

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ СЕЙСМОПРОФИЛИРОВАНИЯ 2D НА ОШИБКИ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАШКИРСКОГО СВОДА)

А.Н. Морошкин

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»  
«ПермНИПИнефть» в г. Перми, Россия

С помощью статистического анализа в пределах Башкирского свода выполнено сопоставление данных сейсморазведки 2D и 3D с помощью корреляционного анализа. Данная площадь выбрана, во-первых, в связи с тем, что на ней сейсморазведкой 2D выделено 48 локальных поднятий, во-вторых, в связи с высокими перспективами нефтеносности Башкирского свода. Анализ корреляционного поля между абсолютными величинами погрешности сейсмических построений и плотностью сейсмопрофилеирования показал, что при повышении плотности профилирования можно готовить к поисковому бурению малоразмерные объекты. Проанализированный фонд локальных поднятий, выделенных сейсморазведкой 2D, с позиции оценки их подтверждаемости глубоким бурением позволил установить наиболее перспективные объекты. Необходимо отметить, что совместный анализ амплитуд структур и погрешностей сейсмических построений, полученных по методике 2D, в большинстве случаев не может дать однозначные ответы о реальном существовании выявленных структур. Это объясняется тем, что погрешность структурных построений превышает геометрические размеры исследуемого объекта. Поэтому для их подготовки к глубокому нефтепоисковому бурению рекомендуется сгущение сети профилей или в ряде случаев проведение пространственной сейсморазведки 3D.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, плотность сейсморазведки, подготовка локальных структур, прогноз, уравнения регрессии, корреляционные связи, коэффициент корреляции, математическая модель, информативность показателей.

## INVESTIGATIONS OF DENSITY INFLUENCE OF 2D SEISMIC PROFILING ON ERRORS IN STRUCTURAL IMAGING (BY EXAMPLE OF BASHKIR ARCH)

A.N. Moroshkin

Subsidiary of LLC «LUKOIL-Engineering»  
«PermNIPIneft'» in Perm, Russian Federation

The comparison of seismic 2D and 3D using correlation analysis and statistical analysis within the body of the Bashkir were carried out. This territory was chosen due to the following factors: firstly, 48 local highs are defined by 2D seismic prospecting on this territory; secondly, Bashkir coving is considered to be very kindly from the point of oil content. The analysis of the correlation between the absolute values of the field error seismic and seismic density showed that small objects can be prepared for exploratory drilling under the increase of density profile. Analyzed fund of local highs allocated with highs, from the position of evaluating their verifiability deep drilling allowed to identify the most promising objects. It is to be noted that joint analysis of the structures amplitudes and seismic imaging errors, obtained by the 2D method, can not give unambiguous results of the real existence of identified structures in most cases. The reason of that fact is that the error of structural models exceeds the geometric dimensions of the object. Therefore, to prepare them for deep oil exploration drilling is recommended thickening network profiles, or in some cases, the spatial 3D seismic prospecting.

**Key-words:** seismic prospecting, seismic prospecting density, preparation of local structures, forecasting, regression equations, correlations, correlation coefficient, mathematical model, information value of indicators.

## Введение

Территория Пермского края характеризуется высокой степенью изученности сейсморазведкой 2D. Плотность сейсмопрофилирования на отдельных площадях достигает  $8 \text{ км/км}^2$ . На настоящий момент в фонде выявленных и подготовленных поднятий находится более 250 структур. Все они являются малоразмерными и до последнего времени не представляли практического интереса. В настоящее время фонд крупных и средних структур, вводимых в нефтепоисковое бурение, полностью исчерпан и одним из путей поддержания на высоком уровне сырьевой базы региона является ввод в бурение малоразмерных поднятий. Однако, как показала практика, подтверждаемость таких структур глубоким бурением во многом зависит от фактических ошибок сейсморазведки 2D.

### Разработка методики определения ошибок структурных построений

Анализ ошибок структурных построений рассмотрим на примере Западно-Павловской поисковой площади, расположенной в пределах Башкирского свода. Южная часть площади охватывает район Чернушинской валообразной зоны на востоке и территорию Татышлинского выступа и Дубовогорской террасы на западе. Северная половина площади включает в себя западную часть Таныпского атолла и Капканскую зону поднятий Дубовогорской террасы.

Для первоочередного анализа данная площадь выбрана по двум основным причинам. Первая – на ней сейсморазведкой 2D выделено 48 локальных поднятий; и вторая – в связи с высокими перспективами нефтеносности Башкирского свода. Методика оценки нефтеносности и обоснование перспектив открытия новых месторождений на территории Башкирского свода приведены в ряде работ [1–6].

Как показывает практика, ошибки структурных построений во многом зависят от

плотности сейсмопрофилирования, поэтому оценим погрешность сейсморазведки 2D на Западно-Павловской поисковой площади исходя из следующих основных предпосылок:

1. Для исследований выбран отражающий горизонт (ОГ)  $\Pi^k$  как наиболее контрастный и прослеживаемый практически на всей Западно-Павловской площади.

2. Район исследований покрыт сейсморазведочными работами 2D с различной плотностью профилирования.

3. На четырех месторождениях (Павловском, Трушниковском, Кряжевском и Южинском) и прилегающих к ним участках в пределах Западно-Павловской площади выполнены сейсморазведочные работы 3D.

4. Абсолютные отметки ОГ  $\Pi^k$ , полученные по данным сейсморазведки 3D, примем за истинные.

5. Ошибки построения структурной поверхности по результатам сейсморазведки 2D в пределах площадей 3D вычисляются как разность между абсолютными отметками ОГ, полученными по методикам 3D и 2D:  $dA_0 = A_0(3D) - A_0(2D)$ .

6. В пределах площадей 3D строим математические модели для  $dA_0$  в зависимости от плотности профилирования сейсморазведки 2D (ПлПР).

7. По полученным моделям строим карту ошибок структурных построений по сейсморазведке 2D для всей Западно-Павловской площади.

На первом этапе с использованием статистических методов [7–13] оценим точность структурных построений сейсморазведки 2D на Павловской площади 3D.

Корреляционное поле между  $A_0(3D)$  и  $A_0(2D)$  приведено на рис. 1. Коэффициент корреляции между абсолютными отметками ОГ  $A_0(3D)$  и  $A_0(2D)$  достаточно высокий, статистически значимый, равный 0,88. Ошибка сейсморазведки 2D составляет  $\pm 15,2$  м. Так, например, в точке с  $A_0(3D)$ , равной  $-1230$  м, сейсморазведка 2D может дать абсолютные отмет-

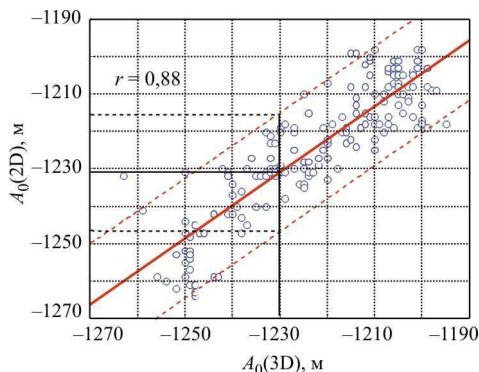


Рис. 1. Корреляционное поле между  $A_0$  (2D) и  $A_0$  (3D) для Павловской площади

ки отражающего горизонта  $\Pi^K$  в интервале от  $-1246,2$  до  $-1215,8$  м.

Проанализируем, имеются ли какие-либо статистические связи погрешности структурных построений с плотностью сейсмопрофилирования 2D. Для изучения зависимости  $dA_0$  от ПлПР была построена схема плотности сейсмопрофилирования 2D, для чего были использованы профили, отработанные с 1978 по 2003 г. Анализ схемы показал, что Западно-Павловская площадь охвачена сейсморазведкой 2D весьма неравномерно, плотность сейсмопрофилирования изменяется от  $0,02$  до  $8,5$  км/км<sup>2</sup>. Минимальные значения плотности наблюдаются в районе Самойловского месторождения, а максимальные – в районе Трушниковского, Чукулаевского, Кряжевского и северного купола Павловского месторождений.

На рис. 2 приведено корреляционное поле между абсолютными величинами погрешности сейсмических построений и плотностью сейсмопрофилирования.

Из рис. 2 видно, что при увеличении ПлПР с  $1,9$  до  $7,1$  км/км<sup>2</sup> разброс ошибок уменьшается от  $23$  до  $12$  м, т.е. повышение плотности профилирования позволяет готовить к поисковому бурению более мелкие объекты.

Для составления обобщенной математической модели прогноза ошибок структурных построений в зависимости от плот-

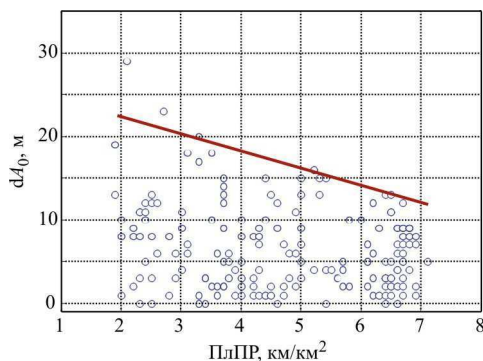


Рис. 2. Корреляционное поле между  $dA_0$  и ПлПР для Павловской площади

ности профилирования сейсморазведки 2D для Западно-Павловской площади были дополнительно построены и проанализированы корреляционные поля для Трушниковской, Кряжевской и Южинской площадей 3D.

Анализ корреляционных полей между абсолютными величинами погрешностей структурных построений по сейсморазведке 2D и плотностью сейсмопрофилирования показал, что для рассмотренных четырех площадей сейсморазведки 3D они подобны. Для этих площадей построено объединенное корреляционное поле, которое представлено на рис. 3. Использование объединенных данных позволило повысить представительность выборки, а следовательно, и надежность прогнозных моделей, построенных по ней. На основе данной выборки создана модель прогноза среднеквадратичных  $dA_0$  (SD) погрешностей сейсморазведки 2D в зависимости от плотности профилирования

$$dA_0 (SD) = \pm (21,726 - 2,8958\text{ПлПР} + 0,1361\text{ПлПР}^2).$$

По этой формуле были выполнены расчеты и построена схема погрешностей сейсморазведки 2D (рис. 4) для Западно-Павловской площади.

Проанализируем фонд локальных поднатий, выделенных сейсморазведкой 2D, с позиции оценки их подтверждаемости глубоким бурением. Отметим, что подня-

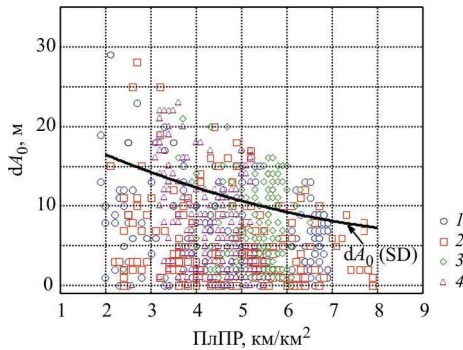


Рис. 3. Объединенное корреляционное поле между  $dA_0$  и ПлПР для Павловской (1), Трушниковской (2), Кряжевской (3) и Южинской (4) площадей 3D

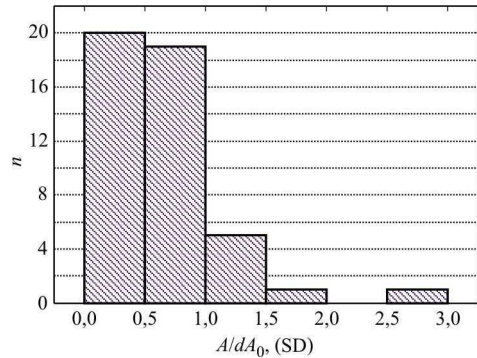


Рис. 5. Гистограмма для  $A/dA_0$  (SD)

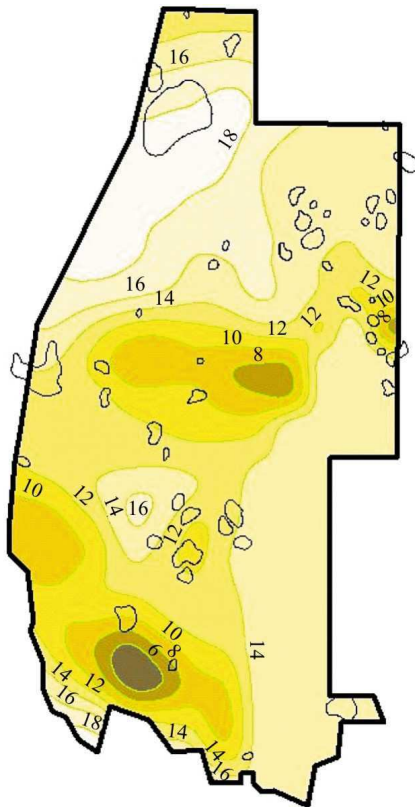


Рис. 4. Схема среднеквадратичных погрешностей сейсмозвездки 2D: — 14 — — изолинии среднеквадратичных погрешностей, м;  $O$  — контуры локальных поднятий

тия, выявленные в результате детализационных работ по методике 3D, не рассматривались. Исследования были проведены по 32 поднятиям, на которых не выполнялось бурение. Дополнительно были проанализированы 14 структур с известными результатами бурения. С использованием схем среднеквадратичных погрешностей (рис. 4) для каждого поднятия были определены погрешности  $dA_0$  (SD), зависящие от плотности сеймопрофилирования, и рассчитаны отношения амплитуд прогнозных поднятий к данным погрешностям  $A/dA_0$  (SD).

С целью ранжирования поднятий по их перспективности подтверждения глубоким бурением были детально проанализированы результаты расчетов. Для этого была построена гистограмма по показателю  $A/dA_0$  (SD) (рис. 5) и выполнено ранжирование структур и приподнятых участков (ПУ).

Анализ гистограммы отношений амплитуд поднятий к среднеквадратичным погрешностям (см. рис. 5) показывает, что для 8 поднятий это отношение превышает единицу. Максимальной величиной  $A/dA_0$  (SD), равной 2,61, характеризуется Галечная структура. Необходимо отметить, что из этих 8 поднятий 2 относятся к классу недоразведанных (Золотушинская и Кубинская), 2 – к классу подтвердившихся непродуктивных (Станиславская 586, 58в), 3 – к клас-

су прогнозных (Галечная, Сараевская и ПУ 57), Репищенская структура выведена из фонда по пересмотру геологических материалов. Для оставшихся 38 поднятий значение  $A/dA_0$  (SD) < 1. Среди этих поднятий имеется одно с запасами, не поставленными на баланс (Купцовское), 5 недоразведанных (Калинское, Валлийское 101а, 101б, Лыковское и Ашехлинское), 2 подтвердившихся непродуктивных (Станиславское 58а, Базухинское, Зеленинское) и 2 неподтвердившихся непродуктивных (Валентиновское, Миковское).

## Заключение

Таким образом, учитывая амплитуды выявленных структур и погрешность сейсмических построений, можно констатировать, что сейсморазведка по методике 2D на данной площади в большинстве случаев не может однозначно подтвердить реальное существование выявленных структур, поэтому для их подготовки к глубокому нефтепоисковому бурению рекомендуется сгущение сети профилей или в ряде случаев проведение пространственной сейсморазведки 3D.

## Список литературы

1. 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. – 2008. – № 8. – С. 20–23.
2. Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Обоснование направлений поисков месторождений нефти и газа в Пермском крае // Научные исследования и инновации. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 3–7.
3. К методике оценки перспектив нефтегазоносности Соликамской депрессии по характеристикам локальных структур / В.И. Галкин, И.А. Козлова, А.В. Растегаев, И.В. Ванцева, С.Н. Кривошеков, В.Л. Воеводкин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 12–17.
4. Прогнозная оценка нефтегазоносности структур на территории Соликамской депрессии / В.И. Галкин, А.В. Растегаев, И.А. Козлова, И.В. Ванцева, С.Н. Кривошеков, В.Л. Воеводкин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 4–7.
5. Оценка точности определения прогнозных запасов нефти в пределах Соликамской впадины / А.В. Растегаев, В.И. Галкин, И.А. Козлова, В.Л. Воеводкин, И.В. Ванцева // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 7. – С. 8–12.
6. Воеводкин В.Л., Галкин В.И., Кривошеков С.Н. Исследование влияния критериев нефтегазоносности и изученности территории Пермского края на распределение месторождений углеводородов // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 6. – С. 30–34.
7. Вероятностно-статистическая оценка инженерно-геологических условий для специального районирования / В.В. Середин, В.И. Галкин, М.В. Пушкарева, Л.О. Лейбович, С.Н. Сметанин // Инженерная геология. – 2011. – № 4. – С. 42–47.
8. Прогнозирование карстовой опасности при инженерно-геологическом районировании территории / В.В. Середин, В.И. Галкин, А.В. Растегаев, Л.О. Лейбович, М.В. Пушкарева // Инженерная геология. – 2012. – № 2. – С. 40–45.
9. Bartels C.P.A., Ketlapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis data. – Boston: MartinusNijhoff Publishing, 1979. – 284 p.
10. Davis C.J. Estimation of the probability of success in petroleum exploration // Mathematical Geology. – 1977. – Vol. 9, № 4. – P. 409–427.
11. Donnelly K.P. Simulations to determine the reariance and edge effect of total nearest neighbor distance, in Hodder. – 1 ed. // Simulation studies in archeology. – Cambridge: Cambridge Unit. Press, 1978. – P. 91–95.
12. Watson G.S. Statistic on spheres. – New York: John Wiley and Sons, Inc., 1983. – 238 p.
13. Unwin D. Introductory spatial analysis. – London: Methuen and Co., Ltd., 1981. – 212 p.

## References

1. Krivoshchekov S.N., Galkin V.I. Postroenie matrity elementarnykh iacheek pri prognoze neftegazonosnosti veroiatnostno-statisticheskimi metodami na territorii Permskogo kraia [Construction of a matrix of elementary cells for the forecast of oil-and-gas content by probabilistic-statistical

methods in Perm region]. *Geologija, geofizika i razrabotka neftiannykh i gazovykh mestorozhdenij*, 2008, no. 8, pp. 20–23.

2. Galkin V.I., Krivoshchekov S.N. Obosnovanie napravlenij poiskov mestorozhdenij nefi i gaza v Permskom krae [Justification directions search for oil and gas in Perm]. *Nauchnye issledovanija i innovacii*, 2009, vol. 3, no. 4, pp. 3–7.

3. Galkin V.I., Kozlova I.A., Rastegaev A.V., Vanceva I.V., Krivovetkov S.N., Voevodkin V.L. K metodike ocenki perspektiv neftegazonosnosti Solikamskoj depressii po harakteristikam lokal'nyh struktur [Method of assessing the prospects for oil and gas Solikamsk depression on the characteristics of local structures]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 12–17.

4. Galkin V.I., Rastegaev A.V., Kozlova I.A., Vanceva I.V., Krivoshchekov S.N., Voevodkin V.L. Prognoznaja ocenka neftegazonosnosti struktur na territorii Solikamskoj depressii [Prognostic valuation of oil and gas structures in the Solikamsk depression]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 4–7.

5. Rastegaev A.V., Galkin V.I., Kozlova I.A., Voevodkin V.L., Vanceva I.V. Ocenka tochnosti opredelenija prognoznyh zapasov nefi v predelah Solikamskoj vpadiny [Estimation of accuracy of expected oil reserves with in Solikamsk Depression]. *Neftepromyslovoe delo*, 2010, no. 7, pp. 8–12.

6. Voevodkin V.L., Galkin V.I., Krivoshchekov S.N. Issledovanie vlijanija kriteriev neftegazonosnosti i izuchennosti territorii Permskogo kraja na raspredelenie mestorozhdenij uglevodorodov [Investigation of the effect of criteria and the study of oil and gas in the Perm edge in the distribution of hydrocarbon deposits]. *Nefljanoe hozjajstvo*, 2012, no. 6, pp. 30–34.

7. Seredin V.V., Galkin V.I., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Smetanin S.N. Veroyatnostno-statisticheskaja ocenka inzhenerno-geologicheskikh uslovij dlja special'nogo rajonirovanija [Probabilistic and statistical evaluation of geological conditions for special zoning]. *Inzhenernaja geologija*, 2011, no. 4, pp. 42–47.

8. Seredin V.V., Galkin V.I., Rastegaev A.V., Lejbovich L.O., Pushkareva M.V. Prognozirovanie karstovoj opasnosti pri inzhenerno-geologicheskom rajonirovanii territorii [Prediction of karst hazard engineering geological zoning of the territory]. *Inzhenernaja geologija*, 2012, no. 2, pp. 40–45.

9. Bartels C.P.A., Ketellapper R.H. Exploratory and explanatory statistical analysis data. Boston: Martinus Nijhoff Publishing, 1979. 284 p.

10. Davis C.J. Estimation of the probability of success in petroleum exploration. *Mathematical Geology*, 1977, vol. 9, no. 4, pp. 409–427.

11. Donnelly K.P. Simulations to determine the rearience and edge effect of total nearest neighbor distance, in Hodder. 1 ed. Simulation studies in archeology. Cambridge: Cambridge Unit. Press, 1978, pp. 91–95.

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

13. Unwin D. Introductory spatial analysis. London: Methuen and Co., Ltd., 1981. 212 p.

#### Об авторе

**Морошкин Алексей Николаевич** (Пермь, Россия) – начальник управления геологического моделирования и подсчета запасов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (614066, г. Пермь, ул. Советской Армии, 29; e-mail: moroshkin@permnipineft.com).

#### About the author

**Moroshkin Aleksey Nikolaevich** (Perm, Russian Federation) – head of the Department for geological modeling and reserve estimation, subsidiary of LLC «LUKOIL-Engineering» «PermNIPIneft» in Perm (614066, Perm, ul. Soviet Army, 29; e-mail: moroshkin@permnipineft.com).

Получено 28.04.2012