

УДК 550.812.1; 553.632; 553.98

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ПОДТВЕРЖДАЕМОСТИ АМПЛИТУД СТРУКТУР, ПОДГОТОВЛЕННЫХ ПО ОТЛОЖЕНИЯМ СРЕДНЕГО КАРБОНА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Галкин Владислав Игнатьевич¹,
vgalkin@pstu.ru

Суворова Анастасия Сергеевна²,
Anastasija.Suvorova@pnn.lukoil.com

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29.

² Пермский регион филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Пермская, 3а.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поддержания подтверждаемости ресурсов категории D_0 приростом запасов категорий C_1+C_2 на высоком уровне. Оценка ресурсов подготовленных структур производится по нефтегазоносным комплексам при наличии открытых промышленных залежей углеводородов на месторождениях-аналогах, а также при условии картирования замкнутых амплитудных понятий по отражающим поверхностям. Одним из факторов, влияющих на снижение коэффициентов подтверждаемости, является изменение структурных построений от поисково-оценочного к разведочному этапам геологоразведочных работ.

Цель: на основе ретроспективных данных создать вероятностную модель прогноза, позволяющую определить наиболее достоверные на поиски углеводородов в разрезе среднекаменноугольных отложений поднятия в рамках существующего фонда подготовленных структур, скорректировать текущую оценку ресурсов категории D_0 и исключить бурение новых поисково-оценочных скважин в пределах малоперспективных объектов.

Объекты. Для исследования создана база данных, включающая сведения о 125 подготовленных структурах, выведенных из бурения с 1997 по 2021 гг. База данных отражает информацию об амплитудах структур в соответствии с материалами на их подготовку (A_n) и согласно актуализации структурных построений по результатам глубокого поисково-оценочного, разведочного бурения, сейсморазведочных работ на открытых месторождениях и пр. (A_a).

Методика исследования основана на использовании методов математической статистики.

Результаты. Выполнен корреляционный анализ амплитуд структур по материалам паспортов и амплитуд структур, актуализированных по данным глубокого бурения. По итогам анализа между A_n и A_a выявлено разделение корреляционного поля на два подполя. При использовании детального статистического анализа соотношений A_a и A_n между подполями установлено граничное значение A_n , составляющее 13 м, что позволило разработать индивидуальную вероятностную линейную модель прогноза подтверждаемости амплитуды структуры по значениям A_n .

Ключевые слова:

амплитуда поднятия, подготовленная структура, подтверждаемость структурных построений, вероятностно-статистические модели, поисково-оценочное бурение, среднекаменноугольные отложения.

Введение

На территории Пермского края в разрезе среднекаменноугольных отложений C_2 промышленно нефтегазоносными комплексами являются верейский терригенно-карбонатный и верхневизейско-башкирский карбонатный [1].

Как правило, количественный прогноз нефтеносности локальных поднятий, подготовленных к глубокому бурению, осуществляется исходя из морфологических характеристик структур – амплитуды, площади и др. [2]. Изменение структурных построений от этапа подготовки структуры к разведочному этапу играет значимую роль в подтверждаемости ресурсов категории D_0 приростом запасов категорий C_1+C_2 [3, 4].

В работе выполнен анализ изменения амплитуд структур по отражающим горизонтам I^K и I^N , приуроченных к кровлям верейских терригенных и башкирских карбонатных отложений, соответственно. Исследование проведено для поднятий, 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. На основе изменения амплитуд структур в зависимости от этапа геологоразведочных работ выполнено построение вероятностно-статистической модели.

Возможности применения статистических оценок для решения аналогичных задач приведены в работах [5–21].

Использование корреляционного анализа для сопоставления амплитуд A_n и A_a

Первоначально выполним сравнение амплитуд структур согласно паспортам на их подготовку (A_n) и амплитуд структур согласно актуализации структурных построений (A_a) и оценим связь между A_n и A_a путем построения поля корреляции между ними. Количественно определим связь путем построения уравнения регрессии и вычисления коэффициента корреляции r (рис. 1, а).

Анализ полученных данных демонстрирует, что несмотря на наличие статистически значимой корреляционной связи ($r=0,766$; $p=0,0000000$), в пределах поля корреляции наблюдается два подполя, в рамках которых соотношения между An и Aa значительно различаются.

Условно границу между этими подполями можно провести по $An=20$ м. Поля корреляции между An и Aa , уравнения регрессии и коэффициент корреляции r , согласно вышеприведенному условию, приведены на рис. 1, б. Отсюда видно, что поля корреляции имеют различные виды: при $An<20$ м связь между An и Aa слабая ($r=0,21$); при $An>20$ м связь между An и Aa достаточно тесная ($r=0,57$).

Разработка вероятностной модели

С целью выявления различий в соотношениях между An и Aa вычислим значения t -критерия Стьюдента и критерия Пирсона χ^2 в зависимости от значений An (табл. 1). Использование данных критериев для решения подобных задач приведено в работах [22–24].

Для более детального статистического анализа значений An и Aa исследуем их распределения (табл. 2). Оптимальные величины интервалов значений показателей вычисляются по формуле Стерджесса [25]:

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

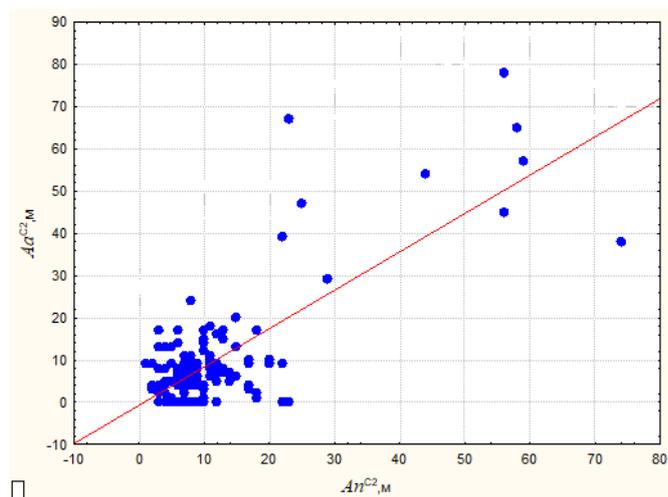
где A_{\max} – максимальное значение амплитуды структуры, м; A_{\min} – минимальное значение амплитуды структуры, м; N – количество структур.

В каждом интервале определяются частоты по формуле [26]:

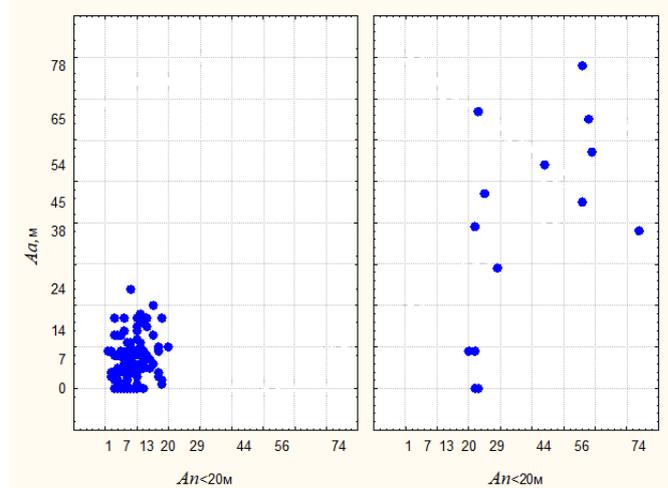
$$P(X) = \frac{N_k}{N_g},$$

где $P(X)$ – частота в k -м интервале для группы An ($q=1$), $q=2$ соответствует группе Aa ; N_k – число случаев содержания показателя $P(X)$ в k -м интервале; N_q – объем выборки для 1 и 2 классов.

Распределение частот в исследуемых классах структур приведено в табл. 2.



а) $Aa = -0,661 + 0,908 An$; $r = 0,766$; $p = 0,0000000$



б) $An < 20$ м $Aa = 4,298 + 0,271 An$; $r = 0,21$; $p = 0,027$
 $An > 20$ м $Aa = 8,995 + 0,771 An$; $r = 0,57$; $p = 0,034$

Рис. 1. Поля корреляции: а) для всех структур; б) для структур с $An < 20$ м и $An > 20$ м

Fig. 1. Correlation fields: а) for all structures; б) for structures with $An < 20$ m and $An > 20$ m

Таблица 1. Сравнение средних значений An и Aa

Table 1. Comparison of mean values of An and Aa

| Класс Category | Статистические характеристики амплитуд, м Statistical characteristics of amplitudes, m | | Критерии/Criteria | |
|---------------------------|---|-----------------|------------------------------|-----------------------------|
| | An/Ap | Aa/Aa | $\frac{t}{p}$ | $\frac{\chi^2}{p}$ |
| $An < 20$ м / $Ap < 20$ м | 8,7±4,1, n=110 | 6,7±5,3, n=110 | $\frac{3,129724}{0,001989}$ | $\frac{10,58157}{0,005038}$ |
| $An > 20$ м / $Ap > 20$ м | 38,0±18,8, n=14 | 38,3±25,7, n=14 | $\frac{-0,033574}{0,973473}$ | $\frac{0,427970}{0,807360}$ |

Таблица 2. Распределение частоты значений An и Aa

Table 2. Distribution of the frequency of Ap and Aa values

| Параметр Parametric variable | Интервалы варьирования An и Aa , м, при $An < 20$ м Intervals of variation of Ap and Aa , m, at $Ap < 20$ m | | | | | | |
|---------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0–4 | 4–8 | 8–12 | 12–16 | 16–20 | 20–24 | |
| An/Ap | 0,163 | 0,390 | 0,263 | 0,109 | 0,072 | – | |
| Aa/Aa | 0,400 | 0,272 | 0,163 | 0,090 | 0,063 | 0,009 | |
| | Интервалы варьирования An и Aa , м, при $An > 20$ м Intervals of variation of Ap and Aa , m, at $Ap > 20$ m | | | | | | |
| | 10–20 | 20–30 | 30–40 | 40–50 | 50–60 | 60–70 | 70–80 |
| An/Ap | 0,071 | 0,50 | – | 0,071 | 0,285 | 0,071 | – |
| Aa/Aa | 0,285 | 0,071 | 0,142 | 0,142 | 0,142 | 0,142 | 0,071 |

Для сравнения плотностей распределений амплитуд структур, приведенных в табл. 2, в изучаемых классах применим статистику Пирсона χ^2 [3, 8]. Значения критерия χ^2 приведены в табл. 1. По критерию χ^2 изучаемые показатели статистически различны при $An < 20$ м, при $An > 20$ м они статистически не различаются. Таким образом, статистически установлено, что соотношения между An и Aa различаются в зависимости от значений An .

Далее для установления более точной границы различных соотношений между An и Aa сформирована изучаемая выборка по принципу от минимального ($An^{\min}=1,0$ м) до максимального ($An^{\max}=74,0$ м) значений. По этим данным построены уравнения регрессии

An от Aa . Первое уравнение регрессии построено по 6 данным, следующее – при $n=7$, и так далее до $n=124$. Таким образом, построено 119 уравнений.

В результате комплексного анализа построенных уравнений регрессии установлена граница An , равная 13 м, после которой уравнения становятся статистически значимыми. Здесь необходимо отметить, что при $An=13$ м наблюдается статистически значимая зависимость An от Aa , далее при повышении значений An данная статистически значимая корреляция между An и Aa сохраняется.

По данной величине статистически исследуем значения Aa по критериям t и χ^2 , которые приведены в табл. 3. Распределение частот в исследуемых классах приведено в табл. 4.

Таблица 3. Сравнение средних значений Aa

Table 3. Comparison of the mean values of Aa

| Параметр Parametric variable | Статистические характеристики амплитуд, м Statistical characteristics of amplitudes, m | | Критерии Criteria $\frac{t}{p}$ $\frac{\chi^2}{p}$ | Верхняя строка – уравнение вероятности принадлежности к классу $An > 13$ м; средняя – область применения модели; нижняя – диапазон изменения вероятности Upper line is the equation of the probability of belonging to the class $Ap > 13$ м; medium – the scope of the model; lower one is the range of probability variation |
|---------------------------------|---|--|---|---|
| | $An < 13$ м $Ap < 13$ м | $An > 13$ м $Ap > 13$ м | | |
| Aa/Aa | $\frac{6,2 \pm 5,2}{0,579 \pm 0,026}$ | $\frac{22,7 \pm 23,51}{0,413 \pm 0,149}$ | $\frac{-10,3469}{0,000000}$ $\frac{36,23078}{0,000000}$ | $P(An) = 0,348 + 0,00881 An$ 1,0–74,0 м 0,356–0,999 |

Таблица 4. Распределение частот значений Aa

Table 4. Distribution of the frequencies of Aa values

| Класс Category | Интервалы варьирования Aa , м / Aa variation intervals, m | | | | | | | |
|---------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0–10 | 10–20 | 20–30 | 30–40 | 40–50 | 50–60 | 60–70 | 70–80 |
| | C_2 | | | | | | | |
| $An < 13$ м / $Ap < 13$ м | 0,808 | 0,182 | 0,010 | – | – | – | – | – |
| $An > 13$ м / $Ap > 13$ м | 0,466 | 0,200 | 0,033 | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0,033 |

Отсюда видно, что в диапазоне 0–10 м имеется превышение значений частот для $An < 13$ м над частотами при $An > 13$ м. При Aa в диапазоне 10–20 м величины частот достаточно близки. В интервале 20–30 м происходит, наоборот, превышение значений частот

при $An > 13$ м над частотами $An < 13$ м. При $Aa > 30$ м встречаются только значения при $An > 13$ м. По критерию χ^2 распределения значений Aa являются статистически различными (табл. 3). Таким образом, выполненный детальный статистический анализ соот-

ношений Aa и An позволил обосновать критическое значение An , которое составляет 13 м.

Данная величина будет использована для построения индивидуальной вероятностной линейной модели принадлежности к совокупности структур, которые подтвердятся по значениям An [6]. Для построения данной модели в каждом интервале определяются вероятности принадлежности к классу $An > 13$ м $P(An\text{-инт})$. Далее эти значения сопоставляются со средними интервальными значениями $An\text{-инт}$. По этим данным строится уравнение регрессии и вычисляется парный коэффициент корреляции r . При построении моделей обязательным условием является, что среднее значение $P(An)$ для класса $An > 13$ м должно быть больше 0,5, а для $An < 13$ м – меньше 0,5. Графическое изображение зависимостей $P(An)$ от значений An приведены на рис. 2.

По данной зависимости вычислены все значения $P(An)$ изучаемой выборки. Средние значения $P(An)$ для изучаемых классов структур приведены в табл. 5: средние значения для класса структур у которых $An > 13$ м равны $0,579 \pm 0,026$, для структур, у которых $An < 13$ м, – $0,413 \pm 0,149$. По критериям t и χ^2 они являются статистически различными. Таким образом, используя разработанную зависимость $P(An)$ от An , можно ранжировать структуры по степени перспективности.

Рассмотрим зависимости $P(An)$ от An по методам подготовки структур к глубокому нефтепоисковому бурению (рис. 3). В табл. 5 приведены средние значения

$P(An)$ в зависимости от методов подготовки структур.

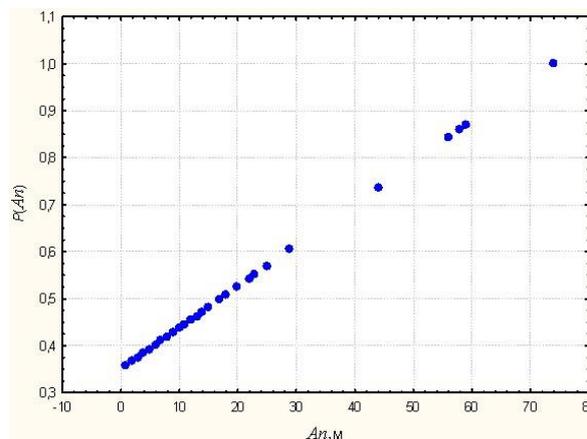


Рис. 2. Зависимость $P(An)$ от An

Fig. 2. Relationship of $P(An)$ and An

Отсюда видно, что при $An < 13$ м средние значения $P(An)$ для всех вариантах меньше 0,5, при $An > 13$ м имеются данные по МОГТ 2D и МОГТ 3D, которые больше 0,5. Средние значения $P(An)$ статистически различны. В табл. 6 приведены распределения значений вероятностей $P(An)$ в зависимости от критического значения An .

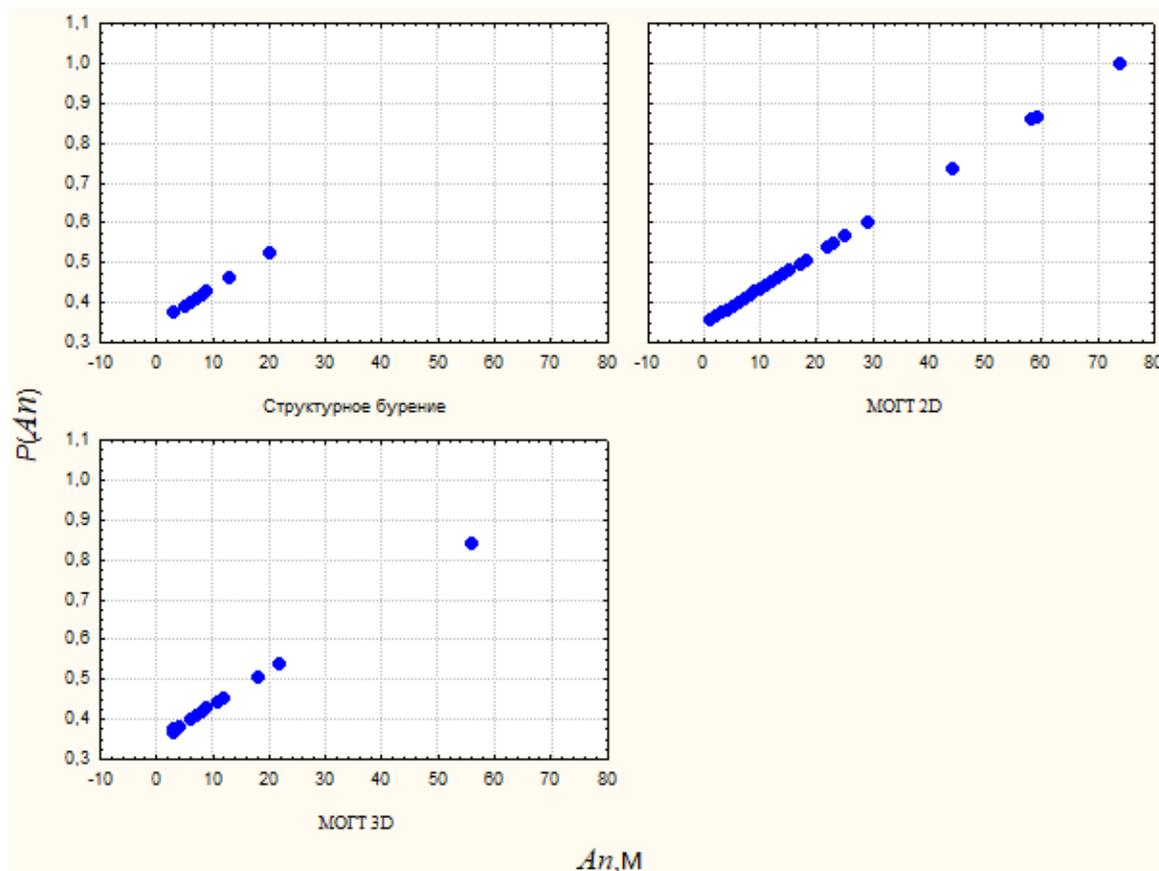


Рис. 3. Зависимость $P(An)$ от An по методам подготовки структур

Fig. 3. Relationship of $P(An)$ and An by the methods of preparing structures

Таблица 5. Сравнение средних значений $P(An)$

Table 5. Comparison of mean values of $P(Ap)$

| Показатель Parameter | Статистические характеристики амплитуд, м Statistical characteristics of amplitudes, m | | Критерии/Criteria | |
|---|---|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | $An > 13$ м/ $Ap > 13$ м | $An < 13$ м/ $Ap < 13$ м | $\frac{t}{p}$ | $\frac{-\chi^2_p}{p}$ |
| Структурное бурение/Structural drilling | | | | |
| $P(An)/P(Ap)$ | – | 0,413±0,028 | – | – |
| МОГТ 2D/CDP 2D survey | | | | |
| $P(An)/P(Ap)$ | 0,580±0,028 | 0,416±0,151 | $\frac{8,21193}{0,000000}$ | $\frac{48,74733}{0,000000}$ |
| МОГТ 3D/CDP 3D survey | | | | |
| $P(An)/P(Ap)$ | 0,608±0,160 | 0,408±0,024 | $\frac{5,87733}{0,000003}$ | $\frac{23,16800}{0,000000}$ |

Таблица 6. Распределение частот значений $P(An)$

Table 6. Distribution of frequencies of $P(Ap)$ values

| Класс Category | Интервалы варьирования $P(An)/P(Ap)$ variation intervals | | | | | | |
|---|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 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 |
| Структурное бурение/Structural drilling | | | | | | | |
| $An < 13$ м/ $Ap < 13$ м | 0,364 | 0,636 | – | – | – | – | – |
| $An > 13$ м/ $Ap > 13$ м | – | – | – | – | – | – | – |
| МОГТ 2D/CDP 2D survey | | | | | | | |
| $An < 13$ м/ $Ap < 13$ м | 0,222 | 0,778 | – | – | – | – | – |
| $An > 13$ м/ $Ap > 13$ м | – | – | – | – | – | 0,095 | 0,048 |
| МОГТ 3D/CDP 3D survey | | | | | | | |
| $An < 13$ м/ $Ap < 13$ м | 0,272 | 0,728 | – | – | – | – | – |
| $An > 13$ м/ $Ap > 13$ м | – | 0,143 | 0,572 | – | – | 0,285 | – |

По данным табл. 6 вычислены значения χ^2 , которые показывают, что для методов подготовки структур МОГТ 2D и МОГТ 3D плотности распределений значений $P(An)$ статистически различны (табл. 5).

Заключение

В результате 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 среднего карбона на территории Пермского края, установлено статистически обоснованное критическое значение $An=13$ м. Это позволило разработать

индивидуальную вероятностную линейную модель принадлежности к совокупности структур, которые подтвердятся по значениям амплитуды подготовленных поднятий.

Разработанная вероятностная модель $P(An)$ от An для среднекаменноугольных отложений позволит ранжировать подготовленные поднятия по степени перспективности до ввода структур в глубокое бурение. Что, в свою очередь, позволит избежать разбуривания малоперспективных объектов, скорректировать текущую оценку ресурсов категории D_0 и повысить подтверждаемость ресурсов приростом запасов категорий C_1+C_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Лядова Н.А., Яковлев Ю.А., Распопов А.В. Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края. – М.: ВНИИОЭНГ, 2010. – 335 с.
3. Галкин В.И., Жуков Ю.А., Шишкин М.А. Применение вероятностных моделей для локального прогноза нефтегазоносности. – Екатеринбург: Изд-во Уро РАН, 1990. – 108 с.
4. Zhuoheng Ch., Osadetz K.G. Geological risk mapping and prospect evaluation using multivariate and Bayesian statistical methods, western Sverdrup Basin of Canada // AAPG Bulletin. – 2006. – V. 90. – № 6. – P. 859–872.
5. Галкин В.И., Мелкишев О.А., Варушкин С.В. Разработка статистической модели прогноза нефтегазоносности по газыделениям в толще Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Недропользование. – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 4–13.
6. Южаков А.Л., Путилов И.С. Прогнозирование нефтегазоносности южной части Пермского края с использованием регионального трехмерного моделирования // Недропользование. – 2020. – Т. 20. – № 4. – С. 317–330.
7. Галкин В.И., Растегаев А.В., Галкин С.В. Вероятностно-статистическая оценка нефтегазоносности локальных структур. – Екатеринбург: Изд-во Уро РАН, 2001. – 277 с.
8. Путилов И.С., Юрьев А.В., Винокурова Е.Е. Типизация терригенных пород-коллекторов с применением метода накопленной корреляции и индивидуальных вероятностных моделей на примере месторождения им. Сухарева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 1. – С. 75–83.
9. Галкин В.И., Резвухина Д.В. Разработка статистических моделей для прогноза поглощений по характеристикам разрывных нарушений // Недропользование. – 2021. – Т. 21. – № 3. – С. 103–108.
10. Лигинова Я.С. Исследование влияния геолого-промысловых характеристик Турнейского пласта на обводненность продукции скважин // Недропользование. – 2022. – Т. 22. – № 1. – С. 15–20.
11. Кошкин К.А. Разработка вероятностно-статистических моделей для оценки перспектив нефтегазоносности пластов Гл2-б и Бб Пожвинского участка // Недропользование. – 2018. – Т. 17. – № 1. – С. 4–16.
12. Галкин С.В., Лобанов Д.С. Использование многомерных статистических моделей при оперативном контроле извлекаемых запасов визейских залежей Пермского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 5. – С. 126–136.

13. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dynamic data analysis. – Paris: Kappa Engineering, 2008. – 694 p.
14. Van Golf-Racht T.D. Fundamentals of fractured reservoir engineering. – Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier scientific publishing company, 1982. – 709 p.
15. Darling T. Well logging and formation evaluation. – Eastbourne: Gardners Books, 2010. – 336 p.
16. Montgomery D.C., Peck E.A. Introduction to liner regression analysis. – New York: John Wiley & Sons, 1982. – 504 p.
17. Armstrong M. Basic linear geostatistics. – Berlin: Springer, 1998. – 155 p.
18. Yarus J.M. Stochastic modeling and geostatistics. – Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1994. – 231 p.
19. Bartels C.P.A., Ketelapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis of spatial data. – Boston: Martinus Nijhoff Publishing, 1979. – 268 p.
20. Goodwin N. Bridging the gap between deterministic and probabilistic uncertainty quantification using advanced proxy based methods. SPE Reservoir Simulation Symposium. – Houston: Richardson Publ., 2015. – P. 1796–1868.
21. Кочнев А.А., Галкин С.В. Прогнозная оценка эффективности технологии радиального бурения для турнейских эксплуатационных объектов платформенной части Пермского края // Недропользование. – 2019. – Т. 19. – № 3. – С. 263–274.
22. Tran D.T., Gabbouj M., Iosifidis A. Multilinear class-specific discriminant analysis // Pattern Recognition Letters. – 2017. – V. 100. – P. 131–136. DOI: 10.1016/j.patrec.2017.10.027.
23. Horne R.N. Modern well test analysis: a computer aided approach. 2nd ed. – Palo Alto: PetrowayInc, 2006. – 257 p.
24. Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. Geostatistical inversion. Seismic inversion methods: a practical approach. – Cham: Springer International Publ., 2020. – 216 p.
25. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – Кн. 1. – 319 с.
26. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. – М.: Недра, 1990. – Кн. 2. – 426 с.

Поступила 03.02.2023 г.

Прошла рецензирование: 13.02.2023 г.

Информация об авторах

Галкин В.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Суворова А.С., ведущий геолог отдела оценки ресурсов Пермского региона Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми.

UDC 550.812.1; 553.632; 553.98

DEVELOPMENT OF A STATISTICAL MODEL FOR PREDICTING THE CONFIRMABILITY OF THE AMPLITUDES OF STRUCTURES PREPARED FROM THE DEPOSITS OF THE MIDDLE CARBONIFEROUS IN THE PERM REGION

Vladislav I. Galkin¹,
vgalkin@pstu.ru

Anastasia S. Suvorova²,
Anastasija.Suvorova@pnn.lukoil.com

¹ Perm National Research Polytechnic University,
29, Komsomolsky avenue, Perm, 614990, Russia.

² LUKOIL-Engineering LLC PermNIPIneft branch in Perm,
3a, Permskaya street, Perm, 614000, Russia.

The relevance of the research is caused by the requirement to maintain the confirmability of resources of category D_0 with an addition to reserves of categories C_1+C_2 at a high level. The assessment of the resources of the prepared structures is carried out by total petroleum systems in the presence of open industrial deposits of hydrocarbons in analog fields, as well as under the condition of mapping closed amplitude structures on reflective surfaces. One of the factors influencing the decrease in the confirmability factors is the change in the structural constructions from the prospecting and evaluation to the exploration stages of geological exploration.

The main aim of the research is to create, based on retrospective data, a probabilistic prediction model that allows us to determine the most reliable hydrocarbon prospecting in the context of medium-carboniferous uplift deposits within the existing fund of prepared structures, adjust the current assessment of resources of category D_0 and exclude drilling of new exploration and evaluation wells within unpromising objects.

Objects. The author have created the database for the research, which includes information about 125 prepared structures removed from drilling from 1997 to 2021. It includes information about the amplitudes of structures in accordance with the materials for their preparation (A_p) and according to the updating of structural constructions based on the results of deep exploration, exploration drilling, seismic exploration in open fields, etc. (A_a).

The research methodology is based on the use of mathematical statistics methods.

The results. The correlation analysis of the amplitudes of structures based on the materials of passports and the amplitudes of structures updated according to deep drilling data was performed. According to the results of the analysis, the correlation field was divided into two subfields between A_p and A_a . When using a detailed statistical analysis of the A_a and A_p correlations between the subfields, a boundary value of 13 m was established, which made it possible to develop an individual probabilistic linear model for predicting the confirmability of the amplitude of the structure by the values of the A_p .

Key words:

amplitude of the structure, prospect structure, confirmability of structural constructions, probabilistic and statistical models, prospecting and evaluation drilling, medium-carboniferous deposits.

REFERENCES

- Galkin V.I., Solovyov S.I. Rayonirovanie territorii Permskogo kraja po stepeni perspektivnosti priobreteniya neftyanykh uchastkov nedr [Regionalization of the territory of the Perm region according to the degree of prospects for the acquisition of oil sub-surface areas]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2015, no. 16, pp. 14–24.
- Lyadova N.A., Yakovlev Yu.A., Raspopov A.V. *Geologiya i razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy Permskogo kraja* [Geology and development of oil fields in the Perm region]. Moscow, VNIIOENG Згидю, 2010. 335 p.
- Galkin V.I., Zhukov Yu.A., Shishkin M.A. *Primenenie veroyatnostnykh modeley dlya lokalnogo prognoza neftegazonosnosti* [The application of probabilistic models for the local forecast of oil and gas potential]. Yekaterinburg, Uro RAN Publ., 1990. 108 p.
- Zhuoheng Ch., Osadetz K.G. Geological risk mapping and prospect evaluation using multivariate and bayesian statistical methods, Western Sverdrup Basin of Canada. *AAPG Bulletin*, 2006, vol. 90, no. 6, pp. 859–872.
- Galkin V.I., Melkishev O.A. Varushkin S.V. Development of the statistical model to forecast oil and gas potential according to gas content in the Verkhnekamskoe deposit of potassium and magnesium salts. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 4–13. In Rus.
- Yuzhakov A.L., Putilov I.S. Forecasting the oil and gas content of the southern part of the Perm krai using regional three-dimensional modeling. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 317–330. In Rus.
- Galkin V.I., Rastegaev A.V., Galkin S.V. *Veroyatnostno-statisticheskaya otsenka neftegazonosnosti lokalnykh struktur* [Probabilistic-statistical assessment of oil and gas potential of local structures]. Yekaterinburg, Uro RAN Publ., 2001. 277 p.
- Putilov I.S., Yuriev A.V., Vinokurova E.E. Typing of terrigenous reservoir rocks using the cumulated correlation method and individual probabilistic models on the example of field named after Sukharev. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 1, pp. 75–83. In Rus.
- Galkin V.I., Rezvukhina D.V. Development of statistical models for predicting losses based on the characteristics of discontinuities. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 102–108. In Rus.
- Liginkova Y.S. Study of the influence of geological and production characteristics of the Tourmeisian formation on well production watering. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 15–20. In Rus.
- Koshkin K.A. Development of probabilistic and statistical models for evaluation of oil and gas potential of T12-b and Bb reservoirs of Pozhvinskiy sector. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 4–16. In Rus.
- Galkin S.V., Lobanov D.S. Use of multidimensional statistical models for operational control of recoverable reserves for the

- Visean deposits of the Perm region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 5, pp. 126–136. In Rus.
13. Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. *Dynamic data analysis*. Paris, Kappa Engineering, 2008. 694 p.
 14. Van Golf-Racht T.D. *Fundamentals of fractured reservoir engineering*. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier scientific publishing company, 1982. 709 p.
 15. Darling T. *Well logging and formation evaluation*. Eastbourne, Gardners Books, 2010. 336 p.
 16. Montgomery D.C., Peck E.A. *Introduction to liner regression analysis*. New York, John Wiley & Sons, 1982. 504 p.
 17. Armstrong M. *Basic Linear Geostatistics*. Berlin, Springer, 1998. 155 p.
 18. Yarus J.M. *Stochastic modeling and geostatistics*. Tulsa, Oklahoma, AAPG, 1994. 231 p.
 19. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. *Exploratory and explanatory statistical analysis of spatial data*. Boston, Martinus Nijhoff Publ., 1979. 268 p.
 20. Goodwin N. Bridging the gap between deterministic and probabilistic uncertainty quantification using advanced proxy based methods. *SPE Reservoir Simulation Symposium 2015*. Houston, Richardson Publ., 2015. pp. 1796–1868.
 21. Kochnev A.A., Galkin S.V. Forecast assessment of efficiency of radial drilling technology for Tournesian operating objects of the platform part of the Perm region. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 263–274. In Rus.
 22. Tran D.T., Gabbouj M., Iosifidis A. Multilinear class-specific discriminant analysis. *Pattern Recognition Letters*, 2017, vol. 100, pp. 131–136. DOI: 10.1016/j.patrec.2017.10.027.
 23. Horne R.N. *Modern well test analysis: a computer aided approach*. Palo Alto, PetrowayInc, 2006. 257 p.
 24. Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. *Geostatistical inversion. Seismic inversion methods: a practical approach*. Cham, Springer International Publ., 2020. 216 p. DOI: 10.1007/978-3-030-45662-7.
 25. Devis J.S. *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* [The statistical analysis of data in geology]. Moscow, Nedra Publ., 1990. B. 1, 319 p.
 26. Devis J.S. *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* [The statistical analysis of data in geology]. Moscow, Nedra Publ., 1990. B. 2, 426 p.

*Received: 3 February 2023.
Reviewed: 13 February 2023.*

Information about the authors

Vladislav I. Galkin, Dr. Sc., professor, head of the Department of Oil and Gas Geology, Perm National Research Polytechnic University.

Anastasia S. Suvorova, senior geologist, LUKOIL-Engineering LLC PermNIPIneft branch in Perm.