

Кошкин К.А.

начальник отдела геологии и лицензирования ООО «УралОйл»,
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Сибирская, 4.

Татаринев И.А.

директор ООО «НАСТ-М»,
Россия, 614107, г. Пермь, ул. Макаренко, 12а, офис 1.

РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПЕРМСКОГО СВОДА ПО СТРУКТУРНЫМ КРИТЕРИЯМ

Аннотация. Прогноз нефтегазоносности по маркирующим и нефтегазоносным горизонтам в пределах Пермского свода (ПС) в трех зонах нефтегазогеологического районирования (НГГР). Для этого строились одномерные и комплексные модели для каждой зоны. построены вероятностные схемы перспектив нефтегазоносности по рассмотренным выше показателям для всей территории Пермского свода.

Цель разработка вероятностно-статистических зональных моделей оценки нефтеносности.

Объекты территория Пермского свода (Пермский край)

Методы прогноза нефтегазоносности территории Пермского свода вероятно-статистическими методами.

Результаты выполнен прогноз нефтегазоносности по маркирующим и нефтегазоносным горизонтам в пределах Пермского свода в трех зонах нефтегазогеологического районирования. Для каждого показателя обосновывались прогнозные модели и по ним строились схемы перспектив нефтегазоносности.

Ключевые слова: вероятность, линейная статистическая модель, многомерная статистическая модель, коэффициент корреляции, нефтегазоносность, статистические критерии

Введение

Прогноз нефтегазоносности по маркирующим и нефтегазоносным горизонтам проводился в пределах Пермского свода (ПС) в трех зонах нефтегазогеологического районирования (НГГР). Для этого строились одномерные и комплексные модели для каждой зоны [1-20]. Различные математические аппараты и возможности их использования для решения различных прогнозных задач приведены [21-34].

Для анализа использовались данные по 447 глубоким скважинам (рис.1.2). Статистической обработке были подвергнуты абсолютные отметки кровли следующих горизонтов и ярусов:

- верейский горизонт – C_{2vr} ,
- терригенная пачка артинского яруса – P_{1ar_t} ,
- карбонатная пачка артинского яруса – P_{1ar_k} ,
- иренский горизонт – P_{1ir} .

Необходимо отметить, что среди нефтегазоносных горизонтов анализировался только верейский. Это связано с тем, что статистически значимые корреляционные связи существуют между всем изучаемыми

нефтегазоносными горизонтами (C_{1bb} , C_{1tl} , C_{1tk} , C_{2b} , C_{2vr}). Коэффициенты корреляции изменяются от 0,94 до 0,99 (табл.1.1), то есть связи практически функциональные. Дополнительно к гипсометрическим отметкам изучалась мощность толщи между маркирующими поверхностями и верейским горизонтом.

В зоне 1-А нефтегазоносность изучалась для Северокамского и Краснокамского месторождения нефти.

В зоне 2-А исследования проводились для следующих месторождений: Горское, Рассветное, Баклановское, Козубаевское и Лобановское.

В зоне 3-А модели строились для Зоринского, Кузнецовского, Шеметинского, Полазненского, Межевского и Талицкого месторождений.

Зона 1-А

Для данной зоны были рассчитаны основные статистические характеристики (табл.1.1) в пределах контура нефтегазоносности (Кл.1) и за его пределами (Кл.2) для гипсометрических отметок кровли иренского и верейского горизонтов, а также для толщины слоя между ними – $m(vr-ir)$.

Таблица 1.1.

Основные статистические характеристики для зоны 1-А

Показатель	Средн. Знач.	Ст. отклонен.	Мин. знач.	Макс.знач.
	Н(ir), м			
Кл.1	-7,1	55,9	-193,6	105,2
Кл.2	-154,3	89,4	-336,1	54,0
Кл.1+Кл.2	-67,7	101,8	-336,1	105,2
	Н(vr), м			
Кл.1	-822,9	23,5	-906,6	-789,1
Кл.2	-901,6	44,8	-1007,6	-818,2
Кл.1+Кл.2	-855,3	51,5	-1007,6	-789,1
	m(vr-ir), м			

Кл.1	815,8	55,0	709,0	938,0
Кл.2	747,3	69,3	660,0	907,0
Кл.1+Кл.2	787,6	69,7	660,0	938,0

Как видно из таблицы, кровля иренского горизонта в пределах контура нефтегазоносности залегает значительно выше, чем за его пределами. Вероятность наличия нефтеносности (рис.1.1) возрастает от 0,05 до 0,74 при увеличении $H(ir)$ от -336,1 до 105,2 м по линейной зависимости

$$P(ir) = 0,5943 + 0,0015 H(ir).$$

По данной модели была построена вероятностная схема перспективной нефтегазоносности для зоны НГТР 1-А (рис.1.2). Из рисунка видно, что по повышенным значениям вероятности ($P(ir) > 0,5$) четко выделяются Северокамское и Краснокамское месторождения, причем на первом из них максимальная вероятность выше (0,74), чем на втором (0,59).

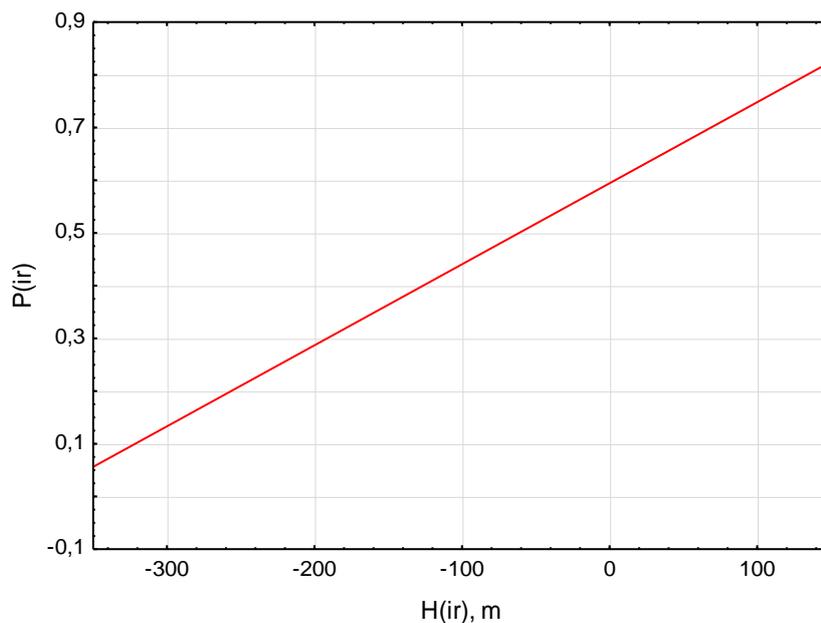


Рис.1.1. Вероятностная кривая для показателя $H(ir)$ для зоны НГТР 1-А

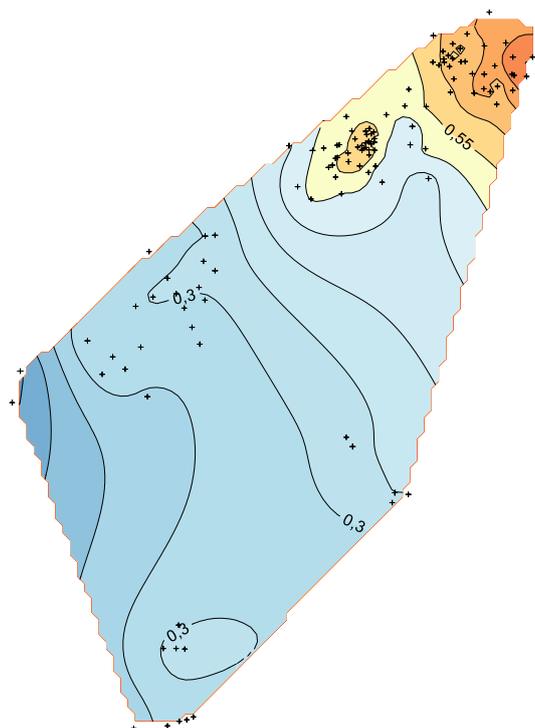


Рис.1.2. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P(ir)$ для зоны НГТР 1-А

Кровля верейского горизонта, как видно из таблицы 1.1, в пределах контура нефтегазоносности залегает значительно выше, чем за его пределами. Вероятность наличия нефтеносности (рис.1.3) возрастает от 0,22 до 0,71 при увеличении $H(vr)$ от -1007 до -789 м по линейной зависимости

$$P(vr) = 2,4885 + 0,0023 H(vr)$$

По данной модели была построена вероятностная схема перспектив

нефтегазоносности для зоны НГТР 1-А (рис.3.4). Из рисунка видно, что по повышенным значениям вероятности ($P(ir) > 0,5$) четко выделяются Северокамское и Краснокамское месторождения, причем на первом из них вероятность ниже (0,60), чем на втором (0,71). То есть по иренскому горизонту вероятность нефтегазоносности выше у Северо-Камского месторождения, а по верейскому, наоборот, у Краснокамского.

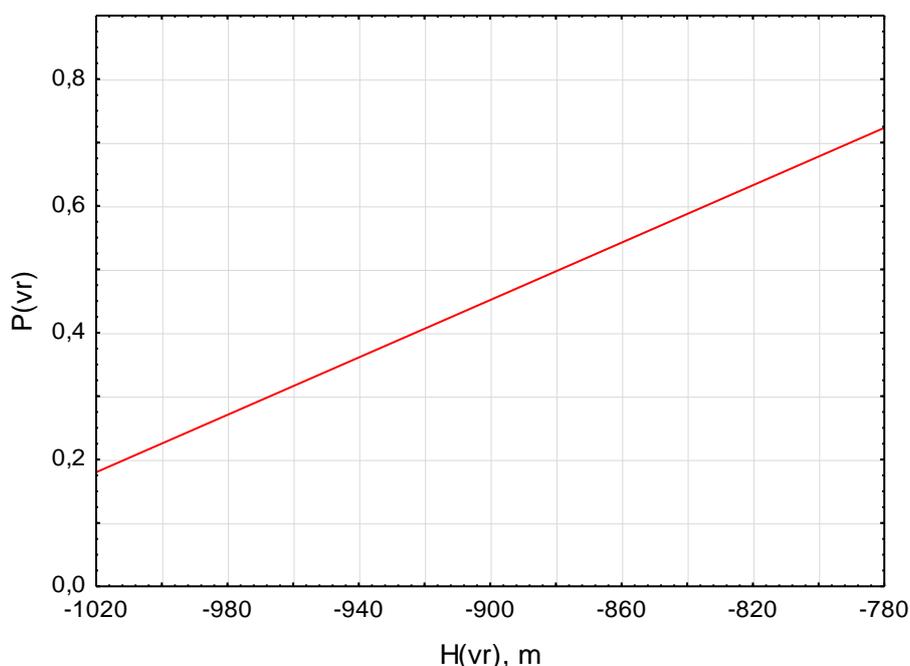


Рис.1.3. Вероятностная кривая для показателя $H(vr)$ для зоны НГТР 1-А

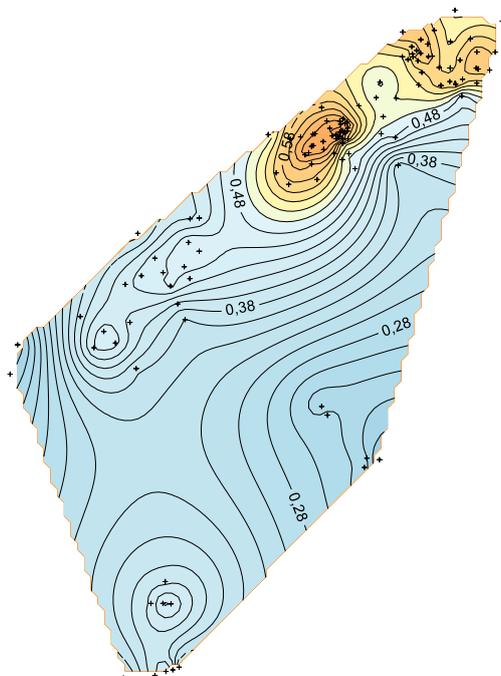


Рис.1.4. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P(vr)$ для зоны НГТР 1-А

Среднее значение толщины слоя между верейским и иренским горизонтами, как видно из таблицы 1.1, в пределах контура

нефтегазоносности (815 м) значительно больше, чем за его пределами (747 м). Вероятность наличия нефтеносности (рис.1.5) возрастает незначительно

от 0,47 до 0,53 при увеличении $m(vr-ir)$ от 660 до 938 м по линейной зависимости

$$P(vr-ir) = 0,3449 + 0,0002 m(vr-ir)$$

По данной модели была построена вероятностная схема перспектив

нефтегазоносности для зоны НГТР 1.А. (рис.1.6). Из рисунка видно, что по повышенными значениям вероятности ($P(ir) > 0,5$), помимо Северокамского и Краснокамского месторождений, характеризуется и площадь, расположенная южнее их.

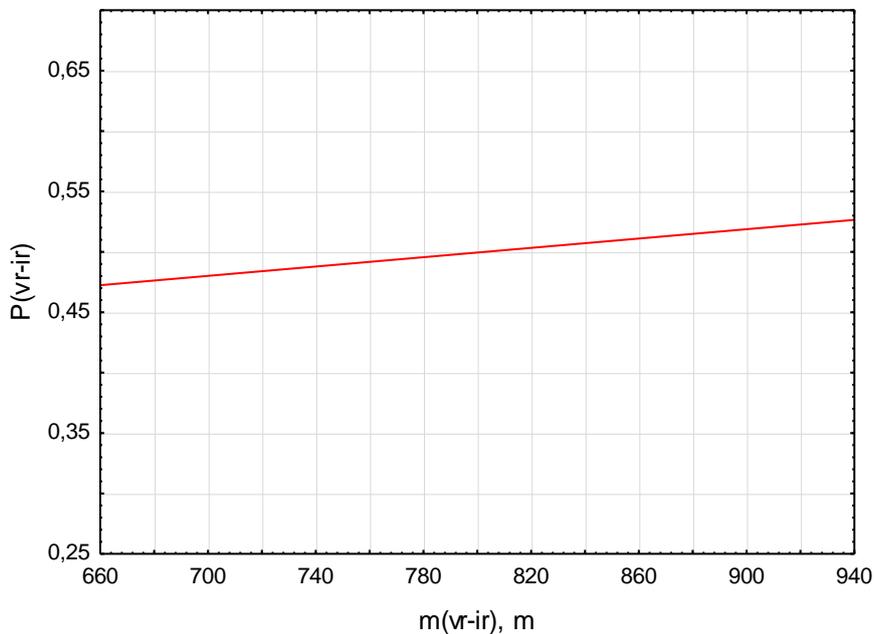


Рис.1.5. Вероятностная кривая для показателя $m(vr-ir)$ для зоны НГТР 1.А.

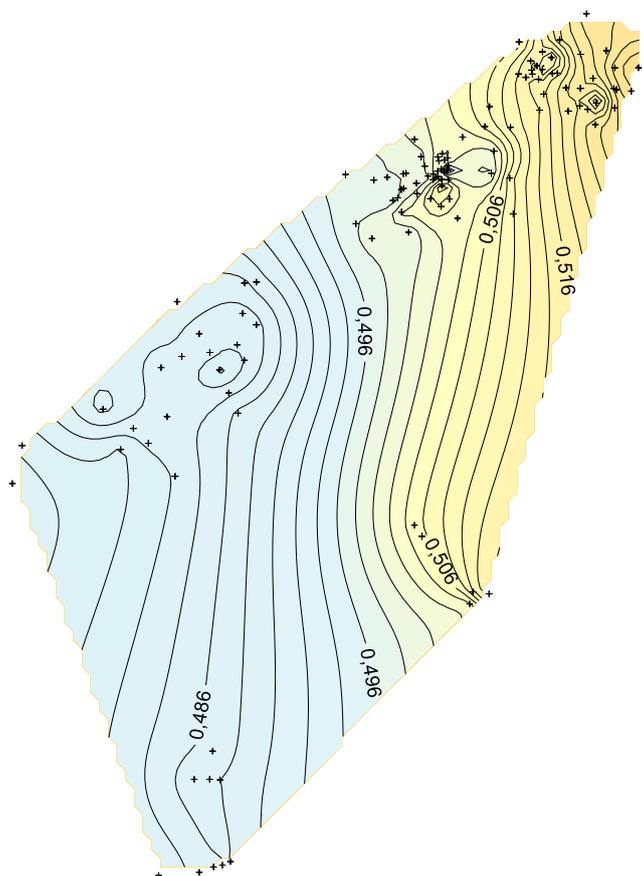


Рис.1.6. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P(vr-ir)$ для зоны НГТР 1-А

В результате выполненного анализа установлено:

1. Все рассмотренные показатели контролируют нефтегазоносность, в различной степени информативны.

3. Все показатели характеризуются однонаправленным видом изменения вероятности при увеличении показателя.

3. Анализ построенных вероятностных схем нефтеносности показал, что интервал варьирования вероятностей различных показателей в пределах площади исследований различен и на одних и тех же участках разные показатели оказывают различное влияние на нефтеносность.

4. Ни один из показателей, взятый в отдельности, однозначно не отображает нефтегазоносность изучаемой территории.

Следовательно, для решения прогнозных задач необходимо комплексно учитывать все рассматриваемые показатели с учетом вклада каждого показателя в окончательный результат. Для этих целей будем использовать комплексный критерий, который разделит эталонную выборку на две части более сильно, чем по отдельно используемым вероятностям.

Значения комплексной вероятности по структурным показателям будем вычислять по следующей формуле:

$$P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}} = \frac{\prod_{j=1}^m P(W_i | X_j)}{\prod_{j=1}^m P(W_i | X_j) + \prod_{j=1}^m (1 - P(W_i | X_j))}$$

где $P(W_i | X_j)$ -соответственно вероятности: $P(\text{ir})$, $P(\text{vr})$ и $P(\text{vr-ir})$.

По данной модели была построена вероятностная схема перспектив нефтегазоносности для зоны НГТР 1-А (рис.1.7). Из рисунка видно, что по повышенным значениям вероятности ($P_{\text{КОМ}} > 0,5$) четко выделяются Северокамское и Краснокамское месторождения, причем на первом из них вероятность выше (0,84), чем на втором (0,73). Остальная территория зоны НГТР 1-А малоперспективна по структурным показателям для поиска залежей нефти и газа.

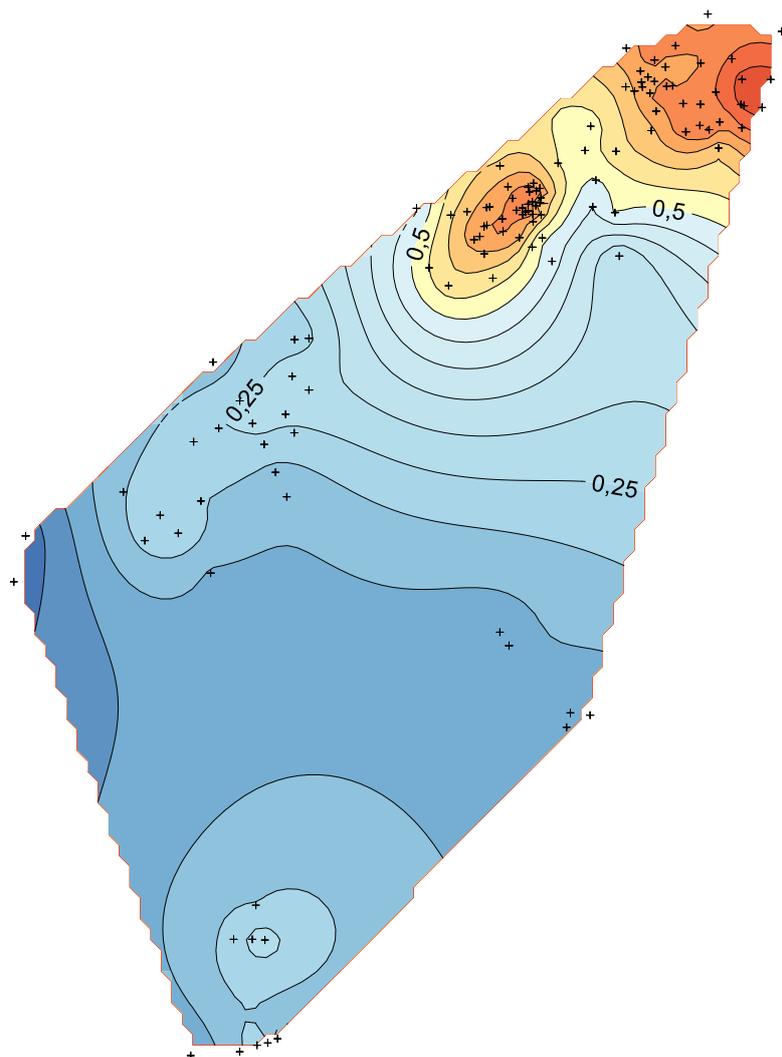


Рис.1.7. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$ для зоны НГТР 1-А

Зона 2-А

Для данной зоны была использована такая же комплексная методика построения вероятностной схемы перспектив нефтегазоносности для зоны НГГР 2-А (рис.1.8).

Из рисунка видно, что по повышенным значениям вероятности ($P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}} > 0,5$) четко выделяются контуры нефтеносности Козубаевского и Лобановского месторождений. Для Баклановского месторождения контур нефтеносности по значениям $P_{\text{КОМ}}$ выделяется не так четко.

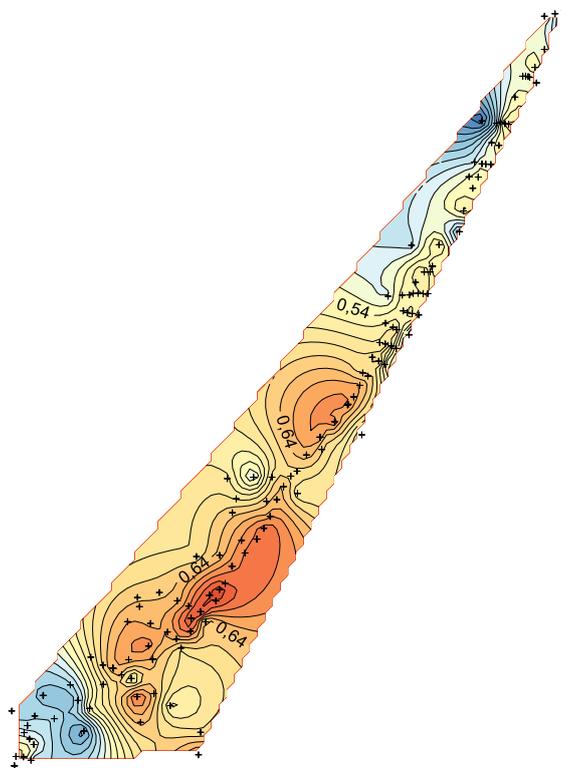


Рис.1.8. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$ для зоны НГГР 2-А

Зона 3-А

Для данной зоны также была использована комплексная методика построения вероятностной схемы перспектив нефтегазоносности для зоны НГГР 3-А (рис.1.9).

Из рисунка видно, что по повышенным значениям вероятности ($P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}} > 0,5$) четко выделяются контуры нефтеносности всех

месторождений, за исключением Кузнецовского, где вероятность равна 0,26. Необходимо отметить, что оценка Кузнецовского месторождения проводилась по трем скважинам, которые являются непродуктивными. Максимальной вероятностью, равной 0,76, характеризуется Полазненское месторождение.

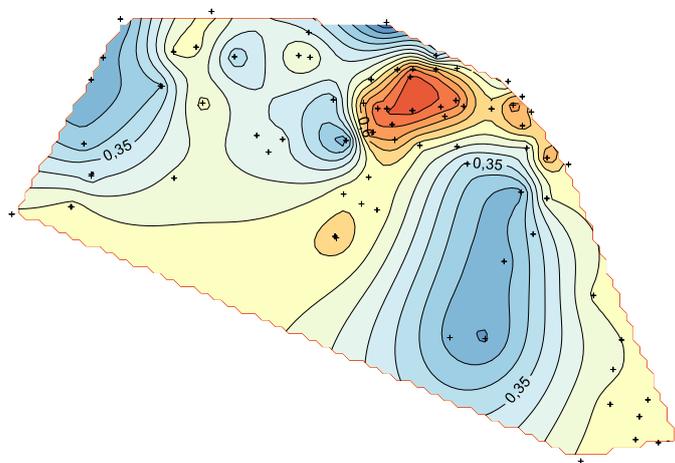


Рис.1.9. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$ для зоны НГГР 3-А

Заключение

В результате выполненных исследований были построены вероятностные схемы перспектив нефтегазоносности по рассмотренным выше показателям для всей территории Пермского свода.

На рис.1.10 приведена схема перспектив нефтегазоносности, построенная по вероятностям маркирующих горизонтов $P(ir)$, $P(ar_i)$ и $P(ar_k)$. Из рисунка видно, что в зонах НГТР 1-А (Краснокамское и Северокамское месторождения)

и 2-А (Кузнецовское, Полазненское, Межевское и Талицкое месторождения) повышенные значения вероятностей контролируют контуры нефтегазоносности. Максимальная средняя вероятность в контуре нефтеносности, равная 0,65, наблюдается на Северокамском месторождении. Необходимо отметить, что на Зоринском и Шеметинском месторождениях средние значения вероятностей меньше 0,5 и соответственно равны 0,42 и 0,44.

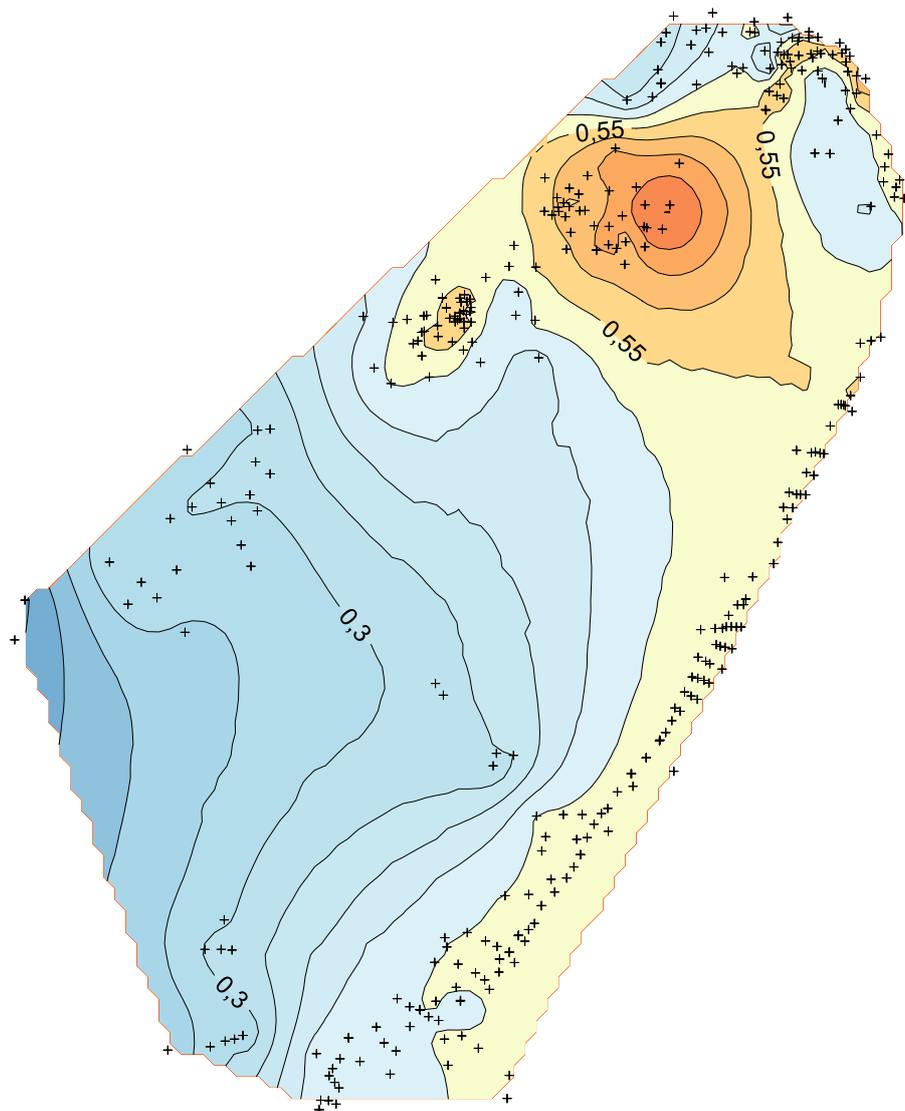


Рис.1.10. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателям $P(ir)$, $P(ar_i)$ и $P(ar_k)$ для территории ПС

В зоне НГТР 2-А (Горское, Рассветное, Баклановское, Козубаевское и Лобановское) значения вероятностей находятся на уровне 0,5, по которым контроль нефтегазоносности невозможен.

На рис 1.11 приведена схема перспектив нефтегазоносности, построенная по вероятностям верейского горизонта $P(vr)$. В данном случае вероятности контролируют контуры нефтегазоносности у всех месторождений. Максимальными средними значениями $P(vr)$ более 0,63 характеризуются Краснокамское, Баклановское, Рассветное и Полазненское

месторождения, а минимальными (0,52-0,54) – Горское, Лобановское и Талицкое месторождения.

На рис.1.12 приведена схема перспектив нефтегазоносности, построенная по вероятностям мощных показателей $P(vr-ir)$, $P(vr-ar_i)$ и $P(vr-ar_k)$. Из рисунка видно, что в пределах всей площади ПС вероятности изменяются в незначительном интервале от 0,48 до 0,53. Контур нефтегазоносности по этим вероятностям не контролируется, хотя на самих месторождениях и площадях, прилегающих к ним, в большинстве случаев вероятности выше 0,5.

На рис.1.13 приведена схема перспектив нефтегазоносности по комплексному вероятностному показателю $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$. Анализ схемы показывает, что комплексные вероятности контролируют контуры нефтегазоносности у всех рассматриваемых месторождений. Максимальными значениями $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$ характеризуются Северокамское (0,73),

Краснокамское (0,67), Баклановское (0,67), Полазненское (0,67), Рассветное (0,64) и Межевское (0,63) месторождения. Для Козубаевского месторождения $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$ равно 0,57. Горское, Лобановское, Талицкое, Зоринское и Шеметинское месторождения характеризуются минимальными значениями $P_{\text{КОМ}}^{\text{СП}}$, изменяющимися в интервале 0,51-0,53.

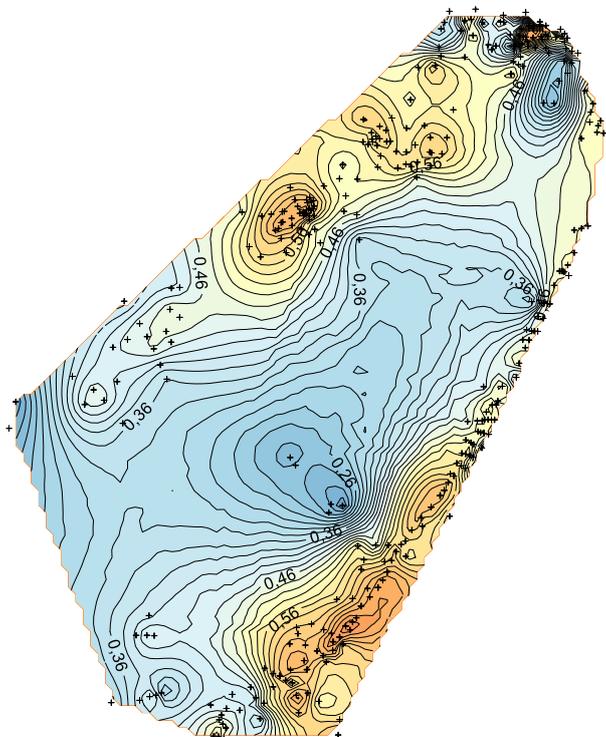


Рис.1.11. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $P(vr)$ для территории ПС

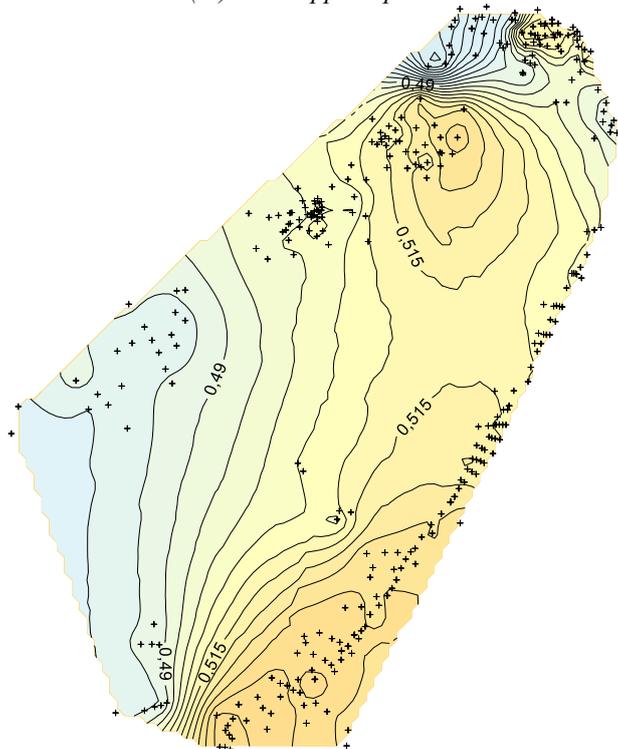


Рис.1.12. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателям $P(vr-ir)$, $P(vr-ar_1)$ и $P(vr-ar_2)$ для территории ПС

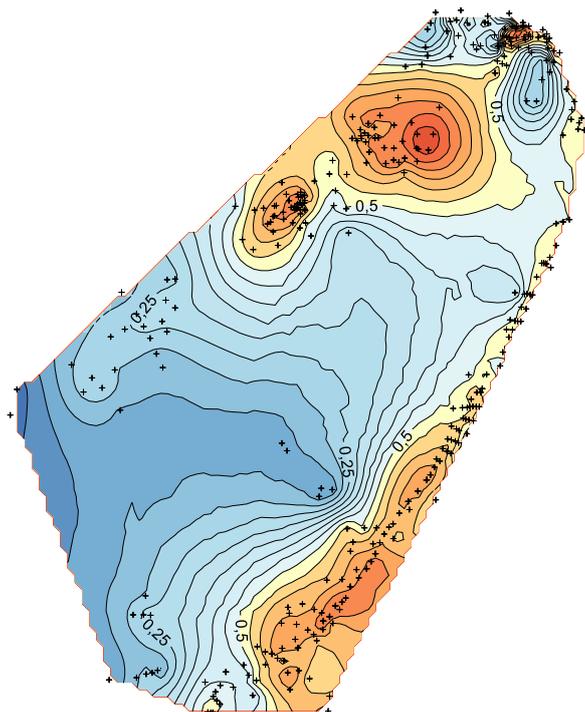


Рис.1.13. Вероятностная схема перспектив нефтегазоносности по показателю $R_{КОМ}^{СП}$ для территории ПС

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Галкин В.И., Бродягин В.В., Потрясов А.А., Скачек К.Г., Шайхутдинов А.Н. Зональный прогноз нефтегазоносности юрских отложений в пределах территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз» / Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. – № 8. – С. 31 – 35.

2. Галкин В.И., Жуков Ю.А., Шишкин М.А. Применение вероятностных моделей для локального прогноза нефтегазоносности. – Екатеринбург: Уро РАН, 1990. – 108с. 3. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур. – Екатеринбург: Уро РАН, 2001. – 277с.

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

4. Бродягин В.В., Потрясов А.А., Скачек К.Г., Шайхутдинов А.Н. Зональный прогноз нефтегазоносности юрских отложений в пределах территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз» / Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. – № 8. – С. 31 – 35.

5. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. О возможности прогноза нефтегазоносности юрских отложений вероятностно-статистическими методами (на примере территории деятельности ТПП «Когалымнефтегаз»/

Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2009. – № 6. – С. 11 – 14.

6. Галкин В.И., Шайхутдинов А.Н. Построение статистических моделей для прогноза дебитов нефти по верхнеюрским отложениям Когалымского региона./ Нефтяное хозяйство.- 2010.-№1-С. 52-54.

7. Кривошеков С.Н., Галкин В.И. Построение матрицы элементарных ячеек при прогнозе нефтегазоносности вероятностно-статистическими методами на территории Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ» – 2008. – № 8. – С.20-23.

8. Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Обоснование направлений поисков месторождений нефти и газа в Пермском крае // Научные исследования и инновации. Пермь, 2009. Т. 3. №4. С. 3-7.

9. Галкин В.И., Козлова И.А., Растегаев А.В., Ванцева И.В., Кривошеков С.Н., Воеводкин В.Л. К методике оценки перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии по характеристикам локальных структур // Нефтепромысловое дело. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. – № 7. – С.12-17. 10. Галкин В.И., Растегаев А.В., Козлова И.А., Ванцева И.В., Кривошеков С.Н., Воеводкин В.Л. Прогнозная оценка нефтегазоносности структур на территории Соликамской депрессии // Нефтепромысловое дело. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. – № 7. – С.4-7.

11. Белоконов Т.В., Галкин В.И., Козлова И.А., Пашкова С.Е. Додевонские отложения Пермского Прикамья как одно из перспективных направлений геолого-разведочных работ// Геология, геофизика и

разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ» – 2005. – № 9. – С.24-28.

12. Путилов И.С. Разработка технологий комплексного изучения геологического строения и размещения месторождений нефти и газа. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 285 с.

13. Галкин В.И., Козлова И.А., Кривошеков С.Н., Пятунина Е.В., Пестова С.Н. О возможности прогнозирования нефтегазоносности фаменских отложений с помощью построения вероятностно-статистических моделей // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ» – 2007. – № 10. – С.22-27.

14. Галкин В.И., Соловьев С.И. Районирование территории Пермского края по степени перспективности приобретения нефтяных участков недр // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. - №16. – с. 14-24. DOI: 10.15593/224-9923/2015.16.2.

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

16. Галкин В.И., Соснин Н.Е. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазоносности сложнопостроенных структур в девонских терригенных отложениях. // Нефтяное хозяйство. – 2013. - №4. – С. 28-31.

17. Дементьев Л.Ф. Математические методы и ЭВМ в нефтегазовой геологии.-М.:Недра,1987.-264с.

18. Давыденко А.Ю. Вероятностно-статистические методы в геолого-геофизических приложениях. – Иркутск, 2007. – 29 с.

19. Михалевич И.М. Применение математических методов при анализе геологической информации (с использованием компьютерных технологий). – Иркутск, 2006. – 115 с.

20. Андрейко С.С. Разработка математической модели метода прогнозирования газодинамических явлений по геологическим данным для условий Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. - №21. – с. 345-353. DOI: 10.15593/224-9923/2016.21.6.

21. Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных.-М.:Мир,1977.-353с.29.

22. Darling T. Well Logging and Formation Evaluation. – GardnersBooks, 2010. – 336 p.

23. Поморский Ю.Л. Методы статистического анализа экспериментальных данных: монография. – Л., 1960. – 174 с.

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

24. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics // AAPG. – Tulsa, Oklahoma, 1994. – 231 p.

25. Черепанов С.С. Комплексное изучение трещиноватости карбонатных залежей методом Уоррена-Рута с использованием данных сейсмофациального анализа (на примере турнефаменской залежи Озерного месторождения) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. - №14. – с. 6-12. DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.1.

26. Галкин В.И., Пономарева И.Н., Черепанов С.С. Разработка методики оценки возможностей выделения типов коллекторов по данным кривых восстановления давления по геолого-промысловым характеристикам пласта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. - №17. – с. 32-40. DOI: 10.15593/224-9923/2015.17.4.

27. Черепанов С.С., Мартюшев Д.А., Пономарева И.Н. Оценка фильтрационно-емкостных свойств трещиноватых карбонатных коллекторов месторождений Предуральяского краевого прогиба // Нефтяное хозяйство. – 2013. - №3. – С. 62-65.

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

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

30. Horne R.N. Modern well test analysis: A computer Aided Approach. – 2nd ed. – Palo Alto: PetrowayInc, 2006. – 257 p.

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

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

33. Галкин В.И., Куницких В.И. Статистическое моделирование расширяющегося тампонажного состава // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. - Т.16,№3. – с. 215-244. DOI: 10.15593/224-9923/2017.3.2.

34. Галкин В.И., Пономарева И.Н., Репина В.А. Исследование процесса нефтеизвлечения в коллекторах различного типа пустотности с использованием многомерного статистического анализа // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. - №19. – с. 145-154. DOI: 10.15593/224-9923/2016.19.5.