

На правах рукописи

**ВАРУШКИН СТАНИСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА  
НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕКАМСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ**

25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пермь – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Научный руководитель: **Галкин Владислав Игнатьевич**,  
доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Бородкин Владимир Николаевич**,  
доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
профессор кафедры «Геологии месторождений нефти и газа» Тюменского индустриального университета

**Юрьев Александр Вячеславович**,  
кандидат технических наук, ведущий инженер  
Управления проектного сопровождения  
лабораторных исследований Центра исследования  
керна и пластовых флюидов Филиала  
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть»  
в г. Перми

Ведущая организация: Публичное акционерное общество  
«Пермнефтегеофизика», г. Пермь

Защита диссертации состоится 05 октября 2021 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Пермского национального исследовательского политехнического университета Д ПНИПУ.05.05 по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» ([www.pstu.ru](http://www.pstu.ru)).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.05,  
кандидат технических наук, доцент

Мелехин А.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Для восполнения минерально-сырьевой базы углеводородов (УВ) Пермского края за счет геолого-разведочных работ необходима активизация работ по исследованию недоизученных территорий и объектов. В настоящее время на территории платформенной части Пермского края открыты и разведаны все крупные и средние месторождения нефти и газа, тогда как в пределах Соликамского нефтегазоносного района возможность открытия таких месторождений существует, особенно на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС).

Оценка нефтеносности территории ВКМКС является достаточно сложной, так как в верхней части разреза располагается уникальное месторождение калийно-магниевых солей, что затрудняет проведение поисково-оценочного бурения.

Поэтому для оценки нефтеносности целесообразно использовать дополнительные критерии, связанные с наличием этой толщи. В качестве источников информации могут выступать данные по газопроявлениям в соленосной толще, которые рассматриваются как результат субвертикальной миграции из нижерасположенных нефтегазоносных толщ.

В рамках диссертационной работы представлены возможности использования вероятностно-статистических методов для разработки моделей прогноза зональной нефтегазоносности по данным газовыделений и их комплексирования с другими геологическими параметрами, которые характеризуют нефтегазоносность отложений для решения задач геолого-разведочных работ (ГРР).

**Степень разработанности темы исследования.** Изучение аспектов нефтегазоносности территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции является основным направлением исследований кафедры «Геологии нефти и газа» ФГБОУ ВО «ПНИПУ».

Прогнозу нефтегазоносности с использованием математического аппарата посвящены работы таких ученых и специалистов как В.И. Галкин, А.В. Растегаев, С.Н. Кривошеков, И.А. Козлова, И.В. Ванцева, В.Н. Бородкин, Г.С. Поротов, И.М. Михалевич, R.N. Horne, T. Darling и др.

Вопрос построения вероятностно-статистических моделей нефтегазоносности подсолевых отложений территории ВКМКС по данным газоносности соляной толщи ранее не рассматривался.

**Целью работы** является повышение эффективности проведения ГРР на территории ВКМКС путем комплексирования разработанного критерия, основанного на характеристиках газоносности и геологического строения соляной толщи, с другими используемыми вероятностно-статистическими критериями нефтегазоносности.

В соответствии с целью работы сформулированы следующие **основные задачи исследования**:

1. Обоснование создания вероятностно-статистических моделей для прогноза нефтегазоносности ВКМКС по данным газопроявлений, наблюдаемых в соленосной толще, и вероятностно-статистическим критериям, оценивающим морфологические, геохимические и миграционные критерии нефтегазоносности разреза.

2. Районирование территории ВКМКС по степени перспектив нефтегазоносности.

3. Выбор наиболее приоритетных участков для проведения дальнейших поисковых работ и ранжирования перспективных структур для постановки ГРП.

**Объектом исследования** является часть территории Соликамского нефтегазоносного района Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, находящаяся в пределах ВКМКС.

**Научная новизна и теоретическая значимость выполненной работы.** Разработаны модели прогноза зональной и локальной нефтегазоносности подсолевых отложений территории ВКМКС по комплексу разработанных критериев, включая впервые разработанные вероятностно-статистические модели, построенные по данным газоносности соляной толщи и особенностей её геологического строения.

**Практическая значимость исследования** заключается в том, что разработанные модели позволяют снизить геологические риски при выборе объектов для проектирования ГРП и тем самым повысить успешность поисковых работ на рассматриваемом участке недр.

На основе анализа зонально-локального критерия нефтегазоносности установлено, что наиболее перспективными с точки зрения первоочередности постановки поисково-оценочного бурения на территории ВКМКС являются Зыряновская (вост. купол), Легчимская, Южно-Жилинская, Пашковская и Северо-Чашкинская структуры. Обоснованы перспективные участки для проведения детальных сейсморазведочных работ МОГТ 3D. Помимо этого, разработанная модель может быть использована для дальнейшего комплексирования с другими критериями, которые характеризуют нефтегазоносность территории ВКМКС для повышения качества прогноза. Результаты исследования рекомендованы для включения в Стратегию ГРП ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» на 2021-2032 годы.

**Методология и методы исследования.** В работе применены вероятностно-статистические методы: сопоставление средних значений характеристик, построение линейных вероятностных моделей, пошаговый линейный дискриминантный анализ, множественная регрессия, построение условных комплексных вероятностей.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Комплекс информативных критериев, характеризующих газоносность и особенности геологического строения соленосной толщи территории ВКМКС, которые в комплексе с другими критериями позволяют выполнить зонально-локальную оценку перспектив нефтегазоносности данной территории.

2. Комплексная вероятностно-статистическая модель прогноза нефтегазоносности территории ВКМКС.

3. Ранжирование подготовленных и выявленных структур, основанное на использовании разработанных многоуровневых многомерных вероятностно-статистических моделях.

**Степень достоверности результатов работы** обеспечивается привлечением значительного объема геологических данных и применением вероятностно-статистических методов для их обработки.

В качестве исходной информации использовались данные о геологическом строении района работ и сведения о газовыделениях, зафиксированных при бурении скважин на территории ВКМКС. Для разработки моделей прогноза газопроявлений выполнен анализ сведений по 251 событию в 187 скважинах, приведенных в архивных данных и отчетах по поисково-оценочным работам за период с 1929 по 2016 гг.

**Апробация и реализация результатов исследования.** Результаты работы были представлены: на конкурсе молодых работников ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» на лучшую научно-техническую разработку (в 2016-2020 гг.); на X и XI Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» г. Пермь (в 2017-2018 г.); на X Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» г. Пермь (в 2017 г.); на конкурсе ПАО «ЛУКОЙЛ» на лучшую научно-техническую разработку молодых ученых и специалистов (в 2019 г.); на Международном конкурсе научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие топливно-энергетической и добывающей отрасли Министерства энергетики РФ (в 2019 г.).

Автором опубликовано 9 научных работ по теме диссертации, из них 5 в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников (из 123 наименований). Текст изложен на 125 страницах машинописного текста, включает 19 таблиц, 36 рисунков и 2 приложения.

Автор выражает благодарность научному руководителю, заслуженному деятелю наук РФ, д.г.-м.н., профессору Владиславу Игнатьевичу Галкину. Признательность за консультации и поддержку в работе над диссертацией автор выражает к.т.н. О.А. Мелкишеву, к.т.н. А.Ю. Назарову и к.г.-м.н. Е.В. Пятуниной.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и основные задачи исследования, защищаемые положения, научная новизна и практическая ценность работы.

**В первой главе** приводится информация о газоносности территории ВКМКС. Проведен статистический анализ компонентного состава свободных газов соляной толщи. Обоснована связь наличия газопроявлений в солях с процессом субвертикального массопереноса углеводородов из нижележащих отложений.

Анализ распределения газопроявлений по пластам проведен по 251 событию в 187 скважинах. Наибольшее количество газопроявлений установлено в пластах В, Г, Д, Е, которое составляет 11-12 % от всех зафиксированных явлений во всем разрезе калийной залежи ВКМКС. В пластах А, АБ, Ж и З произошло 4-5 % случаев. В пласте КрI наблюдается наименьшее количество газопроявлений, что связано с его невыдержанностью в плане. В породах выше и ниже основной части соляной залежи количество случаев газопроявлений незначительно.

Состав свободных газов показал, что содержание  $\text{CH}_4$  по пластам различно, наиболее часто метан встречается в пласте АБ в широком диапазоне концентраций от 8,8% до 54% и в пласте КрII в диапазоне значений от 1,7% до 48,4%. Наибольшие средние значения содержания метана  $\text{CH}_4$  имеют пласты Г, Вс, АБ, КрI. Тяжелые предельные углеводороды имеют более высокие средние значения в пластах Г, КрI, КрII и КрIII.

Наличие тяжелых газообразных УВ  $\text{C}_2\text{H}_6\text{--C}_4\text{H}_{10}$  в пробах свидетельствует о наличии нефтегазоносных скоплений в нижележащих отложениях, так как генерация рассматриваемых газов из рассеянного органического вещества в биохимической фазе нефтеобразования ничтожно мало<sup>1</sup>. Таким образом, в отличие от метана содержание газообразных УВ  $\text{C}_2\text{H}_6\text{--C}_4\text{H}_{10}$  в соляной толще является хорошим индикатором эпигенетичности газов.

---

<sup>1</sup> *Справочник по геохимии нефти и газа / под ред. С.Г. Неручева. – СПб.: Недра, 1998. – 576 с.*

В ряде случаев наблюдается определенное группирование газопроявлений, которое можно проанализировать с использованием вероятностно-статистических методов. Получаемые в результате разработки математические модели, построенные по данным газоносности соляной толщи, будут в дальнейшем использованы для оценки перспектив нефтегазоносности рассматриваемой территории.

Во второй главе для прогнозирования и локализации газопроявлений по площади ВКМКС проведен анализ имеющихся данных о геологическом строении, разработаны критерии и модели прогноза газопроявлений, учитывающие комплекс показателей, включающих абсолютные отметки, мощности и состав соляных толщ [1].

Для разработки моделей прогноза газовыделений было выполнено сравнение средних значений параметров по площадям, где наблюдались газопроявления (класс 1) и площадям, где они не наблюдались (класс 2) по обучающей выборке объемом 374 скважины (рис. 2.1).

Анализ производилось при помощи  $t$ -критерия Стьюдента и критерия Пирсона  $\chi^2$  по трем группам критериев, которые включают в себя:

- 18 характеристик связанных с мощностью продуктивных пластов солей и их количеством;
- 11 характеристик структурного плана территории (гипсометрические отметки основных отражающих горизонтов и пластов солей);
- 28 характеристик химического состава пластов солей (концентрации KCl и MgCl<sub>2</sub>).

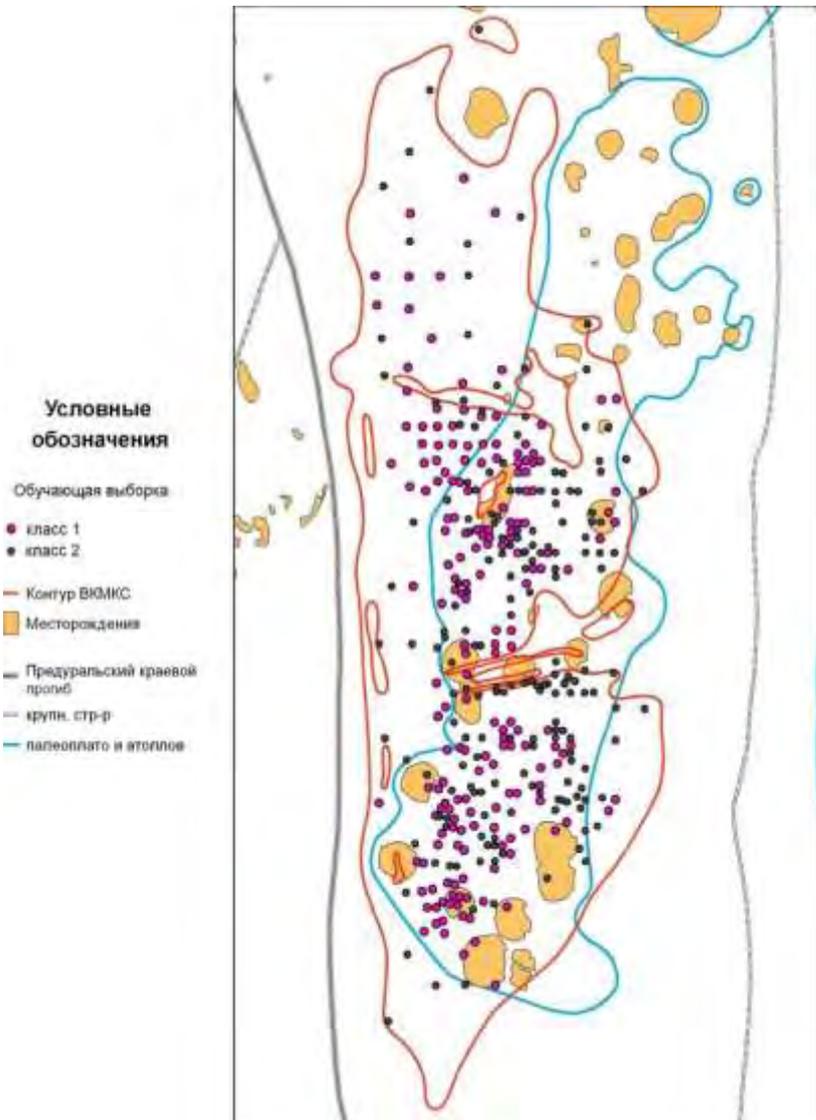


Рис. 2.1. Схема расположения скважин из обучающей выборки для прогноза газопроявлений

Построение индивидуальных вероятностных моделей основано на изучении плотности распределений двух классов. На первом этапе строятся гистограммы для классов 1 и 2 [1]. Затем определялись частоты объектов, попавших в различные интервалы варьирования показателя. По этим данным, в каждом интервале вычислялись вероятности принадлежности к территориям с газопроявлениями. Далее интервальные вероятности принадлежности к 1 классу сопоставляются со средними интервальными значениями показателя. По этим величинам рассчитывается парный коэффициент корреляции  $r$  и строится уравнение регрессии. Последующая корректировка этих моделей выполняется из условия, что среднее значение вероятностей для территорий с газопроявлениями должно быть больше 0,5, а для территорий за пределами зон газопроявлений меньше 0,5<sup>2</sup>.

Анализ построенных одномерных вероятностно-статистических моделей прогноза газопроявлений показал:

- *по мощностным характеристикам*: с увеличением мощности пластов происходит увеличение вероятности газопроявлений [1];

- *по характеристикам структурного плана*: в пределах толщи солей, только при возрастании абсолютных отметок кровли покровной каменной соли наблюдается увеличение вероятности газопроявлений [2];

- *по характеристикам химического состава соляных толщ*: наблюдаются прямые зависимости количества газопроявлений от концентрации  $MgCl_2$  и обратные от концентрации  $KCl$  в пластах (за исключением пласта КрIII) [3].

Модели, построенные по группам показателей, и области их использования приведены в табл. 2.1.

Для комплексной оценки связи вероятностей вычисленных с помощью построенных линейных моделей с газоносностью использован пошаговый линейный дискриминантный анализ (ПЛДА) [1-3]. Для анализа используется такое сочетание признаков, при котором происходит максимальное разделение территорий по критерию газоносности. Для разработки данных моделей использовались данные по эталонной выборке, по которой строились линейные модели (класс 1 – 187 значений, класс 2 -187 значений).

---

<sup>2</sup> Галкин В.И., Кошкин К.А., Мелкишев О.А. Обоснование зональной нефтегазоносности территории Висимской моноклинали по геохимическим критериям // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т.18, №1. – С.4–15. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.1

Сравнение средних значений и индивидуальные вероятностные модели по группам критериев газоносности территории

Показатель	Статистические характеристики показателей*		Критерии		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	$\frac{t}{p}$	$\frac{\chi^2}{p}$	
<i>Группа мощностных характеристик</i>					
Мпкс, м	$\frac{22,2 \pm 7,1}{0,506 \pm 0,063}$	$\frac{20,3 \pm 6,5}{0,488 \pm 0,059}$	$\frac{2,817}{0,005}$	$\frac{8,585}{0,014}$	$P(\text{Мпкс}) = 0,306 + 0,0090 \times \text{Мпкс}$ 0,5 — 76,5м 0,31 — 0,99
Нпл, штук	$\frac{11,7 \pm 1,8}{0,523 \pm 0,076}$	$\frac{10,7 \pm 25,6}{0,480 \pm 0,135}$	$\frac{4,230}{0,000}$	$\frac{36,188}{0,000}$	$P(\text{Нпл}) = 0,036 + 0,04174 \times \text{Нпл}$ 1 — 13штук 0,07 — 0,58
Мс, м	$\frac{100,0 \pm 23,0}{0,540 \pm 0,124}$	$\frac{82,0 \pm 27,6}{0,440 \pm 0,151}$	$\frac{6,845}{0,000}$	$\frac{45,835}{0,000}$	$P(\text{Мс}) = 0,00 + 0,540 \times \text{Мс}$ 0,5 — 185м 0,00 — 0,99
МплК, м	$\frac{0,93 \pm 0,41}{0,501 \pm 0,024}$	$\frac{0,89 \pm 0,40}{0,498 \pm 0,151}$	$\frac{0,967}{0,334}$	$\frac{1,931}{0,941}$	$P(\text{МплК}) = 0,445 + 0,06011 \times \text{МплК}$ 0,15 — 2,80м 0,45 — 0,61
МплЗ, м	$\frac{0,58 \pm 0,36}{0,501 \pm 0,013}$	$\frac{0,62 \pm 0,54}{0,499 \pm 0,018}$	$\frac{-0,628}{0,530}$	$\frac{1,404}{0,496}$	$P(\text{МплЗ}) = 0,521 - 0,0355 \times \text{МплЗ}$ 0,05 — 7,00м 0,28 — 0,52
МплЕ, м	$\frac{8,82 \pm 5,07}{0,511 \pm 0,069}$	$\frac{6,68 \pm 4,28}{0,482 \pm 0,005}$	$\frac{4,401}{0,000}$	$\frac{23,412}{0,000}$	$P(\text{МплЕ}) = 0,391 + 0,01370 \times \text{МплЕ}$ 0,20 — 43,80м 0,39 — 0,99
МплВ, м	$\frac{6,69 \pm 3,26}{0,502 \pm 0,012}$	$\frac{5,28 \pm 3,62}{0,497 \pm 0,014}$	$\frac{3,947}{0,000}$	$\frac{16,670}{0,000}$	$P(\text{МплВ}) = 0,476 + 0,00398 \times \text{МплВ}$ 0,15 — 19,25м 0,47 — 0,55
МплБ, м	$\frac{2,01 \pm 0,89}{0,501 \pm 0,011}$	$\frac{1,89 \pm 1,23}{0,499 \pm 0,015}$	$\frac{0,996}{0,320}$	$\frac{2,021}{0,364}$	$P(\text{МплБ}) = 0,476 + 0,0126 \times \text{МплБ}$ 0,15 — 9,85м 0,47 — 0,60
МплКрI, м	$\frac{1,14 \pm 0,42}{0,503 \pm 0,025}$	$\frac{1,04 \pm 0,40}{0,496 \pm 0,024}$	$\frac{2,717}{0,007}$	$\frac{6,241}{0,044}$	$P(\text{МплКрI}) = 0,435 + 0,05974 \times \text{МплКрI}$ 0,07 — 4,20м 0,43 — 0,68
МплКрII, м	$\frac{4,64 \pm 1,61}{0,501 \pm 0,018}$	$\frac{4,51 \pm 1,89}{0,499 \pm 0,021}$	$\frac{0,776}{0,438}$	$\frac{1,317}{0,576}$	$P(\text{МплКрII}) = 0,447 + 0,01138 \times \text{МплКрII}$ 0,35 — 13,35м 0,45 — 0,59
МплКрIII, м	$\frac{4,70 \pm 1,92}{0,505 \pm 0,050}$	$\frac{4,27 \pm 2,07}{0,494 \pm 0,054}$	$\frac{2,068}{0,039}$	$\frac{4,443}{0,108}$	$P(\text{МплКрIII}) = 0,382 + 0,0261 \times \text{МплКрIII}$ 0,20 — 16,25м 0,38 — 0,78
<i>Группа характеристик структурного плана</i>					
Н2к, м ОГ Пк	$\frac{-1948,5 \pm 94,8}{0,533 \pm 0,101}$	$\frac{-2004,5 \pm 123,4}{0,473 \pm 0,132}$	$\frac{4,921}{0,000}$	$\frac{25,985}{0,000}$	$P(\text{Н2к}) = 2,618 + 0,00107 \times \text{Н2к}$ -2304,7 — -1540,5м 0,15 — 0,97
НАт, м ОГА <sup>к</sup> <sub>тер</sub>	$\frac{-768,1 \pm 60,6}{0,500 \pm 0,015}$	$\frac{-764,1 \pm 64,7}{0,499 \pm 0,016}$	$\frac{-0,619}{0,536}$	$\frac{1,046}{0,593}$	$P(\text{НАт}) = 0,695 + 0,0025 \times \text{НАт}$ -868,1 — -514,5м 0,47 — 0,56
Нускв, м (альтитуда скв.)	$\frac{151,0 \pm 31,7}{0,523 \pm 0,117}$	$\frac{157,4 \pm 30,6}{0,499 \pm 0,113}$	$\frac{-1,997}{0,047}$	$\frac{8,585}{0,0137}$	$P(\text{Нускв}) = 1,082 - 0,0037 \times \text{Нускв}$ 106,00 — 247,23м 0,17 — 0,69
Нпкс, м кровля ПКС	$\frac{-76,27 \pm 65,91}{0,500 \pm 0,003}$	$\frac{-77,29 \pm 77,10}{0,500 \pm 0,059}$	$\frac{0,138}{0,890}$	$\frac{1,061}{0,588}$	$P(\text{Нпкс}) = 0,503 + 0,0005 \times \text{Нпкс}$ -391,8 — 72,6м 0,48 — 0,51

Показатель	Статистические характеристики показателей*		Критерии		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 газопоявлений n=187	$\frac{t}{p}$	$\frac{\chi^2}{p}$	
Нпдкс, м кровля ПДКС	$\frac{-171,6 \pm 67,3}{0,512 \pm 0,060}$	$\frac{-151,7 \pm 67,5}{0,495 \pm 0,063}$	$\frac{-2,576}{0,0104}$	$\frac{6,733}{0,035}$	$P(\text{Нпдкс}) = 0,358 - 0,0009 \times \text{Нпдкс}$ -431,5 — 40,7м 0,32 — 0,74
Нкп, м кровля КП	$\frac{-92,71 \pm 70,94}{0,500 \pm 0,012}$	$\frac{-88,42 \pm 86,79}{0,500 \pm 0,014}$	$\frac{-0,525}{0,600}$	$\frac{0,995}{0,595}$	$P(\text{Нкп}) = 0,484 - 0,002 \times \text{Нкп}$ -406,6 — 93,0м 0,47 — 0,55
<i>Группа характеристик химического состава соляных толиц</i>					
Е-KCl,%	0,540±0,064	0,488±0,101	$\frac{-5,901}{0,000}$	$\frac{33,482}{0,000}$	$P(\text{E} - \text{KCl}) = 0,781 - 0,0172 \times \text{E} - \text{KCl}$ 4,03 — 45,27% 0,01 — 0,71
В-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,527±0,112	0,473±0,117	$\frac{4,575}{0,000}$	$\frac{20,668}{0,000}$	$P(\text{B} - \text{MgCl}_2) = 0,347 + 0,01302 \times \text{B} - \text{MgCl}_2$ 0,01 — 29,21% 0,34 — 0,71
К-KCl,%	0,501±0,005	0,498±0,005	$\frac{-4,626}{0,000}$	$\frac{20,967}{0,000}$	$P(\text{K} - \text{KCl}) = 0,518 - 0,0012 \times \text{K} - \text{KCl}$ 4,20 — 51,01% 0,45 — 0,51
Е-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,532±0,101	0,469±0,140	$\frac{5,005}{0,000}$	$\frac{26,246}{0,000}$	$P(\text{E} - \text{MgCl}_2) = 0,273 + 0,01959 \times \text{E} - \text{MgCl}_2$ 0,01 — 29,60% 0,27 — 0,81
К1-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,501±0,001	0,499±0,001	$\frac{3,171}{0,002}$	$\frac{9,968}{0,007}$	$P(\text{K1} - \text{MgCl}_2) = 0,499 + 0,00579 \times \text{K1} - \text{MgCl}_2$ 0,02 — 1,96% 0,49 — 0,51
К3-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,501±0,003	0,499±0,001	$\frac{-0,149}{0,882}$	$\frac{0,987}{0,941}$	$P(\text{K3} - \text{MgCl}_2) = 0,507 - 0,0337 \times \text{K3} - \text{MgCl}_2$ 0,01 — 3,76% 0,38 — 0,51
К3-KCl,%	0,514±0,071	0,486±0,088	$\frac{-3,342}{0,001}$	$\frac{12,824}{0,002}$	$P(\text{K3} - \text{KCl}) = 0,696 - 0,0133 \times \text{K3} - \text{KCl}$ 3,30 — 49,40% 0,04 — 0,65
К2-KCl,%	0,502±0,030	0,498±0,032	$\frac{-1,230}{0,219}$	$\frac{3,524}{0,172}$	$P(\text{K2} - \text{KCl}) = 0,610 - 0,0042 \times \text{K2} - \text{KCl}$ 8,64 — 54,16% 0,38 — 0,58
АБ-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,501±0,029	0,498±0,029	$\frac{1,148}{0,252}$	$\frac{2,098}{0,350}$	$P(\text{АБ} - \text{MgCl}_2) = 0,480 + 0,00610 \times \text{АБ} - \text{MgCl}_2$ 0,30 — 20,90% 0,48 — 0,61
И-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,504±0,044	0,495±0,048	$\frac{1,805}{0,072}$	$\frac{4,267}{0,118}$	$P(\text{И} - \text{MgCl}_2) = 0,405 + 0,00755 \times \text{И} - \text{MgCl}_2$ 0,04 — 32,49% 0,40 — 0,65
К2-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,501±0,001	0,499±0,001	$\frac{3,098}{0,002}$	$\frac{9,641}{0,008}$	$P(\text{K2} - \text{MgCl}_2) = 0,449 + 0,00571 \times \text{K2} - \text{MgCl}_2$ 0,02 — 1,47% 0,49 — 0,51
Б-MgCl <sub>2</sub> ,%	0,502±0,037	0,497±0,037	$\frac{1,428}{0,154}$	$\frac{2,714}{0,257}$	$P(\text{B} - \text{MgCl}_2) = 0,473 + 0,00495 \times \text{B} - \text{MgCl}_2$ 0,01 — 27,30% 0,47 — 0,61

\* - в числителе – среднее значение ± стандартное отклонение показателя, в знаменателе – среднее значение ± стандартное отклонение вероятностей по этому показателю [1-3].

При использовании метода ПЛДА получены следующие функции (1-3):

1. *Группа критериев по мощности и количеству соляных пластов:*

$$Z_M = -17,927 + 2,662 \times P(M_c) - 24,132 \times P(M_{плБ}) + 13,853 \times P(M_{плЗ}) + 6,219 \times P(M_{пкс}) + 12,600 \times P(M_{плКрI}) + 6,163 \times P(M_{плЕ}) + 2,796 \times P(N_{пл}) + 3,673 \times P(M_{плКрIII}) + 14,838 \times P(M_{плВ}) + 6,725 \times P(M_{плК}) - 9,400 \times P(M_{плКрII}), \text{ при } R = 0,401, \chi^2 = 63,9412, p = 0,000. \quad (1)$$

2. *Группа критериев по гипсометрическим отметкам пластов солей и основным отражающим горизонтам:*

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

3. *Группа критериев по мощности и количеству соляных пластов:*

$$Z_X = 5,175 \times P(E - KCl) + 2,473 \times P(B - MgCl_2) + 49,390 \times P(K - KCl) + 3,369 \times P(E - MgCl_2) + 190,632 \times P(K_1 - MgCl_2) + 87,458 \times P(K_3 - MgCl_2) + 4,425 \times P(K_3 - KCl) - 7,795 \times P(K_2 - KCl) - 23,321 \times P(AB - MgCl_2) - 4,037 \times P(I - MgCl_2) + 302,769 \times P(K_2 - MgCl_2) + 12,865P(B - MgCl_2) - 311,891, \text{ при } R = 0,429, \chi^2 = 74,6268, p = 0,000. \quad (3)$$

Формирование очередности включения показателей в функцию происходило в последовательности, приведенной в уравнении [1]. По данным функциям были вычислены значения  $Z_M$ ,  $Z_H$ ,  $Z_X$  и определены канонические функции, которые позволили вычислить значения вероятности газопроявлений  $P(Z_M)$ ,  $P(Z_H)$ ,  $P(Z_X)$ . Соотношение между значениями дискриминантных функций и их вероятностей приведены на рис. 2.2.

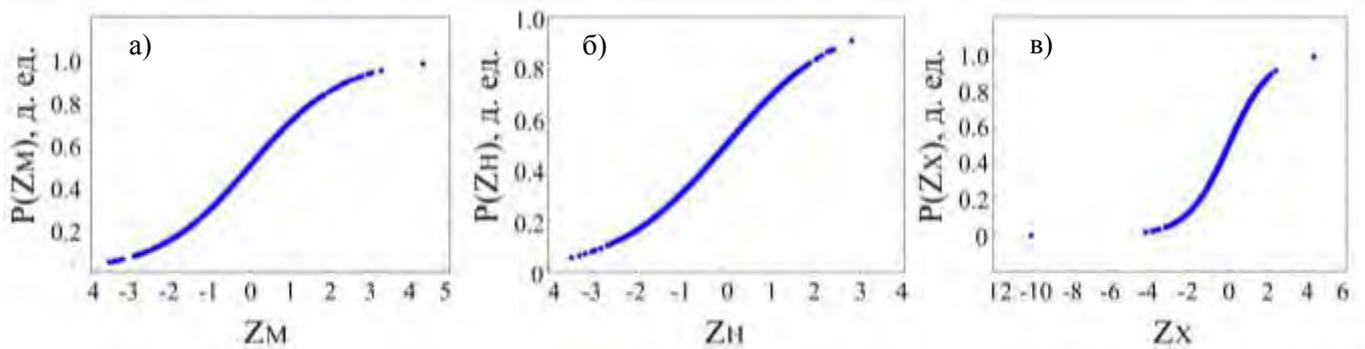


Рис. 2.2. Зависимости – а)  $P(Z_M)$  от  $Z_M$ ; б)  $P(Z_H)$  от  $Z_H$ ; в)  $P(Z_X)$  от  $Z_X$ .

Вероятностные модели и области их использования приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Сравнение средних значений вероятностей газопроявлений в соленосной толще ВКМКС

Вероятности	Статистические характеристики показателей		Критерии $\frac{t}{p}$
	Класс 1 Территории с газопроявлениями	Класс 2 Территория без газопроявлений	
$P(Z_M)$	0,581±0,167	0,422±0,190	$\frac{8,535}{0,000}$
$P(Z_H)$	0,576±0,155	0,433±0,190	$\frac{7,848}{0,000}$
$P(Z_X)$	0,602±0,165	0,417±0,211	$\frac{9,416}{0,000}$

Отмечается, что все вероятностные модели информативны, при этом по критерию  $P(Z_X)$ , наблюдается наибольшая сходимость прогноза с фактической газоносностью по сравнению с  $P(Z_M)$  и  $P(Z_H)$ .

На территории ВКМКС имеются данные по 856 скважинам различных категорий. По полученной зависимости были вычислены значения  $P(Z_M)$ ,  $P(Z_H)$ ,  $P(Z_X)$  по всем изучаемым скважинам на территории ВКМКС и построены схемы прогноза газоносности (рис. 2.3).

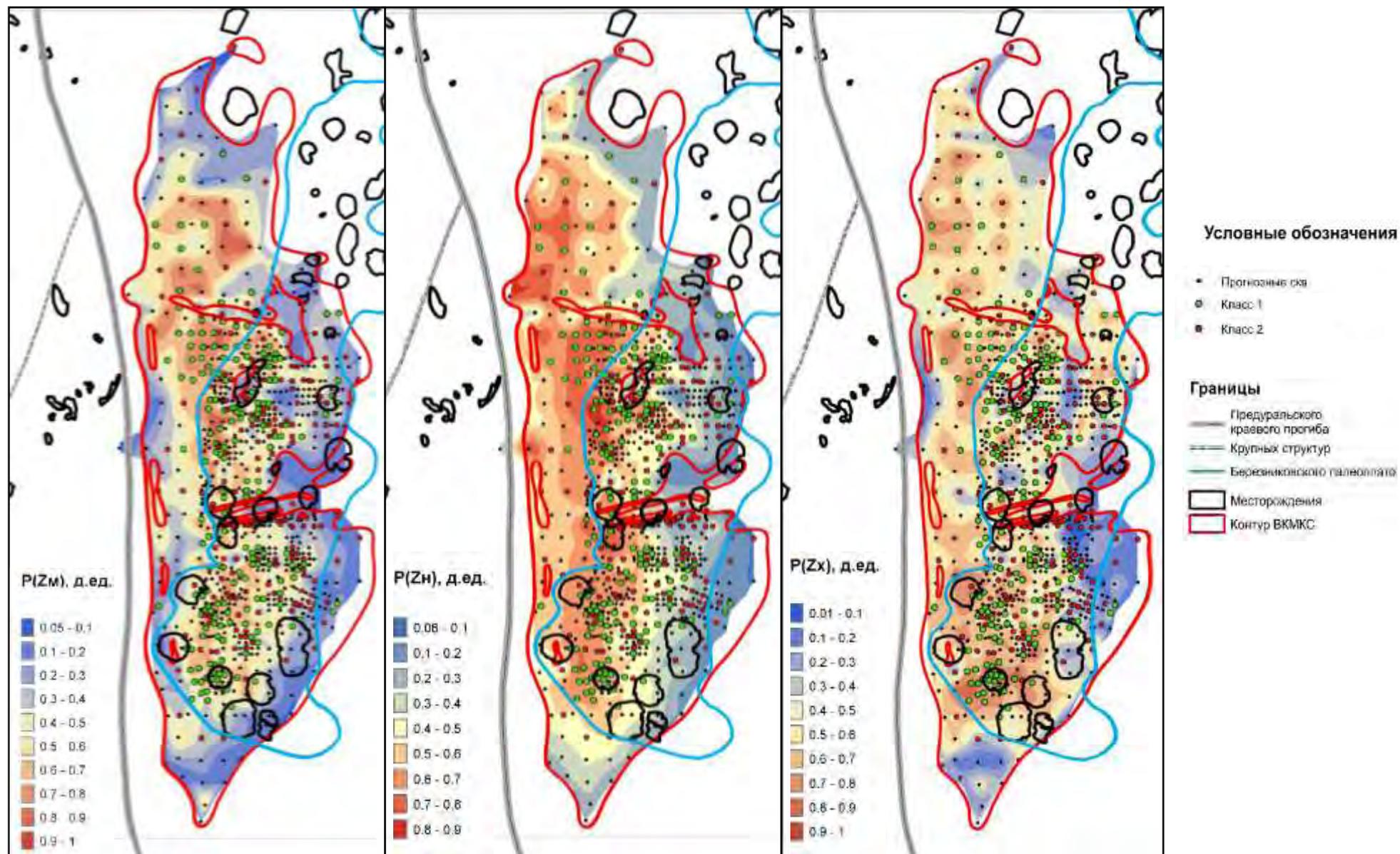


Рис. 2.3. Зональный прогноз газоносности территории ВКМКС по критериям  $P(Z_m)$ ,  $P(Z_n)$ ,  $P(Z_x)$

В третьей главе для прогноза нефтегазоносности нижележащих отложений были использованы разработанные модели по данным газопроявлений соленой толщи.

Анализ распределений и построение вероятностных моделей принадлежности к классу нефтегазоносных территорий выполнялись аналогично, как и в случае с газопроявлениями в толще ВКМКС [1-3].

В обучающую выборку включены 166 скважины в пределах наиболее изученных участков в пределах площадей сейсморазведочных работ МОГТ 3D. Проведен анализ средних значений и функций плотности распределения критериев, характеризующих вероятность газопроявлений для выборки скважин в контуре (класс 1, n=86) и вне контура (класс 2, n=80) месторождений (рис. 3.1).

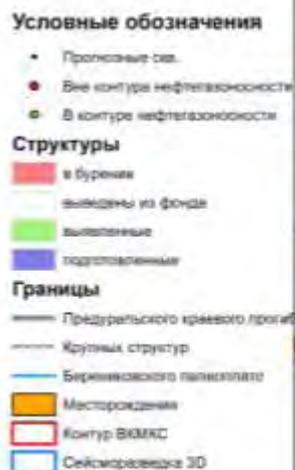


Рис. 3.1. Схема расположения эталонных скважин для прогноза нефтегазоносности

В результате разработаны следующие линейные вероятностные модели  $P_H(Z_M)$ ,  $P_H(Z_H)$ ,  $P_H(Z_x)$  по которым можно определить принадлежность к классу нефтегазоносных площадей (4-6):

1. Группа критериев по мощности и количеству соляных пластов:

$$P_H(Z_M) = 0,462 - 0,064 \times Z_M, \text{ при } R = -0,670. \quad (4)$$

2. Группа критериев по гипсометрическим отметкам пластов солей и основным отражающим горизонтам:

$$P_H(Z_H) = 0,523 - 0,046 \times Z_H, \text{ при } R = 0,409. \quad (5)$$

3. Группа критериев по химическому составу соляных пластов:

$$P_H(Z_x) = 0,504 + 0,076 \times Z_x, \text{ при } R = 0,591. \quad (6)$$

Полученные зависимости между критериями и разработанных вероятностей приведены на рис. 3.2.

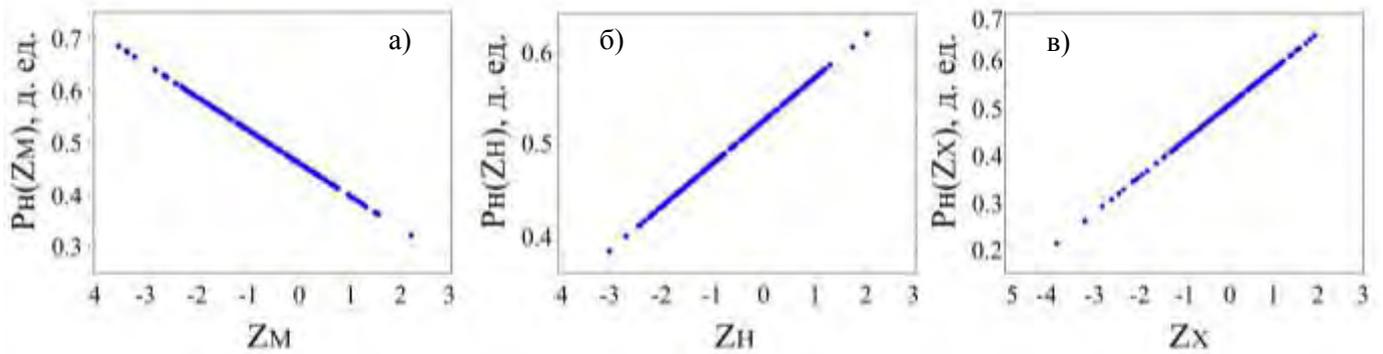


Рис. 3.2. Зависимости – а)  $P_n(Z_M)$  от  $Z_M$ ; б)  $P_n(Z_H)$  от  $Z_H$ ; в)  $P_n(Z_X)$  от  $Z_X$ .

Оценка информативности критериев  $P_n(Z_M)$ ,  $P_n(Z_H)$ ,  $P_n(Z_X)$  приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Сравнение средних значений критериев вероятности нефтегазоносности территории  
ВКМКС

Вероятности	Статистические характеристики показателей		Критерии $\frac{t}{p}$
	Класс 1 В контуре нефтегазоносности	Класс 2 Вне контура нефтегазоносности	
$P_n(Z_M)$	0,510±0,068	0,491±0,070	$\frac{1,841}{0,068}$
$P_n(Z_H)$	0,505±0,049	0,495±0,049	$\frac{1,284}{0,201}$
$P_n(Z_X)$	0,512±0,060	0,488±0,090	$\frac{2,050}{0,042}$

По статистическим критериям установлено, что параметры, характеризующие вероятность газопроявлений по мощностному критерию –  $P_n(Z_M)$  и химическому составу –  $P_n(Z_X)$ , наиболее сильно влияют на нефтегазоносность.

Используя данные по всем изучаемым скважинам, построены схемы зонального прогноза нефтегазоносности по данным газопроявлений на территории ВКМКС (рис. 3.3).

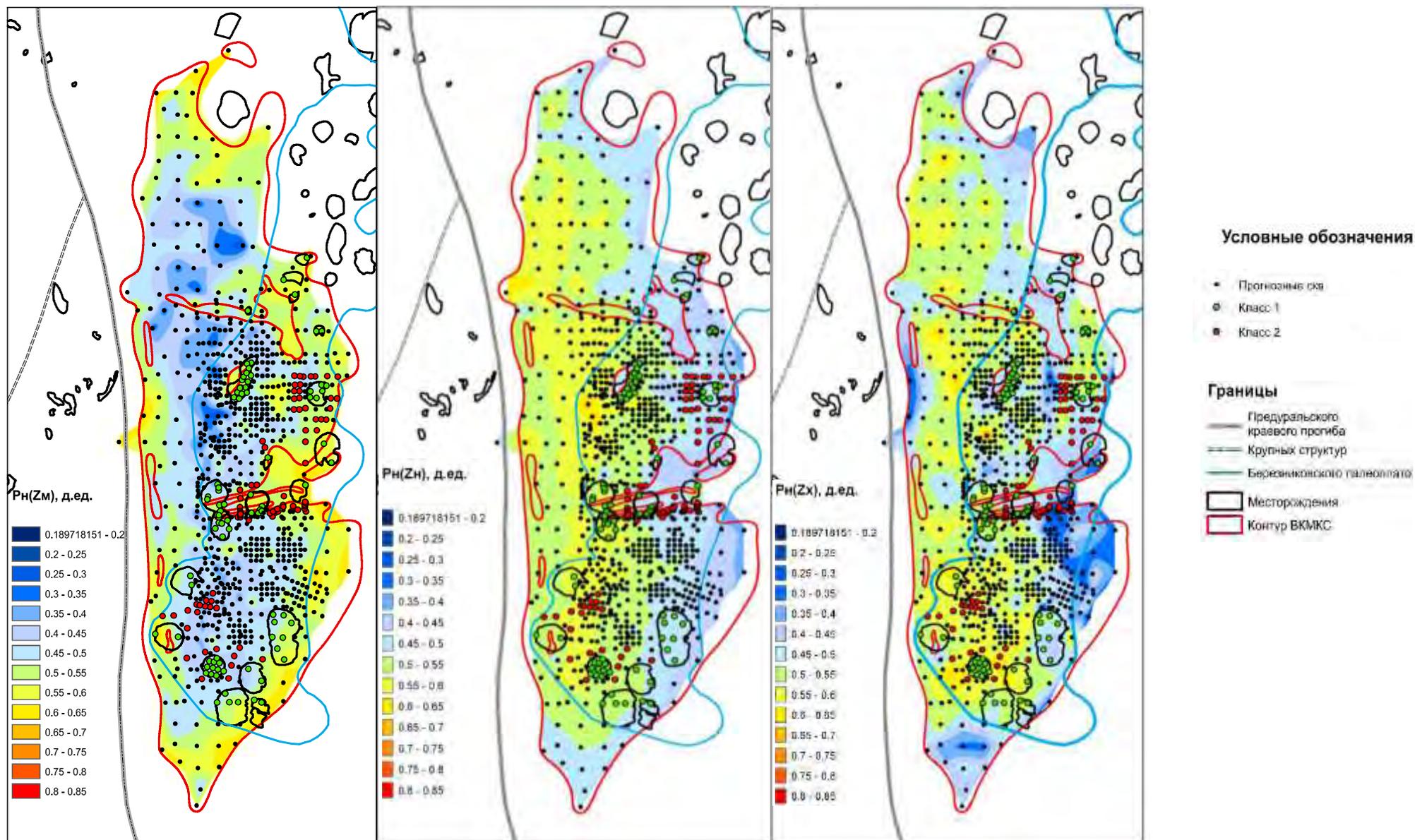


Рис. 3.3. Зональный прогноз газоносности территории ВКМКС по критериям  $R_n(Z_m)$ ,  $R_n(Z_n)$ ,  $R_n(Z_x)$

Следует отметить, несмотря на отсутствие статистической значимости по критерию  $P_H(Z_H)$ , 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  $P_H(Z_H)$  не противоречит представлениям, в части процессов, повлиявших на распределение нефтегазоносности на изучаемой площади.

**В четвертой главе** для более детального исследования мелкомасштабного влияния рассматриваемых критериев проведен анализ локальных остатков [3].

Анализ статистических показателей локальных остатков показывает, что для прогноза нефтегазоносности по данным гипсометрических отметок пластов и концентраций  $KCl$  и  $MgCl_2$  в толще ВКМКС необходимо использовать исходные вероятности  $P_H(Z_H)$  и  $P_H(Z_x)$ . При этом в целях повышения эффективности прогноза нефтегазоносности по данным мощности соляных пластов, целесообразно рассматривать локальные остатки от трендовой квадратичной функции  $P_H(Z_M)'$  (таблица 3.2).

Таблица 3.2

Сравнение средних значений локальных остатков критериев нефтегазоносности территории ВКМКС

Вероятность	Статистические характеристики показателей		Критерии $\frac{t}{p}$
	Класс 1 В контуре нефтегазоносности	Класс 2 Вне контура нефтегазоносности	
$P_H(Z_M)'$	0,509±0,130	0,439 ± 0,124	$\frac{3,506}{0,001}$

При переходе к локальным остаткам по линейным и квадратичным моделям по критерию мощности установлены статистически значимые различия средних, с достигаемым уровнем значимости  $p=0,001$ . Отметим, что наблюдается асимметрия средних значений  $P_H(Z_M)'$  для классов территорий, при граничном значении 0,5. В результате анализа получена следующая функция вероятности от локальных остатков критерия мощности солей (7):

$$P_H(Z_M)' = 0,4782 + 2,0349 \times RES_{P_H(Z_M)\text{-квд}}, \text{ при } R = 0,981 \quad (7)$$

Функции вероятностей регрессионных остатков от трендов вносят более сильные отличия в средних значениях по отношению с исходными критериями, что позволяет использовать их для корректирования прогнозов нефтегазоносности территории ВКМКС.

В пятой главе представлены варианты практического применения полученных результатов вероятностно-статистических моделей прогнозов зональной нефтегазоносности территории ВКМКС.

Для выявления наиболее перспективных участков рекомендуемых для проведения сейсморазведочных работ 3D был рассчитан комплексный критерий нефтегазоносности по данным газопроявлений –  $P_{HМNX}$ .

Значения  $P_{HМNX}$  вычислены по следующей формуле (8):

$$P_{HМNX} = \frac{P_H(Z_M)' \times P_H(Z_H) \times P_H(Z_x)}{P_H(Z_M)' \times P_H(Z_H) \times P_H(Z_x) + (1 - P_H(Z_M)') \times (1 - P_H(Z_H)) \times (1 - P_H(Z_x))} \quad (8)$$

Распределение полученных значений  $P_{HМNX}$  приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Распределение значений  $P_{HМNX}$ 

	Интервалы варьирования $P_{HМNX}$									
	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
В контуре нефтегазоносности	0	0	0,046	0,140	0,198	0,302	0,256	0,035	0,023	0
Вне контура нефтегазоносности	0	0	0,175	0,250	0,300	0,200	0,050	0,025	0	0

Отсюда видно, что модальный интервал для первого класса (в контуре нефтегазоносности) 0,5-0,6 (с частотой 0,302), для второго класса (вне контура нефтегазоносности) 0,4-0,5 (с частотой 0,300).

Для территорий в контуре нефтегазоносности при  $P_{HМNX} > 0,5$  д.ед. значения частот в контуре нефтегазоносности выше, чем для территорий вне контура нефтегазоносности, особенно это относится к диапазону 0,6-0,7 д.ед.

Как и ранее, оценку информативности критерия  $P_{HМNX}$  выполним по критериям  $t$  и  $\chi^2$  (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Сравнение средних значений по критерию  $P_{HМNX}$ 

Вероятность	Статистические характеристики показателей		Критерии $\frac{t}{P}$
	Класс 1 В контуре нефтегазоносности	Класс 2 Вне контура нефтегазоносности	
$P_{HМNX}$	$0,526 \pm 0,126$	$0,422 \pm 0,121$	$\frac{5,403}{0,000}$

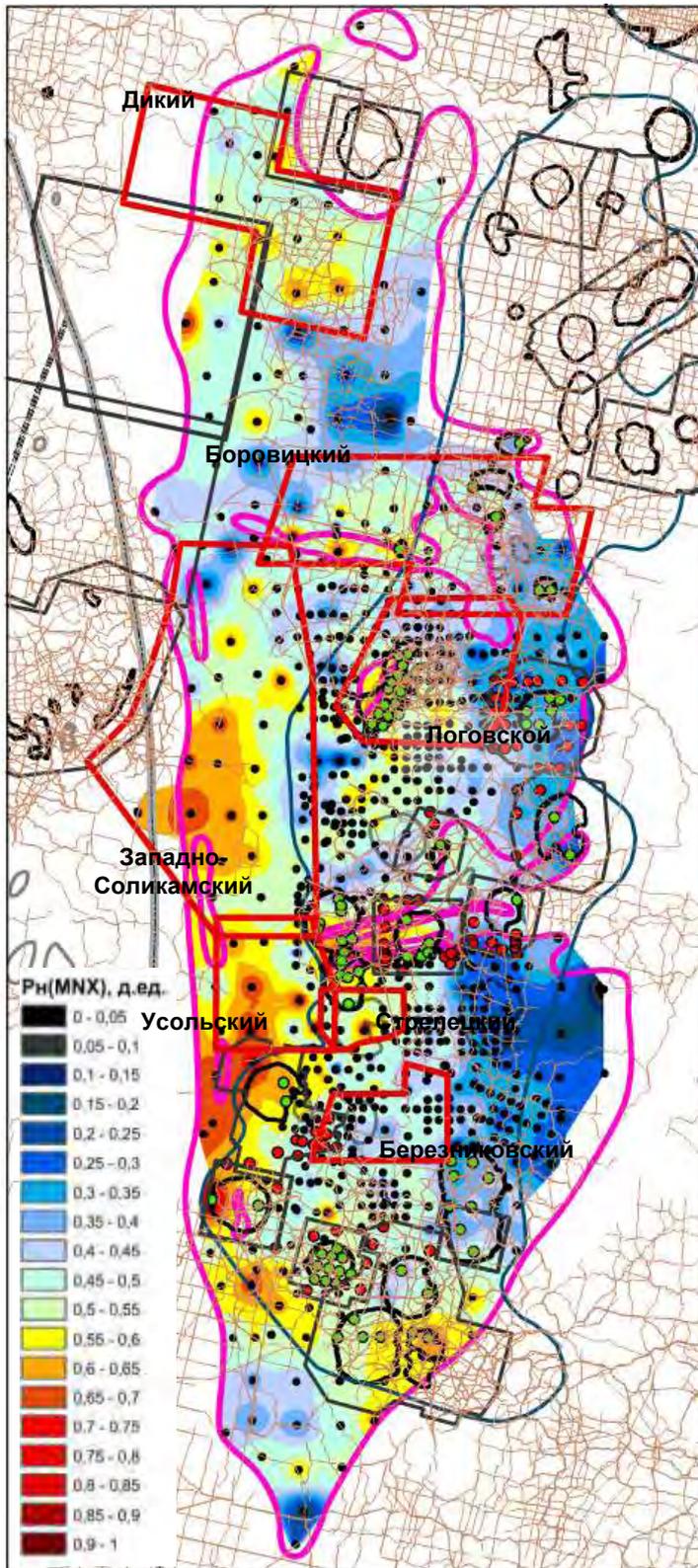


Рис. 4.1. Рекомендуемые участки для проведения детальных сейсморазведочных работ 3D по критерию  $R_{n(MNX)}$

Новологовской, Клестовской, Стрелецкой структур и в районе Боровицкого прогиба ВКМКС вне границ Березниковского палеоплато, в северной части – к югу от Озерного месторождения [3].

По критерию  $t$ -Стюдента показатель  $R_{n(MNX)}$  является информативным, полученные различия в средних являются статистически значимыми.

По расчётным значениям  $R_{n(MNX)}$  построена схема изменения распределения комплексный критерий нефтегазоносности по данным газопроявлений по площади исследований (рис. 4.1).

Участки с  $R_{n(MNX)} > 0,5$  д.ед. располагаются в основном на западе ВКМКС, а так же в пределах контуров месторождений за исключением территории Жилинского месторождения.

По итогам проведенных исследований выделены семь перспективных участков, рекомендуемых для проведения сейсморазведочными работами 3D. Вне пределов разрабатываемых месторождений, наибольшими значениями комплексного критерия нефтегазоносности  $R_{n(MNX)}$  характеризуются участки, расположенные севернее от месторождения им. Сухарева и западнее от Логовского месторождения.

Максимальные значения  $R_{n(MNX)}$  в этих районах равны 0,75 д.ед. и 0,69 д.ед. соответственно. На остальной территории выделяют ряд локальных аномалий, где  $R_{n(MNX)} > 0,60$  д.ед.: в южной части – к северу и западу от месторождения им. Архангельского, в центральной части – в непосредственной близости к

Разработанную модель зонального прогноза нефтегазоносности по данным газопроявлений можно использовать для дальнейшего комплексирования с другими показателями для повышения качества прогнозов нефтегазоносности территории ВКМКС.

Для комплексного проведения ранжирования всех имеющихся структур, находящихся на территории ВКМКС был рассчитан *комплексный зонально-локальный критерий нефтегазоносности* –  $R_{НКМП}$ . Предлагается использовать следующую формулу расчета критерия (9):

$$R_{НКМП} = \frac{R_{у\text{кв}_{\text{морф}}} \times R_{у\text{кв}_{\text{гх}}} \times R_{\text{км}} \times R_{\text{нмнх}}}{R_{у\text{кв}_{\text{морф}}} \times R_{у\text{кв}_{\text{гх}}} \times R_{\text{км}} \times R_{\text{нмнх}} + (1 - R_{у\text{кв}_{\text{морф}}}) \times (1 - R_{у\text{кв}_{\text{гх}}}) \times (1 - R_{\text{км}}) \times (1 - R_{\text{нмнх}})} \quad (9)$$

При вычислении комплексного вероятностного зонально-локального критерия нефтегазоносности критерия  $R_{НКМП}$  помимо модели по данным газопроявлений  $R_{\text{нмнх}}$  были использованы ещё три группы показателей, разработанные специально для территории ВКМКС: морфологические ( $R_{у\text{кв}_{\text{морф}}}$ ), миграционные ( $R_{\text{км}}$ ) и геохимические ( $R_{у\text{кв}_{\text{гх}}}$ ).

Первая группа оценивает нефтеносность по морфологическим показателям. Установлено, что помимо зональных характеристик, на оценку нефтегазоносности в значительной степени влияют морфологические характеристики локальных структур. Рассматривались значения амплитуд (А), площадей (S) и интенсивности ( $A/\sqrt{S}$ ) по основным отражающим горизонтам структур. В результате по показателям данной группы был применен комплексный критерий –  $R_{у\text{кв}_{\text{морф}}}$ . Средние значения многомерного вероятностного критерия  $R_{у\text{кв}_{\text{морф}}}$  для нефтяных структур равен 0,708 д.ед., для пустых – 0,188 д.ед. Критерий Стьюдента составляет 6,98 при  $p \leq 10^{-3}$ .

По геохимическим показателям использован критерий  $R_{у\text{кв}_{\text{гх}}}$ <sup>3</sup>. Для построения геохимических моделей использованы показатели содержания рассеянного органического вещества (РОВ) содержания органического углерода в РОВ (Сорг), концентраций хлороформенных и спиртобензольных битумоидов ( $B_{\text{пэ}}$ ,  $B_{\text{хл}}$ ,  $B_{\text{сб}}$  и  $B_{\text{хл}}/B_{\text{сб}}$ ) и битумоидный коэффициент ( $\beta$ ) по основным нефтематеринским толщам в разрезе Соликамской депрессии. Средние значения критерия  $R_{у\text{кв}_{\text{гх}}}$  для нефтяных структур равен 0,614 д.ед., для пустых – 0,283 д.ед. Критерий Стьюдента составляет 4,20 при  $p \leq 10^{-3}$ .

<sup>3</sup> О масштабах миграции углеводородов в пределах Соликамской депрессии Предуральяского прогиба и возможностях ее использования для прогноза нефтегазоносности. К методике оценки перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии по характеристикам локальных структур / В.Л. Воеводкин, В.И. Галкин, И.А. Козлова, С.Н. Кривошеков, А.С. Козлов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М., 2010. – № 12. – С. 6–12.

Миграционный критерий  $R_{км}^3$  основан на разделении классов по трем характеристикам: расстояния от структур до ближайших разломов ( $L_{разл}$ ), показателя дальности субвертикальной миграции углеводородов ( $L_{мигр}$ ) и минимальное расстояние от центров с повышенными значениями  $R_{увгх}$  до центра локальных структур ( $L_{геох}$ ). Средние значения критерия  $R_{км}$  для нефтяных структур равен 0,592 д.ед., для пустых – 0,452 д.ед. Критерий Стьюдента составляет 3,73 при  $p \leq 10^{-3}$ .

Результаты ранжирования по комплексному критерию  $R_{нкомп}$  приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

#### Вероятностные характеристики перспективных структур ВКМКС

Ранг	Название структуры	Изв.ресурсы, тыс. т	$R_{увморф}$ , д.ед.	$R_{увгх}$ , д.ед.	$R_{км}$ , д.ед.	$R_{нмнх}$ , д.ед.	$R_{нкомп}$ , д.ед.
1	Зыряновская (вост.купол)	466	0,99	0,89	0,73	0,57	0,9997
2	Легчимская	7115	0,99	0,93	0,80	0,27	0,9995
3	Южно-Жилинская	507	0,83	0,94	0,66	0,37	0,9887
4	Пашковская	9571	0,96	0,70	0,48	0,46	0,9778
5	Северо-Чашкинская	1143	0,51	0,93	0,68	0,45	0,9601
6	Стрелецкая	5093	0,68	0,75	0,73	0,58	0,9597
7	Восточно-Бельская	431	0,17	0,98	0,74	0,44	0,9573
8	Березниковская	2487	0,59	0,81	0,73	0,44	0,9287
9	Новологовская	1242	0,32	0,80	0,63	0,42	0,6989
10	Клестовская	1922	0,05	0,92	0,61	0,50	0,4863
11	Голухинская	412	0,43	0,30	0,65	0,38	0,2690
12	Аристовская	235	0,11	0,35	0,67	0,42	0,0891

Для оценки вклада в значения  $R_{нкомп}$  различных сочетаний вероятностных критериев  $R_{увморф}$ ,  $R_{увгх}$ ,  $R_{км}$ ,  $R_{нмнх}$  сформированы выборки по критерию  $R_{нкомп}$  от 3 до 12 структур.

Оценка влияния критериев на  $R_{нкомп}$  исследована с помощью построения многомерных моделей, методом пошагового регрессионного анализа (табл. 4.4).

Таблица 4.4

#### Многомерные уравнения регрессии для анализа формирования значений $R_{нкомп}$

Интервал построения моделей по $R_{нкомп}$ , д.ед.	Номера структур, по которым построены модели	Свободный член	Коэффициент $R_{увморф}$	Коэффициент $R_{увгх}$	Коэффициент $R_{км}$	Коэффициент $R_{нмнх}$	R
0,989-0,999	10-12	0,937	0,067	-0,004	-	0,019	0,999
0,978-0,999	9-12	0,921	0,011	-	0,078	0,019	0,999
0,960-0,999	8-12	0,818	0,089	0,104	-0,008	0,013	0,999
0,959-0,999	7-12	0,822	0,087	0,095	-	0,013	0,999
0,957-0,999	6-12	0,845	0,065	0,097	-	-	0,967
0,929-0,999	5-12	0,800	0,077	0,135	-	-	0,875
0,699-0,999	4-12	0,454	0,209	0,403	-	-	0,710
0,486-0,999	3-12	0,317	0,715	-	0,538	-	0,790
0,269-0,999	2-12	-0,111	0,437	0,849	-	-	0,886
0,089-0,999	1-12	-0,216	0,471	0,945	-	-	0,935

Из анализа построенных моделей следует, что критерии  $R_{\text{увГХ}}$ ,  $R_{\text{увМорф}}$  являются более универсальными, тогда как  $R_{\text{км}}$ ,  $R_{\text{НМНХ}}$  проявляются только для выборок с наиболее перспективными структурами [4].

Наблюдается обратная линейная зависимость между значениями  $R_{\text{НКОМП}}$  и  $R_{\text{увМорф}}$ ,  $R_{\text{увГХ}}$ . Данный факт объясняется тем, при увеличении значений по критерию  $R_{\text{НКОМП}}$  в выборку входят высокоамплитудные структуры при этом значения  $R_{\text{увМорф}}$  вносит меньший вклад. По причине расположения наиболее перспективных структур выборки №№5-12 в центральной геохимической аномалии наблюдается снижение значений по геохимическому критерию  $R_{\text{увГХ}}$ .

Следует отметить, что показатель  $R_{\text{НМНХ}}$ , рекомендуется использовать при построении моделей, которые характеризуются максимальными значениями по комплексному критерию. Вклад в регрессию для  $R_{\text{НМНХ}}$  положителен, таким образом, чем больше значение комплексного критерия по данным газопроявлений, тем выше общая вероятность нефтегазоносности.

Для выделения первоочередных объектов поисков углеводородов целесообразно использовать те модели, в которых присутствуют все разработанные критерии. Таким условиям, удовлетворяет только одна модель - построенная в диапазоне  $R_{\text{НКОМП}}$  0,999-0,960 д. ед.

Таким образом, установлено, что наиболее перспективными с точки зрения первоочередности постановки поисково-оценочного бурения на территории ВКМКС являются Зыряновская (вост. купол), Легчимская, Южно-Жилинская, Пашковская и Северо-Чашкинская структуры.

### **Основные выводы**

1. На основании обобщения газопроявлений и особенностей геологического строения соляной толщи созданы вероятностно-статистические модели, которые в комплексе с используемыми ранее разработанными вероятностно-статистическими моделями позволили разработать комплексные модели для зонально-локального прогноза нефтегазоносности территории ВКМКС.

2. Разработанные вероятностно-статистические были использованы для построения схемы прогноза нефтегазоносности территории ВКМКС, что позволило выделить перспективные зоны для постановки детальных сейсморазведочных работ.

3. Разработанный комплексный критерий прогноза нефтегазоносности  $R_{\text{НКОМП}}$  позволил оценить степень перспективности в отношении нефтегазоносности структур, и установить, что наиболее перспективными являются следующие: Зыряновская (вост. купол), Легчимская, Южно-Жилинская, Пашковская и Северо-Чашкинская.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. 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. (**Перечень ВАК**)
2. Варушкин С.В. Использование данных о газоносности соленосной толщи Соликамской депрессии для прогнозирования нефтегазоносности подсолевых отложений // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15, № 2. – [http://www.ngtp.ru/rub/2020/21\\_2020.html](http://www.ngtp.ru/rub/2020/21_2020.html). (**Перечень ВАК, GeoRef**)
3. Галкин В.И., Мелкишев О.А., Варушкин С.В. Разработка комплексного вероятностного критерия зонально-локального прогноза нефтегазоносности территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей по данным газопроявлений // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т.18, №5. – С. 43-54. (**Перечень ВАК**)
4. Галкин В.И., Мелкишев О.А., Варушкин С.В. Использование вероятностных моделей нефтегазоносности в целях ранжирования перспективных структур, находящихся в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. Т.332, №1. – С. 23-30. (**Перечень ВАК, Scopus**)
5. Варушкин С.В., Хакимова Ж.А. Проектирование геолого-разведочных работ методом строительства боковых стволов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 16–27. (**Перечень ВАК**)

### Прочие издания

6. Варушкин С.В., Чухлов А.С. Комплексирование результатов геолого-геофизических исследований в целях повышения эффективности геологоразведочных работ // Геология в развивающемся мире: матер. 11-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 кн. / Отв. ред. А.Б. Трапезникова. Пермь: ПГНИУ, 2018. – Т. 1, С. 213–217.
7. Варушкин С.В. Проект доразведки фаменских отложений путем бурения боковых стволов и углубления скважин проектного эксплуатационного фонда ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Геология в развивающемся мире: матер. 10-й междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. / Отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов. Пермь: ПГНИУ, 2017. – Т. 1, С. 196–197.
8. Варушкин С.В. Предложения по проведению геологоразведочных работ путем строительства боковых стволов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: матер. 10-й Всеросс. науч.-техн. конф. Пермь: ПНИПУ, 2017. – № 1, С. 18–21.
9. Варушкин С.В., Козлова И.А. Возможность проведения поисково-оценочных работ на объектах, расположенных под толщей калийно-магниевых солей Верхнекамского месторождения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 7–14.