVM v neftegazovoi geologii [Mathematical methods and the COMPUTER in oil and gas geology]. Moscow, Nedra, 1987, 264 p.

21. Davydenko A.Iu. Veroiatnostno-statisticheskie metody v geologo-geofizicheskikh prilozheniakh [Probabilistic and statistical methods in geologic-geophysical applications]. Irkutsk, 2007, 29 p.

22. Koshkin K.A., Melkishev O.A. Use of derivatives to assess preservation of hydrocarbon deposits. *International Conference Information Technologies in Business and Industry*. Tomsk, 2018, vol.1015, pp.032092.

23. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dinamie data analysis. Paris, Kappa Engineering, 2008, 694 p.

24. Van Golf-Racht T.D. Fundamentals of fractured reservoir engineering. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier scientific publishing company, 1982, 709 p.

25. Horne R.N. Modern well test analysis: a computer aided approach. 2nd ed. Palo Alto, PetrowayInc, 2006, 257 p.

26. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design. New York, London, Sydney, Toronto, 1977, 606 p.

27. Montgomery D.C., Peck E.A. Introduction to liner regression analysis. New York, John Wiley & Sons, 1982, 504 p.

28. Darling T. Well logging and formation evaluation. GardnersBooks, 2010, 336 p.

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

30. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics. *AAPG*. Tulsa, Oklahoma, 1994, 231 p.

31. Andreiko S.S., Lialina T.A. Issledovaniia gazovydelenii iz geologorazvedochnykh skvazhin na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliinykh solei [The analysis of gas emission out of geologic prospecting wells at Verkhnekamskoye deposit of potassium salts]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no.2, pp.33-38.

32. Andreiko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A. Borba s gazodinamicheskimi iavleniiami pri razrabotke Verkhnekamskogo i Starobinskogo mestorozhdenii kaliinykh solei [Fight against the gasdynamic phenomena when developing Verkhnekamsky and Starobinsky fields of potash salts]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsii: nauchnyi zhurnal*, 2010, vol.3, no.4.

33. Andreiko S.S., Kalugin P.A., Shcherba V.Ia. Gazodinamicheskie iavleniia v kaliinykh rudnikakh: genesis, prognoz i upravlenie [The gasdynamic phenomena in potash mines: genesis, forecast and management]. Minsk, Vysshiaia shkola, 2000.

34. Andreiko S.S. Gazodinamicheskie iavleniia v kaliinykh rudnikakh: metody prognoza i sposoby predotvrashcheniia [The gasdynamic phenomena in potash mines: methods of the forecast and ways of prevention: studies grant]. Perm, Izdatelstvo Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2007.

35. Andreiko S.S. Mekhanizm obrazovaniia ochagov gazodinamicheskikh iavlenii v solianom porodnom massive [Mekhanizm of formation of the centers of the gasdynamic phenomena in hydrochloric rock mass]. Perm, Izdatelstvo Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2008.

36. Andreiko S.S., Ivanov O.V., Kharintsev A.V., Chistiakov A.N. Prognozirovanie vybrosoopasnykh zon plastov pri razvedke i razrabotke Verkhnekamskogo mestorozhdeniia kaliinykh solei [Forecasting of the combustion zones of layers at exploration and development of the Verkhnekamsky field of potash salts]. *Gornyi zhurnal*, 2008, no.10.

37. Andreiko S.S., Ivanov O.V., Litvinovskaia N.A. Prognozirovanie i predotvrashchenie gazodinamicheskikh iavlenii iz pochvy pri prokhodke podgotovi-

telnykh vyrabotok v podrobotannom massive solianykh porod [Forecasting and prevention of the gasdynamic phenomena from the soil at a driving of preparatory developments in the earned additionally massif of salt breeds]. Perm, Izdatelstvo Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2015.

38. Andreiko S.S., Bashura A.N., Shcherba V.Ia. Upravlenie gazodinamicheskimi protsessami pri podzemnoi razrabotke Starobinskogo mestorozhdeniia kaliinykh solei [Management of gasdynamic processes by underground mining of the Starobinsky field of potash salts]. Moscow, Izdatelstvo MGGU, 2004.

39. Andreiko S.S. Gazovydeleniia pri burenii geologo-razvedochnykh skvazhin na Verkhnekamskom mestorozhdenii [Gas emission when drilling prospecting wells on the Verkhnekamsky field]. *Aeropylegazodinamika gornykh vyrabotok*, 1987.

40. Proskuriakov N.M. Vnezapnye vybrosy porody i gaza v kaliinykh rudnikakh [Sudden emissions of breed and gas in potash mines]. Moscow, Nedra, 1980.

41. Proskuriakov N.M. Upravlenie gazodinamicheskimi protsessami v plastakh kaliinykh rud [Control of gas-dynamic processes in potash ore beds]. Moscow, Nedra, 1988, 239 p.

42. Kudriashov A.I. Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei [Verkhnekamskoe salt field]. Perm, GI UrO RAN, 2001, 429 p.

43. Kudriashov A.I. Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei [Verkhnekamskoe salt field, 2nd ed., Revised]. Moscow, Epsilon Plus, 2013, 368 p.

44. Kudriashov A.I., Andreiko S.S. O prirode ochagov vnezapnykh vybrosov soli i gaza [On the nature of foci of sudden release of salt and gas]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 1986, no.2, pp.10-11.

45. Andreiko S.S. Statisticheskie kriterii i rezultaty otsenki zakonomernostei raspredeleniia gazodinamicheskikh iavlenii na kaliinykh mestorozhdeniiaakh [Statistical criteria and results of the assessment of patterns of distribution of gas-dynamic phenomena in potash deposits]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2003, no.4, pp.45-55.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Разработка статистической модели прогноза нефтегазоносности по газовыделениям в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / В.И. Галкин, О.А. Мелкишев, С.В. Варушкин, С.С. Андрейко, Т.А. Лялина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т.20, №1. – С.4–13. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.1

Please cite this article in English as:

Galkin V.I., Melkishev O.A., Varushkin S.V., Andreiko S.S., Lialina T.A. Development of the statistical model to forecast oil and gas potential according to gas content in the Verkhnekamskoe deposit of potassium and magnesium salts. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.1, pp.4-13. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.1