ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ, РАЗВЕДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ/GEOLOGY, PROSPECTING, EXPLORATION AND EXPLOITATION OF OIL AND GAS FIELDS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА ПОДТВЕРЖДАЕМОСТИ ТЕКТОНО-СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ СТРУКТУР, ПОДГОТОВЛЕННЫХ СТРУКТУРНЫМ БУРЕНИЕМ И СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫМИ РАБОТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Научная статья

Суворова А.С.[1, *]
[1] ORCID : 0009-0006-6538-8618;
[1] Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», Пермь, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (anastasija.suvorova[at]pnn.lukoil.com)

Аннотация

На территории Пермского края значительное количество подготавливаемых к глубокому бурению структур по своему генезису являются тектоно-седиментационными. В данной статье представлены результаты анализа изменения амплитуд структур от момента подготовки (*Ап*, м) до вывода поднятия из глубокого бурения (*Аа*, м). Анализ выполнен для поднятий, подготовленных по основным отражающим горизонтам верхневизейско-башкирских карбонатных (C_2b), нижне-средневизейских терригенных (C_1v_{1-2}) и верхнедевонско-турнейских карбонатных (D_3-C_1t) отложений.

На основе анализа разработаны вероятностные модели прогноза наличия положительных локальных структур для территории Пермского края, которые позволят снизить риски опоискования поднятий, которые по результатам глубокого бурения не подтвердятся.

Ключевые слова: амплитуда структуры, тектоно-седиментационные структуры, Камско-Кинельская система прогибов, подтверждаемость структурных построений, вероятностно-статистические модели.

DEVELOPMENT OF STATISTICAL MODELS FOR PREDICTING THE CONFIRMABILITY OF TECTONO-SEDIMENTARY STRUCTURES PREPARED BY STRUCTURAL DRILLING AND SEISMIC SURVEYS IN PERM KRAI

Research article

Suvorova A.S.[1, *]
[1] ORCID : 0009-0006-6538-8618;
[1] "PermNIPIneft" — Branch of "LUKOIL-Engineering" LLC, Perm, Russian Federation

* Corresponding author (anastasija.suvorova[at]pnn.lukoil.com)

Abstract

On the territory of Perm Krai a considerable number of structures prepared for deep drilling are tectono-sedimentary in their genesis. This work presents the results of analyses of changes in the amplitudes of structures from the moment of preparation (Ap, m) to withdrawal of the structure from deep drilling (Aa, m). The analysis was performed for the lifts prepared on the main reflecting horizons of Upper Visean-Bashkirian carbonate (C2b), Lower-Middle Visean terrigenous (C1v1-2) and Upper Devonian-Tournaisian carbonate (D3-C1t) sediments.

On the basis of the analysis, probabilistic models of forecasting the presence of positive local structures for Perm Krai have been developed, which will allow to reduce the risks of searching for rises that would not be confirmed by the results of deep drilling.

Keywords: structure amplitude, tectono-sedimentary structures, Kamsko-Kinel trench system, confirmability of structural constructions, probabilistic and statistical models.

Введение

На территории Пермского края основные перспективы промышленной нефтегазоносности связаны с верхневизейско-башкирским карбонатным (C_2b), нижне-средневизейским терригенным (C_1v_{1-2}) и верхнедевонско-турнейским карбонатным (D_3-C_1t) нефтегазоносными комплексами (НГК) [1].

В последнее время в пределах региона отмечается усложнение условий поиска новых нефтяных месторождений, что обусловлено высокой степенью изученности и увеличением числа малоразмерных и малоамплитудных поднятий, вводимых в поисковое бурение [2].

Промышленно-нефтегазоносносные структуры, имеющие, как правило, тектоно-седиметационный и седиментационный генезис, преимущественно сосредоточены в зонах развития Камско-Кинельской системы прогибов (ККСП), сформировавшейся в позднедевонскую эпоху. Развитие цепочек и одиночных позднедевонских рифовых сооружений способствовало возникновению структур облекания, которые характеризуются постепенным выполаживанием от нижнекаменноугольных отложений вверх по разрезу [3].

На перспективы нефтеносности локальных поднятий непосредственное влияние оказывают морфологические характеристики [4]. Количественная оценка нефтеносности структур, подготовленных к глубокому бурению, в большей степени, основывается на морфологических характеристиках объекта – площади, амплитуде и др. [5].

При картировании объектов как структурным бурением, так и сейсморазведочными работами наблюдается ухудшение морфологических параметров поднятий от момента их подготовки до вывода из глубокого бурения. Изменение структурных построений оказывает непосредственное влияние на подтверждаемость ресурсов категории D_0 приростом запасов категорий C_1+C_2 [6]. Увеличение количества неподтвердившихся по результатам бурения поднятий ведет к снижению эффективности поисковых работ и росту экономических затрат [7]. В связи с этим существует необходимость разработки моделей выделения в рамках существующего фонда подготовленных структур «достоверных» объектов, которые подтвердятся по результатам глубокого бурения с наименьшими изменениями морфологических характеристик [8].

В работе отражены результаты разработки вероятностно-статистических моделей на основе ретроспективного анализа изменения амплитуды тектоно-седиментационных поднятий по основным опорным горизонтам каменноугольных отложений в зависимости от этапа ГРР.

В анализ включено 86 тектоно-седиментационных структур, подготовленных по результатам структурного бурения, сейсморазведочных работ МОГТ 2D и МОГТ 3D, а также комплексом этих методов и выведенных из глубокого бурения с 1997 по 2021 гг. В исследовании использована информация об амплитудах структур по материалам паспортов (*Ап*, м) и амплитудах, актуализированных по данным поискового бурения (*Аа*, м).

Применение математических методов с построением вероятностно-статистических моделей для решения аналогичных задач реализовано в работах [6], [9].

Разработка вероятностных моделей

Для анализа соотношений между амплитудами структур по данным паспортов (*Ап)* и амплитудами, актуализированными по данным бурения (*Аа)* сформированы изучаемые выборки по принципу от минимального ($Ап^{мин}$) до максимального ($Ап^{мах}$) значений. Таким образом, построено 335 многомерных моделей: для верхневизейско-башкирского карбонатного – 95, для нижне-средневизейского терригенного – 126, для верхнедевонско-турнейского карбонатного – 115. Фрагменты многомерных моделей для каждого НГК приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Фрагменты многомерных моделей для анализа формирования значений *An* от *Aa* для тектоно-седиментационных структур по НГК

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.1

НГК	Интервал построения моделей по *An*, м	Свободный член	Уровень значимости – p	Коэффициенты при *Aa*	Уровень значимости – p	Коэффициент детерминации – R^2	Уровень значимости – p
C_2b	1,0-2,0	2,565	$1,778 \cdot 10^{(-3)}$	-0,171717	$1,356 \cdot 10^{(-2)}$	0,986	$<1,356 \cdot 10^{(-2)}$
	1,0-3,0	2,912	$1,601 \cdot 10^{(-3)}$	-0,198413	$1,842 \cdot 10^{(-2)}$	0,704	$<1,842 \cdot 10^{(-2)}$
	…						
	1,0-58,0	6,238	$1,451 \cdot 10^{(-7)}$	0,457128	$1,591 \cdot 10^{(-7)}$	0,669	$<1,125 \cdot 10^{(-7)}$

НГК	Интервал построения моделей по *An*, м	Свободный член	Уровень значимости – p	Коэффициенты при *Aa*	Уровень значимости – p	Коэффициент детерминации – R^2	Уровень значимости – p
	1,0-59,0	5,767	$2{,}492 \cdot 10^{(-7)}$	0,539175	$3{,}783 \cdot 10^{(-7)}$	0,727	$<4{,}212 \cdot 10^{(-7)}$
C_1v_{1-2}	3,0-6,0	4,423	$3{,}347 \cdot 10^{(-1)}$	0,027027	$9{,}314 \cdot 10^{(-1)}$	0,107	$<9{,}314 \cdot 10^{(-1)}$
	3,0-6,0	5,102	$1{,}061 \cdot 10^{(-1)}$	-0,012384	$9{,}546 \cdot 10^{(-1)}$	0,045	$<9{,}546 \cdot 10^{(-1)}$
	…						
	3,0-62,0	9,568	$2{,}313 \cdot 10^{(-7)}$	0,484649	$1{,}672 \cdot 10^{(-7)}$	0,560	$<4{,}361 \cdot 10^{(-7)}$

НГК	Интервал построения моделей по *An*, м	Свободный член	Уровень значимости – p	Коэффициенты при *Aa*	Уровень значимости – p	Коэффициент детерминации – R^2	Уровень значимости – p
	3,0-72,0	8,616	$1{,}114\cdot10^{(-7)}$	0,561582	$4{,}135\cdot10^{(-7)}$	0,680	$<3{,}256\cdot10^{(-7)}$
D_3-C_1t	3,0-5,0	5,315	$1{,}092\cdot10^{(-1)}$	-0,122807	$4{,}065\cdot10^{(-1)}$	0,802	$<4{,}065\cdot10^{(-1)}$
	3,0-5,0	4,850	$4{,}270\cdot10^{(-2)}$	-0,031153	$7{,}209\cdot10^{(-1)}$	0,279	$<7{,}209\cdot10^{(-1)}$
	…						
	3,0-38,0	15,248	$1{,}531\cdot10^{(-7)}$	0,183720	$7{,}063\cdot10^{(-3)}$	0,248	$<7{,}061\cdot10^{(-3)}$

НГК	Интервал построения моделей по *An*, м	Свободный член	Уровень значимости – p	Коэффициенты при *Aa*	Уровень значимости – p	Коэффициент детерминации – R^2	Уровень значимости – p
	3,0-122,0	9,612	$2{,}253 \cdot 10^{(-7)}$	0,577126	$3{,}264 \cdot 10^{(-3)}$	0,665	$<4{,}132 \cdot 10^{(-7)}$

Для построенных уравнений регрессии сформированы графики изменения значений свободных членов уравнений регрессии в зависимости от значений *An* для анализируемых НГК (Рисунок 1). Изменения значений свободных членов уравнений регрессии значительно отличаются для каждого НГК. Для всех НГК изменения значений характеризуется двумя участками, где соотношения между *An* различны. Первый участок характеризуется практически линейными видами соотношений. На втором участке при повышении величины *An* линейность связей нарушается. Отметим, что границы перехода к различным типам соотношений для изучаемых НГК располагаются при различных значениях *An*.

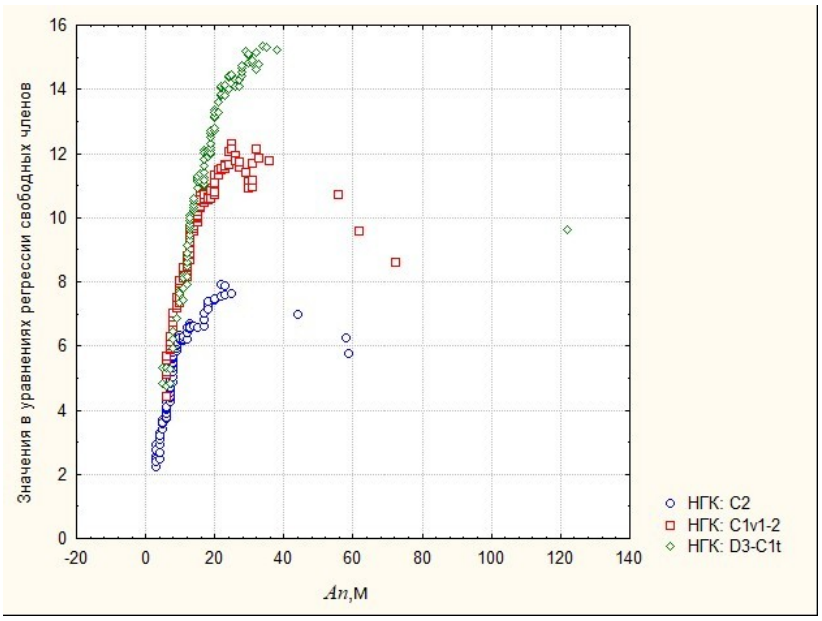

Рисунок 1 - Изменение свободных членов уравнений регрессии по НГК
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.2

Изменения значений коэффициентов при *Aa* в уравнениях регрессии для НГК приведены на рисунке 2. При анализе изменения значений коэффициентов при *Aa* отмечается относительное смещение значений относительно друг друга в зависимости от НГК. Необходимо подчеркнуть, что максимальные значения коэффициентов при *Aa* при увеличении значений *An* достигаются в основном для верхневизейско-башкирского карбонатного НГК, минимальные – для верхнедевонско-турнейского карбонатного НГК. Значения коэффициентов при *Aa* для нижне-средневизейского терригенного НГК занимают промежуточное положение.

О том, что значения *An*, на определенных интервалах зависят от *Aa*, свидетельствуют графики, приведенные на рисунке 3. В зависимости от соотношений значений *An* и коэффициентов корреляции *r* выделяются, как и по значениям коэффициентов при *An*, группы по принадлежности к НГК: верхневизейско-башкирскому, нижне-средневизейскому и верхнедевонско-турнейскому.

Изменение коэффициентов детерминации и угловых коэффициентов в уравнениях регрессии свидетельствует об унаследованности структурных планов и выполаживании поднятий от нижележащих к вышележащим горизонтам, что обусловлено седиментационными и тектоническими факторами развития исследуемой территории.

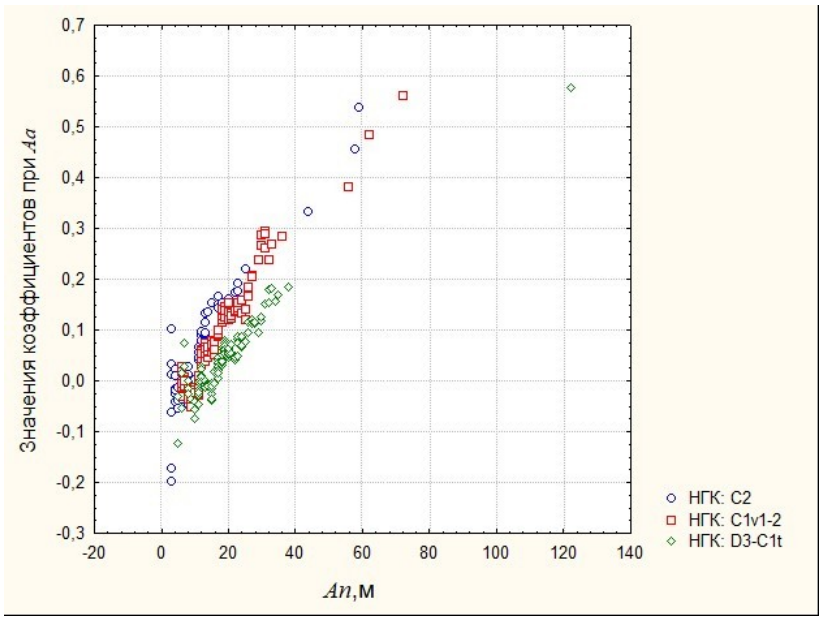

Рисунок 2 - Изменение в уравнениях регрессии значений коэффициентов при *Aa* для НГК
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.3

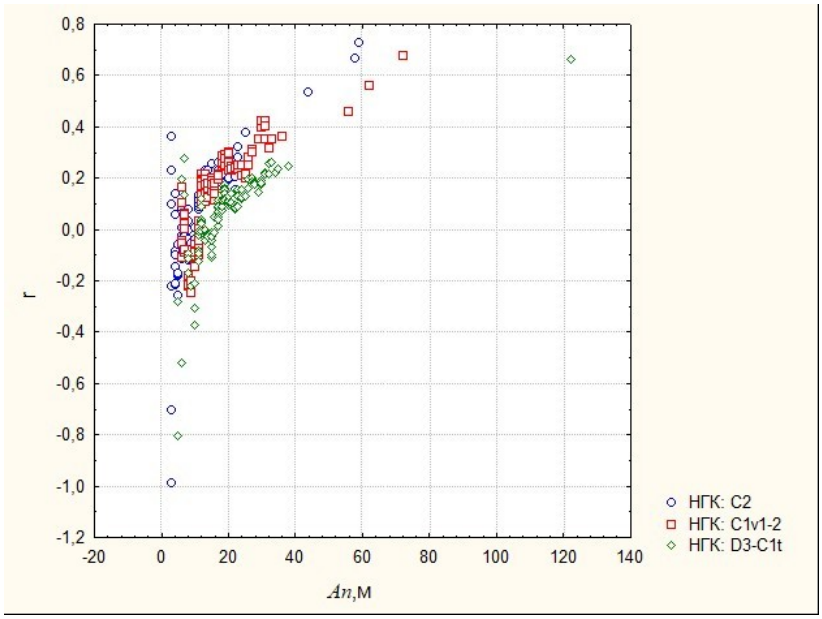

Рисунок 3 - Изменение коэффициентов корреляции *r* по НГК
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.4

Анализ построенных уравнений регрессии подтверждает, что для рассматриваемых НГК наблюдаются значения коэффициентов при *Aa*, изменяющиеся с отрицательных на положительные. Границы перехода от отрицательных к положительным значениям использованы при разделении выборок на две группы в рамках разработки индивидуальных статистических моделей для прогноза подтверждаемости амплитуды структур по НГК. Критические значения амплитуды тектоно-седиментационных структур *An* для верхневизейско-башкирского, верхнедевонско-турнейского карбонатных и нижне-средневизейского терригенного НГК составили соответственно 10 м, 16 м и 11 м. Вероятностные модели прогноза подтверждаемости структур по НГК представлены в таблице 2. Разработанные линейные статистические модели прогноза наличия тектоно-седиментационных поднятий по НГК являются статистически значимыми.

Таблица 2 - Вероятностные модели прогноза подтверждаемости структур по НГК

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.5

НГК	Статистические характеристики амплитуд, м		Критерии $\frac{t}{p}$	Критерии $\frac{\chi^2}{p}$	Уравнение вероятности принадлежности к классу подтвердившихся структур	Область применения модели, м	Диапазон изменения вероятности
C_2b	*An*<10	*An*>10	-10,2496 $1,137\cdot10^{(-8)}$	50,46804 $2,453\cdot10^{(-8)}$	$P(An)=0,339+0,0112\cdot An$	1,0-59,0	0,350-0,999
	6,3±2,3 0,409±0,026	18,9±11,9 0,550±0,133					
$C1v_{1-2}$	*An*<11	*An*>11	-6,32597 $1,423\cdot10^{(-8)}$	37,59319 $2,311\cdot10^{(-8)}$	$P(An)=0,364+0,0087\cdot An$	3,0-72,0	0,390-0,990
	8,8±1,8 0,440±0,016	19,8±28,9 0,536±0,087					

НГК	Статистические характеристики амплитуд, м		Критерии $\frac{t}{p}$	Критерии $\frac{\chi^2}{p}$	Уравнение вероятности принадлежности к классу подтвердившихся структур	Область применения модели, м	Диапазон изменения вероятности
D_3-C_1t	*An*<16	*An*>16	-13,1856 $3{,}143\cdot10^{(-8)}$	104,7425 $1{,}122\cdot10^{(-8)}$	*P*(*An*)=0,233+0,0157·*An*	3,0-38,0	0,280-0,829
	11,3±3,3 0,409±0,051	22,8±5,4 0,591±0,084					

Графическое отображение построенных линейных вероятностных моделей приведено на рисунке 4, отражающий, что при росте значений *An* вероятности *P*(*An*) увеличиваются. Таким образом, использование разработанных моделей *P*(*An*) от *An* позволит ранжировать тектоно-седиментационные структуры по степени перспективности и выделять из них наиболее «достоверные».

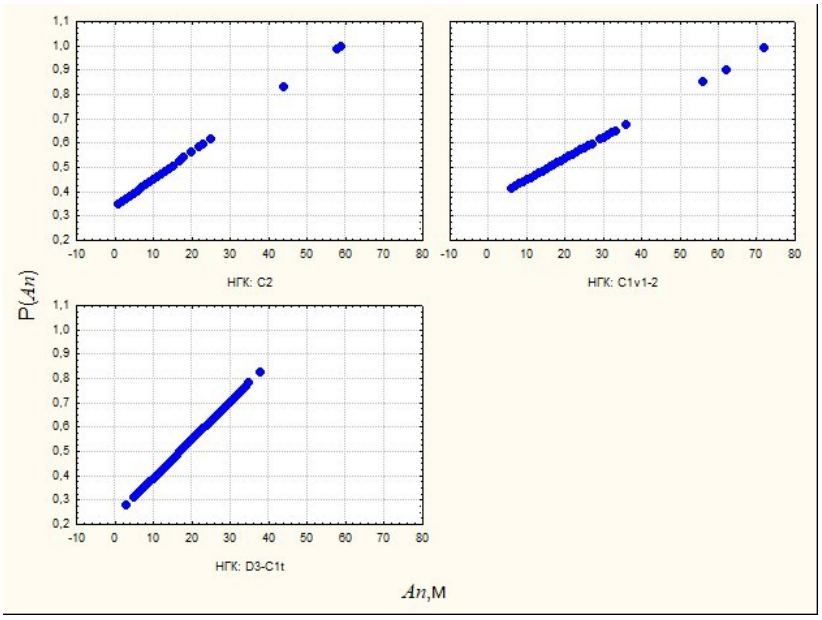

Рисунок 4 - Зависимости *P(An)* от *An* по НГК
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.6

Далее по значениям *P*(*An*) по НГК вычислена суммарная вероятность существования структуры в пределах изучаемых НГК по следующей формуле [10]:

$$P_{\text{Комп}} = \frac{\prod P(An)}{\prod P(An) + \prod (1 - PAn))} \quad (1)$$

где *P(An)* – соответственно вероятности по НГК, а П – их произведение.

Поля корреляции по НГК между суммарной вероятностью существования структур *Ркомп* и вероятностью *P(An)*, вычисленной по линейным моделям, приведены на рисунке 5.

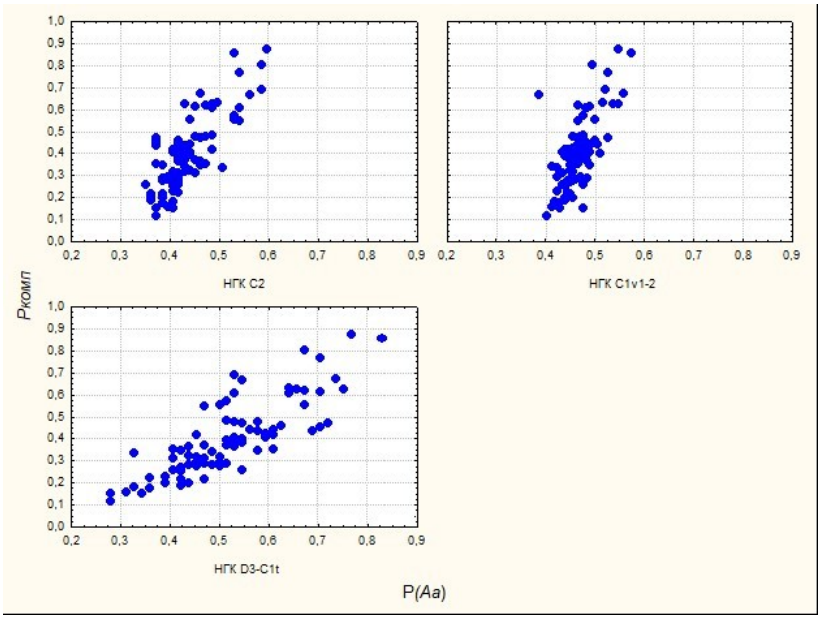

Рисунок 5 - Поля корреляции по НГК между суммарной вероятностью существования структур *Ркомп* и вероятностью *P(An)*
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.7

Рисунок 5 демонстрирует, что значения суммарной вероятности существования структур *Ркомп* достаточно хорошо коррелируют со значениями вероятностей, вычисленных по индивидуальным моделям по НГК *P(An)*. По формуле (1) вычислены значения *Ркомп* для 86 тектоно-седиментационных структур, которые далее использованы для прогноза существования структур непосредственно по фактическим значениям амплитуд по следующему уравнению:

$$\text{Ркомп} = -0,032 + 0,013550 \cdot An^{\text{D3}-\text{Cl}_4} + 0,019948 \cdot An^{\text{C2}b} + 0,000877 \cdot An^{\text{Clv1}-2} \quad (2)$$

при R^2=0,996; $p<3,613\cdot10^{(-5)}$; стандартная ошибка модели – 0,013. Формирование модели происходило в последовательности, приведенной в уравнении регрессии. Значения коэффициентов R^2, описывающих силу статистических связей для верхневизейско-башкирского, верхнедевонско-турнейского карбонатных и нижне-средневизейского терригенного НГК, изменялись следующим образом: 0,832; 0,996; 0,995.

Полученное уравнение регрессии (2) может быть использовано при значениях амплитуд, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 - Диапазоны использования значений *An* при вычислении значений *Ркомп*

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.17.8

Амплитуды структур по НГК, м	Средние значения амплитуд, м	Диапазон применения, м
An^{C2b}	8,8±4,9	3-36
$An^{\text{C1v1-2}}$	15,8±7,0	3-38
$An^{\text{D3-C1t}}$	18,4±7,7	1-23

Заключение

По результатам сопоставления амплитуд структур по данным структурного бурения, сейсморазведочных работ МОГТ 2D и МОГТ 3D с фактическими амплитудами поднятий, установленными по результатам глубокого бурения, по отражающим поверхностям каменноугольных отложений на территории Пермского края разработаны вероятностные модели прогноза наличия положительных локальных тектоно-седиментационных структур для верхневизейско-башкирского, верхнедевонско-турнейского карбонатных и нижне-средневизейского терригенного НГК.

При помощи разработанных вероятностных моделей возможна ранжировка подготовленных к глубокому бурению объектов по степени перспективности и определение наиболее «достоверных», что, в свою очередь, позволит избежать разбуривания малоперспективных объектов, повысить эффективность поисковых работ и подтверждаемость ресурсов приростом запасов категорий C_1+C_2.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Лядова Н.А. Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края / Н.А. Лядова, Ю.А. Яковлев, А.В. Распопов. — М.: ВНИИОЭНГ, 2010. — 335 с.

2. Галкин В.И. Районирование территории Пермского края по степени перспективности приобретения нефтяных участков недр / В.И. Галкин, С.И. Соловьев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2015. — № 16. — С. 14-24.

3. Галкин В.И. Применение вероятностных моделей для локального прогноза нефтегазоносности / В.И. Галкин, Ю.А. Жуков, М.А. Шишкин. — Екатеринбург: Изд-во Уро РАН, 1990. — 108 с.

4. Zhuoheng Ch. Geological Risk Mapping and Prospect Evaluation Using Multivariate and Bayesian Statistical Methods, Western Sverdrup Basin of Canada / Ch. Zhuoheng, K.G. Osadetz // AAPG Bulletin. — 2006. — Vol. 90. — № 6. — P. 859-872.

5. Галкин В.И. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур / В.И. Галкин, А.В. Растегаев, С.В. Галкин. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. — 277 с.

6. Южаков А.Л. Прогнозирование нефтегазоносности южной части Пермского края с использованием регионального трехмерного моделирования / А.Л. Южаков, И.С. Путилов // Недропользование. — 2020. — Т. 20. — № 4. — С. 317-330.

7. Кошкин К.А. Разработка вероятностно-статистических моделей для оценки перспектив нефтегазоносности пластов Тл2-б и Бб Пожвинского участка / К.А.Кошкин // Недропользование. — 2018. — Т. 17. — № 1. — С. 4-16.

8. Галкин В.И. Разработка статистической модели прогноза нефтегазоносности по газовыделениям в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / В.И. Галкин, О.А. Мелкишев, С.В. Варушкин // Недропользование. — 2020. — Т. 20. — № 1. — С. 4-13.

9. Галкин С.В. Использование многомерных статистических моделей при оперативном контроле извлекаемых запасов визейских залежей Пермского края / С.В. Галкин, Д.С. Лобанов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2022. — Т. 333. — № 5. — С. 126-136.

10. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 1 / Дж.С. Девис. — М.: Недра, 1990. — 319 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ljadova N.A. Geologija i razrabotka neftjanyh mestorozhdenij Permskogo kraja [Geology and Development of Oil Fields in Perm Krai] / N.A. Ljadova, Ju.A. Jakovlev, A.V. Raspopov. — M.: All-Russian Research Institute of Organization, Management and Economics of the Oil and Gas Industry, 2010. — 335 p. [in Russian]

2. Galkin V.I. Rajonirovanie territorii Permskogo kraja po stepeni perspektivnosti priobretenija neftjanyh uchastkov nedr [Regionalization of Perm Krai according to the Degree of Promising Acquisition of Oil Subsoil Areas] / V.I. Galkin, S.I. Solov'ev // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Geologija. Neftegazovoe i gornoe delo [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and Gas and Mining Engineering]. — 2015. — № 16. — P. 14-24. [in Russian]

3. Galkin V.I. Primenenie verojatnostnyh modelej dlja lokal'nogo prognoza neftegazonosnosti [Application of Probabilistic Models for Local Oil and Gas Prediction] / V.I. Galkin, Ju.A. Zhukov, M.A. Shishkin. — Yekaterinburg: Ural Branch RAS Publishing House, 1990. — 108 p. [in Russian]

4. Zhuoheng Ch. Geological Risk Mapping and Prospect Evaluation Using Multivariate and Bayesian Statistical Methods, Western Sverdrup Basin of Canada / Ch. Zhuoheng, K.G. Osadetz // AAPG Bulletin. — 2006. — Vol. 90. — № 6. — P. 859-872.

5. Galkin V.I. Verojatnostno-statisticheskaja ocenka neftegazonosnosti lokal'nyh struktur [Probabilistic and Statistical Assessment of Oil and Gas Content of Local Structures] / V.I. Galkin, A.V. Rastegaev, S.V. Galkin. — Yekaterinburg: Ural Branch RAS Publishing House, 2001. — 277 p. [in Russian]

6. Juzhakov A.L. Prognozirovanie neftegazonosnosti juzhnoj chasti Permskogo kraja s ispol'zovaniem regional'nogo trehmernogo modelirovanija [Forecasting of Oil and Gas Content in the Southern Perm Krai using Regional 3D Modelling] / A.L. Juzhakov, I.S. Putilov // Nedropol'zovanie [Subsoil Use]. — 2020. — Vol. 20. — № 4. — P. 317-330. [in Russian]

7. Koshkin K.A. Razrabotka verojatnostno-statisticheskih modelej dlja ocenki perspektiv neftegazonosnosti plastov Tl2-b i Bb Pozhvinskogo uchastka [Development of Probabilistic and Statistical Models for Assessment of Oil and Gas Prospects of Tl2-b and Bb Formations of the Pozhvinskiy Area] / K.A.Koshkin // Nedropol'zovanie [Subsoil Use]. — 2018. — Vol. 17. — № 1. — P. 4-16. [in Russian]

8. Galkin V.I. Razrabotka statisticheskoj modeli prognoza neftegazonosnosti po gazovydelenijam v tolshhe Verhnekamskogo mestorozhdenija kalijno-magnievyh solej [Development of a Statistical Model for Oil and Gas Prognosis Based on Gas Emissions in the Formation of the Verkhnekamsk Potassium-Magnesium Salt Deposit] / V.I. Galkin, O.A. Melkishev, S.V. Varushkin // Nedropol'zovanie [Subsoil Use]. — 2020. — Vol. 20. — № 1. — P. 4-13. [in Russian]

9. Galkin S.V. Ispol'zovanie mnogomernyh statisticheskih modelej pri operativnom kontrole izvlekaemyh zapasov vizejskih zalezhej Permskogo kraja [The Use of Multivariate Statistical Models in the Operational Control of Recoverable Reserves of Viseisian Deposits of the Perm Territory] / S.V. Galkin, D.S. Lobanov // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Georesources]. — 2022. — Vol. 333. — № 5. — P. 126-136. [in Russian]

10. Davis J.S. Statisticheskij analiz dannyh v geologii. Kn. 1 [Statistical Analysis of Data in Geology. Book 1] / J.S. Davis. — M.: Nedra, 1990. — 319 p. [in Russian]