

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/21_2020

УДК 550.812.1:553.632(470.53)

Варушкин С.В.

ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»; ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ПНИПУ»), Пермь, Россия, geologist-07@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О ГАЗОНОСНОСТИ СОЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПОДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Для решения задачи выбора наиболее приоритетных участков для постановки геолого-разведочных работ разработана вероятностно-статистическая модель прогноза нефтегазоносности на основе данных газовыделений и особенностей морфологии осадочного чехла территории Соликамской депрессии. Это позволит построить схемы прогноза газопроявлений и зонального прогноза нефтегазоносности в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Применение результатов работы повысит успешность геологоразведочных работ по поиску залежей углеводородов.

Ключевые слова: газоносность солей, газодинамические явления, вероятностно-статистическая модель, прогноз нефтегазоносности, Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей, Соликамская депрессия.

Введение

В условиях поисков месторождения нефти и газа на территории со слабой геолого-геофизической изученностью все большее значение приобретает использование дополнительных сведений о возможной нефтегазоносности территорий. Одним из таких дополнительных источников является информация по газопроявлениям, полученным в результате бурения солеразведочных скважин, и газодинамическим явлениям в подземных горных выработках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Содержание свободных и связанных газов в солях определенного компонентного состава и наличие залегающих месторождений углеводородов позволяют выдвинуть гипотезу о связи газоносности солей с нефтегазоносностью нижележащих отложений.

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС) расположено в пределах Предуральяского краевого прогиба на территории Соликамской депрессии. Особенности геологического строения соляной толщи ВКМКС приведены в работе [Кудряшов, 2013]. Газодинамические явления (ГДЯ) различной интенсивности на территории ВКМКС происходили при бурении разведочных скважин и на разных стадиях подготовительных и очистных горных работ на рудниках, а также непосредственно при их эксплуатации.

Возможности построения геолого-математических моделей для решения аналогичных геологических задач ранее рассмотрены в опубликованных работах [Галкин и др., 2015, 2020;

Кривошеков, Галкин, Козлова, 2012; Watson, 1983]. Анализ и прогноз газопроявлений вероятностно-статистическими методами по площади исследований также приведены в многочисленных статьях [Андрейко, Лялина, 2017; Андрейко, Иванов, Литвиновская, 2015; Андрейко, Иванов, Нестеров, 2010].

Разработка модели прогноза газопроявлений в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей

Для разработки вероятно-статистических моделей рассмотрено варьирование гипсометрических отметок пластов солей и основных отражающих горизонтов по площадям, где наблюдались газопроявления (класс 1) и не наблюдались (класс 2). Всего проанализировано 11 показателей по обучающей выборке из 374 солеразведочных скважин. Привлечены характеристики по основным структурным поверхностям, которые отвечают нефтегазоносности разреза:

- Нускв – альтитуда устья солеразведочной скважины,
- Нпкс – абсолютная отметка кровли пачки покровной каменной соли (ПКС),
- Нкп – абсолютная отметка кровли карналлитовой пачки (КП),
- НА – абсолютная отметка кровли пласта А,
- Нк2 – абсолютная отметка кровли пласта КрII,
- Нк3 – абсолютная отметка кровли пласта КрIII,
- Нпдкс – абсолютная отметка кровли пачки подстилающей каменной соли (ПДКС),
- НАт – абсолютная отметка кровли артинских терригенных отложений,
- Н1п - абсолютная отметка ОГ Iп,
- Н2к – абсолютная отметка ОГ IIк,
- Н3 – абсолютная отметка ОГ III.

Сопоставление средних значений показателей и построение вероятностных моделей принадлежности к классу территорий с газопроявлениями представлены в табл. 1. Для сравнения характеристик газопроявлений в пределах ВКМКС использован t-критерий Стьюдента и критерий Пирсона χ^2 .

Анализ построенных индивидуальных моделей показал, что информативные вероятности получены по следующим показателям: НА, Нк2, Нк3, Нпдкс, Н1п, Н2к, Н3. Помимо этого, исследование одномерных вероятностно-статистических моделей прогноза ГДЯ по гипсометрическим критериям выявило, что в пределах толщи солей только при возрастании абсолютных отметок кровли покровной каменной соли наблюдается увеличение вероятности ГДЯ. Следует отметить, что инверсия значений t-критериев статистически значимых показателей при переходе от группы сейсмических границ к соляным пластам.

Таблица 1

**Сравнение средних значений,
индивидуальные вероятностные модели по абсолютным отметкам пластов**

| Показатель | Статистические характеристики показателей* | | Критерии $\frac{t}{p}$ $-\chi^2$ p | Верхняя строка - уравнение вероятности принадлежности к классу территорий с газопроявлениями; средняя - область применения модели; нижняя - диапазон изменения вероятности. |
|--|---|---|---|---|
| | Класс 1 Территории с газопроявлениями n=187 | Класс 2 Территория без газопроявлений n=187 | | |
| Н _{ускв} , м (альтитуда скв.) | $\frac{151,0 \pm 31,7}{0,523 \pm 0,117}$ | $\frac{157,4 \pm 30,6}{0,499 \pm 0,113}$ | $\frac{-1,99687}{0,046568}$ $\frac{8,584841}{0,013672}$ | $P(N_{ускв})=1,082-0,0037*N_{ускв}$ 106,00 — 247,23 м 0,17 — 0,69 |
| Н _{пкс} , м кровля ПКС | $\frac{-76,27 \pm 65,91}{0,500 \pm 0,003}$ | $\frac{-77,29 \pm 77,10}{0,500 \pm 0,059}$ | $\frac{0,13811}{0,890229}$ $\frac{1,060626}{0,588421}$ | $P(N_{пкс})=0,503+0,0005*N_{пкс}$ -391,8 — 72,6 м 0,48 — 0,51 |
| Н _{кп} , м кровля КП | $\frac{-92,71 \pm 70,94}{0,500 \pm 0,012}$ | $\frac{-88,42 \pm 86,79}{0,500 \pm 0,014}$ | $\frac{-0,52506}{0,599555}$ $\frac{0,994784}{0,594784}$ | $P(N_{кп})=0,484-0,002*N_{кп}$ -406,6 — 93,0 м 0,47 — 0,55 |
| НА, м кровля пласта А | $\frac{-153,7 \pm 64,6}{0,514 \pm 0,064}$ | $\frac{-134,0 \pm 75,8}{0,495 \pm 0,075}$ | $\frac{-2,69483}{0,007362}$ $\frac{7,327803}{0,025632}$ | $P(НА)=0,361-0,001*НА$ -429,7 — 44,5 м 0,32 — 0,79 |
| Н _{к2} , м кровля пласта КрII | $\frac{-159,4 \pm 63,0}{0,506 \pm 0,037}$ | $\frac{-138,8 \pm 73,4}{0,494 \pm 0,044}$ | $\frac{-2,91021}{0,003829}$ $\frac{8,447709}{0,014642}$ | $P(Нк2)=0,411-0,0006*Нк2$ -430,4 — 46,3 м 0,38 — 0,67 |
| Н _{к3} , м кровля пласта КрIII | $\frac{-165,6 \pm 63,1}{0,506 \pm 0,037}$ | $\frac{-144,4 \pm 77,5}{0,494 \pm 0,043}$ | $\frac{-3,00268}{0,002857}$ $\frac{8,956108}{0,011355}$ | $P(Нк3)=0,407-0,0006*Нк3$ -431,1 — 33,1 м 0,38 — 0,66 |
| Н _{пдкс} , м кровля ПДКС | $\frac{-171,6 \pm 67,3}{0,512 \pm 0,060}$ | $\frac{-151,7 \pm 67,5}{0,495 \pm 0,063}$ | $\frac{-2,57590}{0,010383}$ $\frac{6,733453}{0,034505}$ | $P(Нпдкс)=0,358-0,0009*Нпдкс$ -431,5 — 40,7 м 0,32 — 0,74 |
| НА _т , м ОГА ^к _{тер} | $\frac{-768,1 \pm 60,6}{0,500 \pm 0,015}$ | $\frac{-764,1 \pm 64,7}{0,499 \pm 0,016}$ | $\frac{-0,618764}{0,536450}$ $\frac{1,046323}{0,592644}$ | $P(НАт)=0,695+0,0025*НАт$ -868,1 — -514,5 м 0,47 — 0,56 |
| Н _{1п} , м ОГ Iп | $\frac{-1625,9 \pm 97,3}{0,528 \pm 0,103}$ | $\frac{-1679,8 \pm 120,8}{0,470 \pm 0,125}$ | $\frac{4,92066}{0,000001}$ $\frac{24,65846}{0,000004}$ | $P(Н1п)=2,212+0,00104*Н1п$ -1952,0 — -1190,7 м 0,21 — 0,89 |
| Н _{2к} , м ОГ IIк | $\frac{-1948,5 \pm 94,8}{0,533 \pm 0,101}$ | $\frac{-2004,5 \pm 123,4}{0,473 \pm 0,132}$ | $\frac{4,92066}{0,000001}$ $\frac{25,98490}{0,000002}$ | $P(Н2к)=2,618+0,00107*Н2к$ -2304,7 — -1540,5 м 0,15 — 0,97 |
| Н ₃ , м ОГ III | $\frac{-2334,7 \pm 119,2}{0,514 \pm 0,095}$ | $\frac{-2490,8 \pm 136,8}{0,469 \pm 0,109}$ | $\frac{4,92066}{0,000001}$ $\frac{20,06414}{0,000044}$ | $P(Н3)=0,487+0,01507*Н3$ -2796,8 — -1940,8 м 0,22 — 0,91 |

*в числителе – максимальные и минимальные значения, в знаменателе – среднее значение и стандартное отклонение.

Для комплексной оценки связи вероятностей, вычисленных с помощью построенных линейных моделей, с газоносностью использован пошаговый линейный дискриминантный анализ (ПЛДА). Примеры использования ПЛДА для решения подобных геологических задач приведены в работах исследователей [Кривошеков, Галкин, Волкова, 2010; Соснин, 2012; Шайхутдинов, 2014]. Для анализа используется такое сочетание признаков, при котором происходит максимальное разделение территорий по критерию газоносности.

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

$$Z_H = 3,624 \times P(H_{2k}) - 10,696 \times P(H_{AT}) + 2,716 \times P(H_{ускв}) + 197,125 \times P(H_{пкс}) + 26,013 \times P(H_{пдкс}) - 78,867 \times P(H_{кп}) - 70,044, \text{ при } R=0,374, \chi^2=55,853, p=0,000.$$

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

По данным величинам определена каноническая функция Z_H , которая позволила вычислить значения вероятности газопроявлений $P(Z_H)$. Соотношение между Z_H и $P(Z_H)$ приведены на рис. 1. Видно, что при изменении значений Z_H от отрицательных к положительным $P(Z_H)$ закономерно увеличивается.

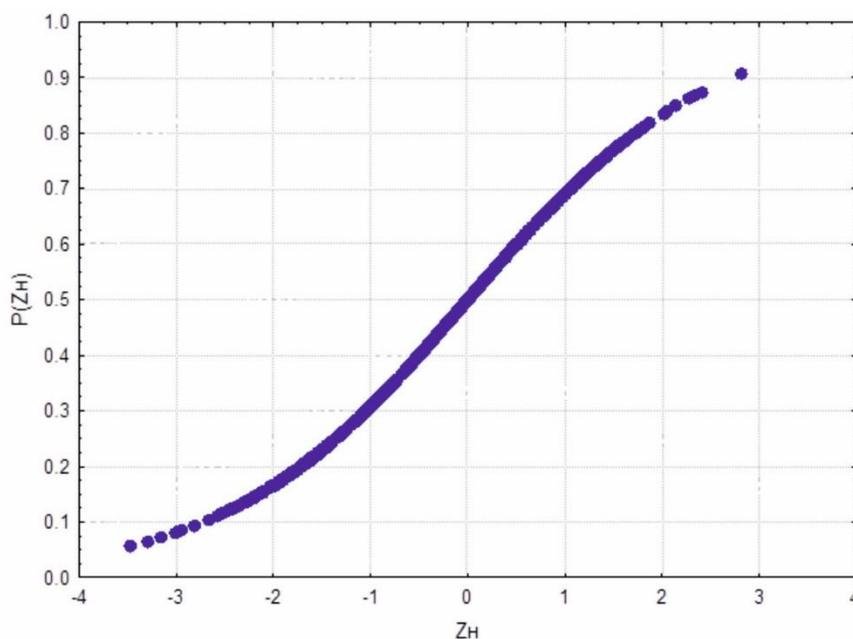


Рис. 1. График зависимости $P(Z_H)$ от Z_H

На территории ВКМКС имеются данные по 856 поисковым и разведочным скважинам на соль. По полученной зависимости вычислены значения $P(Z_H)$ по всем изучаемым скважинам на территории ВКМКС и построена схема прогноза газоносности (рис. 2).

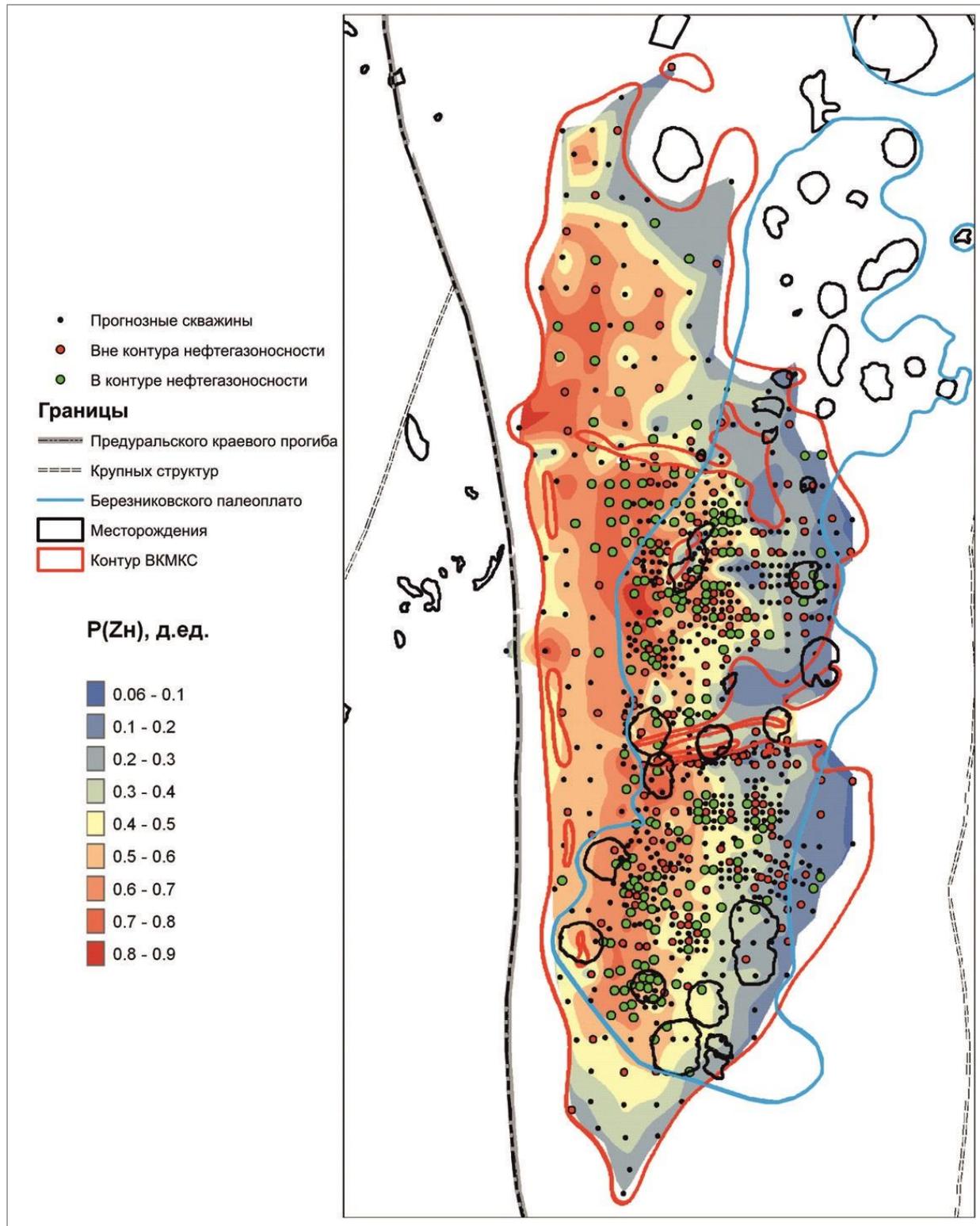


Рис. 2. Схема зонального прогноза газоносности территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей по критерию $P(Zn)$

Среднее значение Zn для территорий с газопроявлениями равно $+0,403$, без газопроявлений - $-0,403$. Анализ таблицы частостей (табл. 2) показал, что большинство скважин с газопроявлениями имеют значения $P(Zn) > 0,5$ д.ед. Для территорий с газопроявлениями при $P(Zn) > 0,5$ встречается 74,5% значений, без газопроявлений при

$P(Z_H) > 0,5$ - только 39,0% значений. При этом наблюдаются значительно меньшие значения вероятности газодинамических явлений в восточной части ВКМКС.

Таблица 2

Распределение частот $P(Z_H)$

| | Значения | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0-0,1 | 0,1-0,2 | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | 0,4-0,5 | 0,5-0,6 | 0,6-0,7 | 0,7-0,8 | 0,8-0,9 | 0,9-1,0 |
| Территории с газопроявлениями | 0 | 0,021 | 0,037 | 0,053 | 0,144 | 0,213 | 0,294 | 0,208 | 0,025 | 0,005 |
| Территории без газопоявлений | 0,010 | 0,137 | 0,176 | 0,122 | 0,165 | 0,139 | 0,155 | 0,091 | 0,005 | 0 |

Разработка модели прогноза нефтегазоносности Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей по данным газопроявлений

Анализ распределений Z_H и построение вероятностной модели принадлежности к классу нефтегазоносных территорий выполнялись аналогично, как и в случае с газопроявлениями в толще ВКМКС. Для прогноза нефтегазоносности была использована выборка скважин в пределах площадей сейсморазведочных работ 3D, по которой был проведен анализ средних значений и функций плотности распределения критериев, характеризующих газодинамические явления для выборки скважин в контуре и вне контура месторождений.

Выполнено сравнение средних значений Z_H по скважинам, расположенным в контурах нефтегазоносности (класс 1, $n=86$), и площадям, где нефтегазоносность не установлена (класс 2, $n=80$) с помощью t -критерия Стьюдента по обучающей выборке (см. рис. 1) объемом 166 скважин (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение средних значений, вероятностная модель

| Показатель | Статистические характеристики показателей | | Критерии $\frac{t}{p}$ | Верхняя строка - уравнение вероятности принадлежности к классу в контуре нефтегазоносности; средняя - область применения модели; нижняя - диапазон изменения вероятности. |
|------------|--|--|----------------------------|---|
| | Класс 1 В контуре нефтегазоносности $n=86$ | Класс 2 Вне контура нефтегазоносности $n=80$ | | |
| Z_H | $-0,390 \pm 1,069$ | $-0,603 \pm 1,074$ | $\frac{1,28411}{0,200913}$ | $P_H(Z_H) = 0,523 + 0,04616 * Z_H$ $-3,007 \text{ — } 2,044$ $0,384 \text{ — } 0,617$ |
| $P_H(Z_H)$ | $0,505 \pm 0,049$ | $0,495 \pm 0,049$ | $\frac{1,36904}{0,172857}$ | |

Статистической значимости в различиях средних значений классов не установлено. При этом переход к вероятностному пространству позволяет снизить достигаемый уровень значимости.

По рассчитанным значениям $R_n(Zn)$ построена схема вероятности нефтегазоносности по площади исследований (рис. 3).

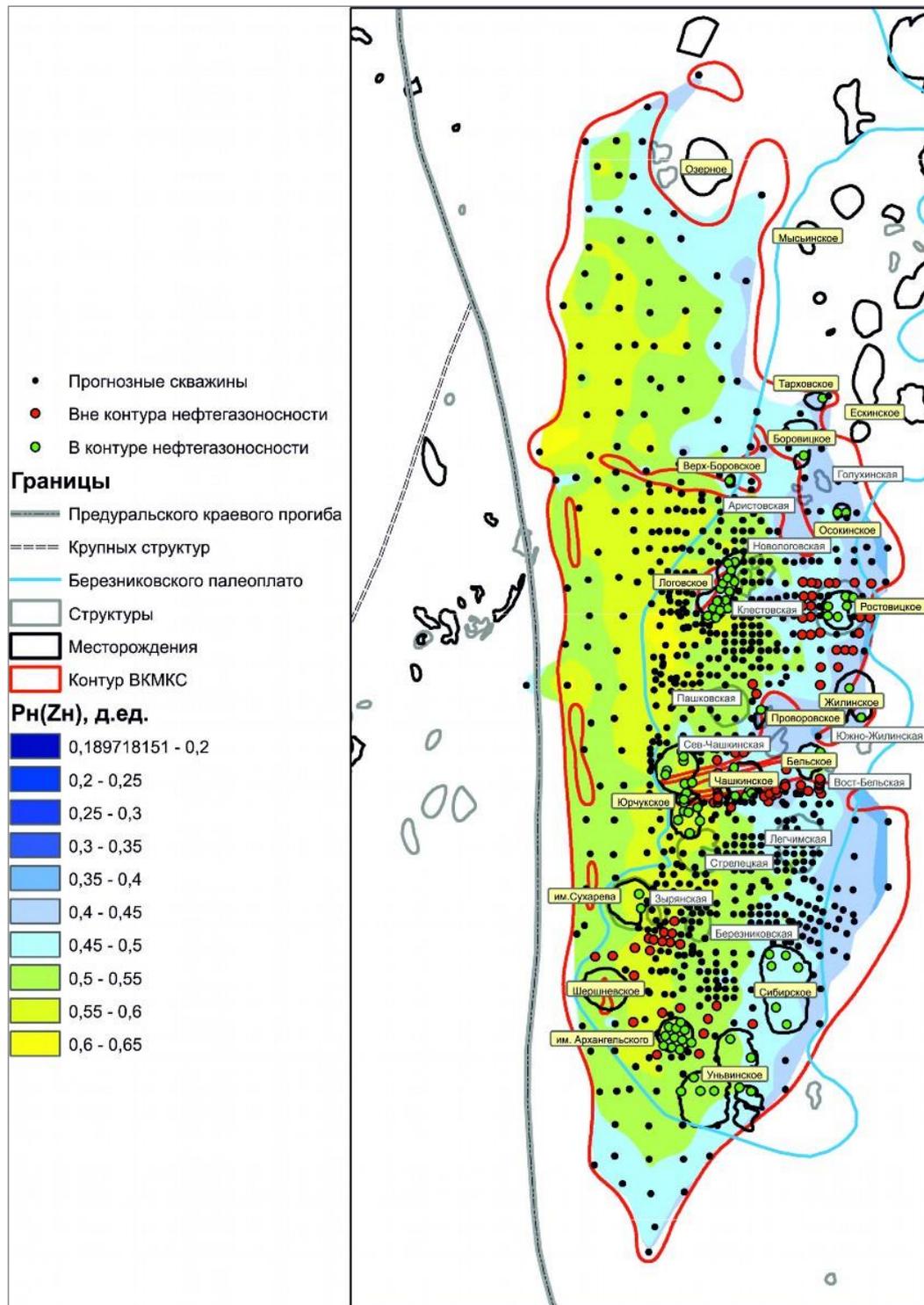


Рис. 3. Схема зонального прогноза нефтегазоносности территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей по критерию $R_n(Zn)$

Диапазон изменения вероятности $P_n(Z_n)$ находится в диапазоне от 0,36 до 0,65 д.ед. На схеме наблюдается отчетливый тренд - значения $P_n(Z_n) > 0,5$ д.ед. находятся в западной части контура ВКМКС. Вне пределов разрабатываемых месторождений наибольшими значениями критерия нефтегазоносности $P_n(Z_n)$ в диапазоне 0,55-0,65 д.ед. характеризуются участки, расположенные в районе западной границы Березниковского палеоплато, западнее от Логовского месторождения и западнее от Боровицкого прогиба. Максимальные значения $P_n(Z_n)$ в этих районах равны 0,58 д.ед. (скв. 1000), 0,63 д.ед. (скв. 7) и 0,62 д.ед. (скв. 317) соответственно.

Среди выявленных и подготовленных структур, расположенных в рамках территории исследования, шесть из двенадцати обладают значениями критерия $P_n(Z_n) > 0,50$ д.ед.: Зыряновская, Стрелецкая, Березниковская, Пашковская, Новологовская, Клестовская и частично Легчимская.

Несмотря на отсутствие статистической значимости, полученная схема хорошо согласуется с региональными особенностями миграции углеводородов на территории Соликамской депрессии – погружение основных нефтегазоносных толщ происходило в восточном направлении. Таким образом, использование критерия $P_n(Z_n)$ не противоречит представлениям в части процессов, повлиявших на распределение нефтегазоносности на изучаемой площади, и имеет четко выраженную зональность.

Выводы

Выполненный анализ газопроявлений по площади и разрезу показал, что наблюдается определенное группирование выделения газов. По этим группам критериев построены индивидуальные одномерные вероятностные модели прогноза газоносности. Индивидуальные вероятности являлись основой вычисления дискриминантной функции Z_n для прогнозирования газоносности в толще солей.

На основании полученных данных построены индивидуальные и комплексные модели прогноза газодинамических явлений на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей и схема прогноза газоносности. По группе показателей разработан комплексный критерий нефтегазоносности $P_n(Z_n)$, основанный на нахождении канонической дискриминантной функции Z_n . По рассчитанным значениям $P_n(Z_n)$ построена схема вероятности нефтегазоносности по площади исследований.

Полученные результаты могут быть применены для выбора наиболее перспективных зон для последующего проведения детальных геологоразведочных работ, в частности сейсморазведочными работами. Наиболее высокие значения критерия вероятности нефтегазоносности $P_n(Z_n)$ соответствуют западной границе ВКМКС, которая характеризуется

слабой геолого-геофизической изученностью. Следует отметить, что большая часть перспективных земель находятся под акваторией р. Кама, населенными пунктами и болотами. Также на основе анализа критерия $R_n(\text{Zn})$ установлено, что наиболее перспективными с точки зрения первоочередности постановки поисково-оценочного бурения на территории ВКМКС являются Зырянская, Стрелецкая, Березниковская, Пашковская структуры. Помимо этого, разработанная модель может быть использована для дальнейшего комплексирования с другими показателями для повышения качества прогноза нефтегазоносности территории ВКМКС.

Литература

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.

Андрейко С.С., Иванов О.В., Нестеров Е.А. Борьба с газодинамическими явлениями при разработке Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей // Научные исследования и инновации. – 2010. – Т.3. - №4. – С.34–37.

Андрейко С.С., Лялина Т.А. Исследования газовыделений из геологоразведочных скважин на Верхнекамском месторождении калийных солей // Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – №2. – С.33-38.

Галкин В.И., Козлова И.А., Кривощев С.Н., Мелкишев О.А. К обоснованию построения моделей зонального прогноза нефтегазоносности для нижне-средневизейского комплекса Пермского края // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №8. – С.32-35.

Галкин В.И., Мелкишев О.А., Варушкин С.В., Андрейко С.С., Лялина Т.А. Разработка статистической модели прогноза нефтегазоносности по газовыделениям в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // 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.

Кривощев С.Н., Галкин В.И., Волкова А.С. Разработка вероятностно-статистической методики прогноза нефтегазоносности структур // Нефтепромысловое дело. – 2010. – №7. – С.28-31.

Кривощев 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 научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – №4. – С.7-14.

Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – 429 с.

Соснин Н.Е. Разработка статистических моделей для прогноза нефтеносности (на примере терригенных девонских отложений Северо-Татарского свода) // Вестник Пермского научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – №5. – С.16-25.

Шайхутдинов А.Н. Разработка вероятностных моделей для прогноза нефтегазоносности верхнеюрских отложений (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз») // Вестник Пермского научно-исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – №11. – С.11-28.

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

Varushkin S.V.

LLC «LUKOIL-PERM»; Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, geologist-07@mail.ru

USING DATA ON THE GAS CAPABILITY OF THE SALT SECTION OF THE SOLIKAMSK DEPRESSION FOR THE FORECASTING OF PETROLEUM POSSIBILITY OF SUBSALT SEQUENCES

To solve the problem of choosing the most priority areas for setting up geological exploration, a probabilistic-statistical model for predicting oil and gas content based on gas evolution data and morphology of the sedimentary cover of the Solikamsk Depression has been developed. The obtained models make it possible to construct schemes for predicting gas manifestations and zonal prediction of oil and gas potential within the Verkhnekamsk deposit of potassium and magnesium salts. Application of the results of this study will increase the success of geological exploration for the search for hydrocarbon accumulations.

Keywords: *gas content of salts, gas-dynamic phenomena, probabilistic-statistical model, forecast of oil and gas potential, Verkhnekamsk deposit of potassium and magnesium salts, Solikamsk Depression.*

References

Andreyko S.S., Ivanov O.V., Litvinovskaya N.A. *Prognozirovaniye i predotvrashcheniye gazodinamicheskikh yavleniy iz pochvy pri prokhodke podgotovitel'nykh vyrabotok v podrabotannom massive solyanykh porod* [Prediction and prevention of gas-dynamic phenomena from the soil during the excavation of preparatory workings in the undermined mass of salt rocks]. Perm': Izd-vo Perm. nats. issled. politekh. un-ta, 2015, 158 p.

Andreyko S.S., Ivanov O.V., Nesterov E.A. *Bor'ba s gazodinamicheskimi yavleniyami pri razrabotke Verkhnekamskogo i Starobinskogo mestorozhdeniy kaliynykh soley* [Fight against the gasdynamic phenomena during developing Verkhnekamsk and Starobinsk deposits of potash salts]. Nauchnye issledovaniya i innovatsii, 2010, vol.3, no.4, pp.34–37.

Andreyko S.S., Lyalina T.A. *Issledovaniya gazovydeleniy iz geologorazvedochnykh skvazhin na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliynykh soley* [Gas release studies from exploration wells at the Verkhnekamsk deposit of potash salts]. Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal, 2017, no.2, pp.33-38.

Galkin V.I., Kozlova I.A., Krivoshchekov S.N., Melkisev O.A. *K obosnovaniyu postroeniya modeley zonal'nogo prognoza neftegazonosnosti dlya nizhne-srednevizeyskogo kompleksa Permskogo kraya* [On the rationale for constructing models of the zonal forecast of oil and gas potential for the Lower Middle Visean of the Perm Region]. Neftyanoe khozyaystvo, 2015, no.8, pp.32-35.

Galkin V.I., Melkisev O.A., Varushkin S.V., Andreyko S.S., Lyalina T.A. *Razrabotka statisticheskoy modeli prognoza neftegazonosnosti po gazovydeleniyam v tolshche Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliyno-magnievyykh soley* [Development of the statistical model to forecast oil and gas potential according to gas content in the Verkhnekamsk deposit of potassium and magnesium salts]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 2020, vol.20, no.1, pp.4-13. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.1

Krivoshchekov S.N., Galkin V.I., Kozlova I.A. *Opredeleniye perspektivnykh uchastkov geologorazvedochnykh rabot na nefte' veroyatnostno-statisticheskimi metodami na primere territorii Permskogo kraya* [Definition of perspective sites of exploration works on oil by probabilistic and statistical methods on the example of the territory of Perm Krai]. Vestnik Permskogo nauchno-issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 2012, no.4, pp.7-14.

Krivoshchekov S.N., Galkin V.I., Volkova A.S. *Razrabotka veroyatnostno-statisticheskoy metodiki prognoza neftegazonosnosti struktur* [Development of probabilistic and statistical methods

for predicting oil and gas content of the petroleum bearing structures]. Neftepromyslovoe delo, 2010, no.7, pp.28-31.

Kudryashov A.I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley* [The Verkhnekamsk deposit of salts]. Perm': GI UrO RAN, 2013, 429 p.

Shaykhutdinov A.N. *Razrabotka veroyatnostnykh modeley dlya prognoza neftegazonosnosti verkhneyurskikh otlozheniy (na primere territorii deyatel'nosti TPP «Kogalymneftegaz»)* [Development of probabilistic models for predicting of petroleum content for Upper-Jurassic (on the example of the territory of activity of TPP «Kogalymneftegaz»)]. Vestnik Permskogo nauchno-issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 2014, no.11, pp.11-28.

Sosnin N.E. *Razrabotka statisticheskikh modeley dlya prognoza neftenosnosti (na primere terrigennykh devonskikh otlozheniy Severo-Tatarskogo svoda)* [Development of statistical models for predicting oil and gas potential (for example, terrigenous Devonian of the North Tatar arch)]. Vestnik Permskogo nauchno-issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 2012, no.5, pp.16-25.

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

© Варушкин С.В., 2020

