

Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 5. С. 66-70. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2023. Vol. 21. No. 5. P. 66-70. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 622.24: 550.834

DOI: 10.17122/ngdelo-2023-5-66-70

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НИЗКОЧАСТОТНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ БУРЕНИЯ

Ксения Васильевна Сюраева, Алексей Александрович Подъячев

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Автор, ответственный за переписку

Ксения Васильевна Сюраева, bngs@samgtu.ru

Аннотация. При разработке месторождений на региональном этапе геологоразведки проводится широкий спектр исследований, включая структурно-тектонические, литолого-фациальные, геохимические, гидрогеологические, и геофизические методы. Эти исследования имеют целью решить ключевые задачи, такие как выявление литолого-стратиграфических комплексов, определение основных этапов геотектонического развития, и выделение перспективных нефтегазовых комплексов.

Однако, несмотря на обширность проведенных исследований, они не всегда обеспечивают окончательное подтверждение наличия или отсутствия нефтяных залежей. В последние годы, для более точного определения местоположения нефтяных месторождений, привлекает внимание метод низкочастотного пассивного сейсмического зондирования (НПСЗ).

В данной статье рассматриваются две гипотезы, объясняющие причины возникновения аномалий в спектре микросейсмических сигналов над нефтегазовыми залежами. Первая гипотеза предполагает, что при гармоническом сейсмическом возбуждении залежь переходит в состояние «турбулентного хаоса», приводя к изменению характеристик сейсмического сигнала. Вторая гипотеза утверждает, что изменение скорости распространения сейсмических волн в пористой среде залежи также вызывает аномалии в спектре сигнала.

Экспериментальные данные подтверждают обе гипотезы, и представляют аномалии в спектре микросейсмических сигналов в диапазоне частот 2-5 Гц. Понимание этих аномалий имеет важное значение для улучшения методов обнаружения и оценки нефтегазовых месторождений, способствуя более эффективной разработке нефтегазовых ресурсов и повышению точности определения координат буровых скважин.

Для цитирования

Сюраева К.В., Подъячев А.А. Использование метода низкочастотного сейсмического зондирования для определения координат местоположения скважин для бурения // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 5. С. 66-70. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-5-66-70>.

Ключевые слова

оконтуривание залежей углеводородов; микросейсмические исследования (МСИ); низкочастотное пассивное сейсмическое зондирование (НПСЗ); бурение скважин; интерпретация данных НПСЗ

Original article

USE OF LOW-FREQUENCY SEISMIC PROBING METHOD FOR DETERMINATION OF WELL LOCATION COORDINATES FOR DRILLING

Ksenia V. Syuraeva, Alexey A. Podyachev

Samara state technical university, Samara, Russia

Corresponding author

Ksenia V. Syuraeva, syuraeva94@mail.ru

Abstract. A wide range of studies, including structural and tectonic, lithological and facies, geochemical, hydrogeological, and geophysical methods, are carried out during the development of fields at the regional stage of geological exploration. These studies are aimed at solving key problems, such as identifying lithological and stratigraphic complexes, determining the main stages of geotectonic development, and identifying promising oil and gas complexes.

However, despite the extensive studies performed, they do not always provide a final confirmation of the presence or absence of oil deposits. In recent years, in order to more accurately determine the location of oil fields, the method of low-frequency passive seismic sensing (LPDS) has attracted attention.

This article discusses two hypotheses that explain the causes of anomalies in the spectrum of microseismic signals over oil and gas reservoirs. The first hypothesis assumes that during harmonic seismic excitation, the deposit goes into a state of «turbulent chaos», leading to a change in the characteristics of the seismic signal. The second hypothesis states that a change in the velocity of propagation of seismic waves in the porous environment of the deposit also causes anomalies in the signal spectrum.

Experimental data support both hypotheses, and represent anomalies in the spectrum of microseismic signals in the frequency range of 2-5 Hz. Understanding these anomalies is essential for improving oil and gas discovery and evaluation techniques, contributing to more efficient development of oil and gas resources and improving accuracy of well coordinates.

For citation

Syuraeva K.V., Pod'yachev A.A. Ispol'zovanie metoda nizkochastotnogo seismicheskogo zondirovaniya dlya opredeleniya koordinat mestopolozheniya skvazhin dlya bureniya y // [Use of low-frequency seismic probing method for determination of well location coordinates for drilling] // *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2023, Vol. 21, No. 5. pp. 66-70. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-5-66-70>.

Введение

При разработке месторождений на региональном этапе геологоразведки проводится обширный комплекс исследований. В этот комплекс включены структурно-тектонические, литолого-фациальные, геохимические, и гидрогеологические исследования, а также сейсморазведка, гравиметрия, электромагнитные съемки и другие методы. Эти исследования направлены на решение ключевых задач регионального этапа, включая выявление литолого-стратиграфических комплексов, определение основных этапов геотектонического развития, выделение перспективных нефтегазовых комплексов и многие другие аспекты.

Keywords

delineation of hydrocarbon deposits; microseismic studies (MSIs); low-frequency passive seismic sensing (LPDS); drilling of wells; interpretation of NPSA data

На основе результатов исследований определяются приоритетные участки для проведения более детальных работ, и также устанавливаются координаты для бурения опорных и параметрических скважин.

Важно отметить, что весь комплекс работ, перечисленный выше, позволяет окончательно утверждать наличие или отсутствие нефтяных залежей. В настоящее время существует метод низкочастотного пассивного сейсмического зондирования (НПСЗ), который указывает на наличие или отсутствие нефтяных залежей. Проведение этого метода исследования позволило бы более точно за-

давать координаты опорных и параметрических скважин.

В последние годы изучение низкочастотных сигналов привлекает все больше внимания исследователей. Например, данные низкочастотного сигнала используются в мониторинге гидравлического разрыва пласта [4, 9]. Также в спектре сигнала в диапазоне частот от 1 до 12 Гц встречаются аномалии, которые указывают на наличие залежей углеводородов [10]. Аномалии в спектре низкочастотных сигналов могут быть вызваны различными факторами, связанными с физическими и геологическими характеристиками углеводородных месторождений.

Физические механизмы возникновения аномалий над углеводородными залежами в ответ на воздействие естественного сейсмического фона исследовались российскими [1, 2] и зарубежными [11] исследователями на протяжении многих десятилетий. Несмотря на то, что в середине 1950-х годов был предложен математический аппарат, описывающий реакцию пористых сред с заданными свойствами на прохождение акустических волн [12], трудности возникали при попытках экспериментальной проверки гипотез.

В данной статье рассматриваются две гипотезы, которые объясняют причины возникновения аномалий в спектре микросейсмических сигналов над нефтегазовыми залежами.

В статье [8] авторы приводят описание первой гипотезы. В этой гипотезе говорится, что при гармоническом сейсмическом возбуждении с поверхности земли нефтегазовая за-

лежь (НГЗ) может перейти в состояние детерминированного или «турбулентного хаоса». Подразумевается, что турбулентность характеризуется хаотическими колебаниями и изменениями в физических параметрах среды. В результате перехода в состояние хаоса геоакустическое поле над залежью становится похожим на случайный сигнал. Это означает, что спектр сейсмического сигнала будет содержать широкий спектральный диапазон частот. Аномалии в спектре микросейсмических сигналов могут проявляться в виде необычных частотных компонентов или распределения амплитуд сигнала, что может быть интерпретировано как аномалии или особенности, связанные с нефтегазовой залежью.

В результате такого процесса геоакустическое поле, зарегистрированное на поверхности земли над НГЗ, приобретает характер случайного сигнала с выраженным максимумом в зоне собственных частот данной залежи.

Авторы второй гипотезы [3], с другой стороны, считают, что при прохождении сейсмических волн через нефтегазовые залежи изменение скорости распространения вызывает изменение спектра сигнала, так как волна взаимодействует с пористой средой залежи. Это может проявляться в форме сдвига частотных пиков или изменения амплитуды сигнала.

В данной статье приводится пример экспериментальных расчетов [5–7] микросейсмического сигнала, в котором наблюдается аномалия в спектре сигнала в диапазоне частот от 2 до 5 Гц (рисунок 1), что подтверждает вышеизложенные гипотезы.

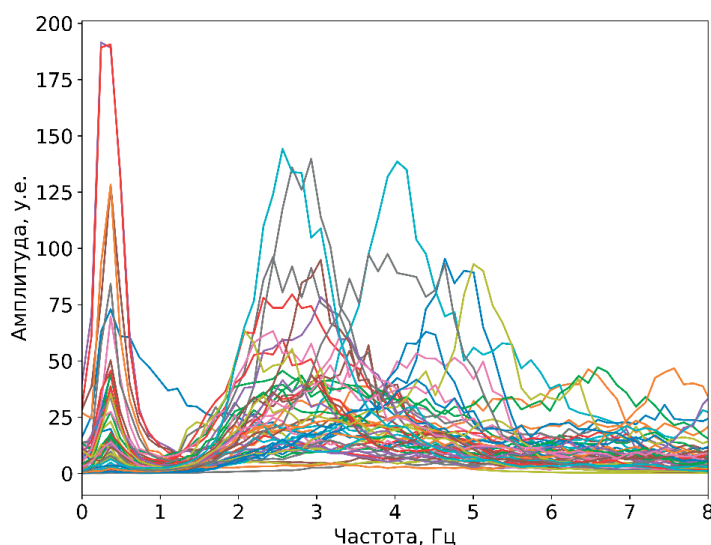


Рисунок 1. Спектры микросейсмических сигналов

Figure 1. Microseismic signal spectra

Следовательно, низкочастотное сейсмическое зондирование представляет собой мощный инструмент для выявления остаточных запасов нефти. Этот метод дает возможность установить наличие углеводородных залежей, что в свою очередь помогает точно определить местоположение скважин и оптимизировать процесс добычи нефти. Применение низ-

кочастотного сейсмического зондирования может значительно повысить эффективность и экономическую выгоду разработки нефтяных месторождений, а также способствовать устойчивому развитию нефтегазовой промышленности. В настоящее время этот метод можно успешно сочетать с другими геофизическими методами.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бережной Д.В., Биряльцев Е.В. [и др.]. Анализ спектральных характеристик микросейсм как метод изучения структуры геологической среды // Сб. НИИ математики и механики Казанского университета. 2003-2007 / Отв. ред. А.М. Елизаров. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. С. 360-386.

2. Биряльцев Е.В., Вильданов А.А., Еронина Е.М. [и др.]. Моделирование эффекта АНЧАР в методе низкочастотного сейсмического зондирования // Технологии сейсморазведки. 2010. № 1. С. 31-40. EDN NBYGHN.

3. Биряльцев Е.В., Рыжов В.А., Шабалин Н.Я. Особенности интерпретации спектральных характеристик природных микросейсм для локального прогноза нефтеносности в условиях республики Татарстан // Прием и обработка информации в сложных информационных системах. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2005. Вып. 22. С. 113-120.

4. Веревкин А.П., Казбулатов И.Г. Метод распознавания времени прибытия Р- и S-волн микросейсмических событий с использованием вейвлетов // Территория Нефтегаз. 2015. № 5. С. 20-26.

5. Еремин Р.А., Сюраева К.В., Подъячев А.А. Комбинированный подход к фильтрации узкополосных помех при анализе данных низкочастотного сейсмического зондирования // Нефть. Газ. Новации. 2020. № 6 (235). С. 6-10.

6. Еремин Р. А., Сюраева К.В., Подъячев А.А. Спектральные характеристики микросейсмических сигналов при низкочастотном сейсмическом зондировании // Нефть. Газ. Новации. 2021. № 1 (242). С. 64-67.

7. Живаева В.В., Сюраева К.В. Выявление оптимального расположения сейсмотапчиков в методе низкочастотного сейсмического зондирования // Бурение и нефть. 2023. № S1. С. 25-27.

8. Кузнецов О.Л., Графов Б.М., Сунцов А.Е., Арутюнов С.Л. Технология АНЧАР: о теории метода // Геофизика. 2003. № S2. С. 103-107.

9. Подъячев А.А., Никитин В.И. Применение пакетов символьных вычислений при анализе сигнала микросейсмической эмиссии // Нефть. Газ. Новации. 2018. № 10. С. 65-67.

10. Рыжов В.А., Кипоть В.Л., Биряльцев Е.В. Параметризация спектров в технологии низкочастотного сейсмического зондирования на основе вейвлет-преобразования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2008. № 5 (65). С. 58-62.

11. Biot M.A. Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. I. Low-Frequency Range

// The Journal of The Acoustic Society of America. 1956. Vol. 28. No. 2. P. 168-178. DOI: 10.1121/1.1908239.

12. Lambert M.-A., Saenger E.H. и др. Numerical simulation of ambient seismic wavefield modification caused by pore-fluid effects in an oil reservoir // Geophysics. 2013. Vol. 78. No. 1. P. T41-T52. DOI:10.1190/GEO2011-0513.1.

REFERENCES

1. Berezhnoy D.V., Biryaltsev E.V. [et al.]. Analiz spektral'nykh harakteristik mikroseyzm kak metod izucheniya struktury geologicheskoy sredy [Analysis of Microseism Spectral Characteristics as a Method of Studying the Structure of the Geological Environment]. *Sbornik NII matematiki i mekhaniki Kazanskogo universiteta. 2003-2007* [Collection of the Research Institute of Mathematics and Mechanics of Kazan University. 2003-2007]. Managing Ed. A.M. Elizarov. Kazan: Publishing House of Kazan State University, 2008. pp. 360-386. [in Russian].

2. Biryaltsev E.V., Vildanov A.A., Eronina E.M. [et al.]. Modelirovanie effekta ANCHAR v metode nizkochastotnogo sejsmicheskogo zondirovaniya [Modeling of the ANCHAR Effect in the Low-Frequency Seismic Sounding Method]. *Tekhnologii sejsmorazvedki — Seismic Technologies*, 2010, No. 1, pp. 31-40. EDN NBYGHN. [in Russian].

3. Biryaltsev E.V., Ryzhov V.A., Shabalin N.Ya. Osobennosti interpretatsii spektral'nykh harakteristik prirodnykh mikroseyzm dlya lokal'nogo prognoza neftenosnosti v usloviyakh respubliky Tatarstan [Features of Interpretation of Spectral Characteristics of Natural Microseisms for Local Forecast of Oil Potential in the Conditions of the Republic of Tatarstan]. *Priem i obrabotka informatsii v slozhnykh informatsionnykh sistemah*. [Reception and Processing of Information in Complex Information Systems]. Kazan: Publishing House of Kazan State University, 2005, No. 22, pp. 113-120. [in Russian].

4. Verevkin A.P., Kazbulatov I.G. Metod raspoznavaniya vremeni pribytiya P- i S-voln mikroseymsicheskikh sobytij s ispol'zovaniem vejvletov [Method of Recognizing the Arrival Time of P and S Waves of Microseismic Events Using Wavelets]. *Territoriya Neftegaz — Neftegaz Territory*, 2015, No. 5, pp. 20-26. [in Russian].

5. Eremin R.A., Syuraeva K.V., Podyachev A.A. Kombinirovannyj podhod k fil'tracii uzkopolosnykh pomekh pri analize dannyh nizkochastotnogo sejsmicheskogo zondirovaniya [Combined Approach to Narrow-Band Interference Filtering in the Analysis of Low-Frequency Seismic Sounding Data]. *Neft'. Gaz. Novacii — Oil. Gas. Innovations*, 2020, No. 6 (235), pp. 6-10. [in Russian].

6. Eremin R.A., Syuraeva K.V., Podyachev A.A. Spektral'nye harakteristiki mikroseymsicheskikh signalov pri nizkochastotnom sejsmicheskome zondirovanii [Spectral

Characteristics of Microseismic Signals During Low-Frequency Seismic Sounding]. *Neft' Gaz. Novacii — Oil. Gas. Innovations*, 2021, No. 1 (242), pp.64-67. [in Russian].

7. Zhivaeva V.V., Syuraeva K.V. Vyyavlenie optimal'nogo raspolozheniya sejsmodatchikov v metode nizkochastotnogo sejsmicheskogo zondirovaniya [Identification of the Optimal Location of Seismic Sensors in the Low-Frequency Seismic Sensing Method]. *Burenie i neft' — Drilling and Oil*, 2023, No. S1, pp. 25-27. [in Russian].

8. Kuznetsov O.L., Grafov B.M., Suntsov A.E., Arutyunov S.L. Tekhnologiya ANCHAR: o teorii metoda [Technology ANCHAR: on the Theory of the Method]. *Geofizika — Geophysics*, 2003, No. S2, pp. 103-107. [in Russian].

9. Podyachev A.A., Nikitin V.I. Primenenie paketov simbol'nykh vychislenij pri analize signala mikrosejsmicheskoy emissii [The Use of Symbol Calculation Packets in the Analysis of the Microseismic Emission Signal]. *Neft' Gaz. Novacii — Oil. Gas. Innovations*, 2018, No. 10, pp.65-67. [in Russian].

10. Ryzhov V.A., Kipot V.L., Biryaltsev E.V. Parametrizatsiya spektrov v tekhnologii nizkochastotnogo sejsmicheskogo zondirovaniya na osnove vejvlet-preobrazovaniya [Parametrization of Spectra in Low-Frequency Seismic Sensing Technology Based on Wavelet Transformation]. *Nauchno-tekhнические vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie — Scientific and Technical Statements of St. Petersburg State Polytechnic University. Informatics. Telecommunications. Management*, 2008, No. 5 (65), 58-62. [in Russian].

11. Biot M.A. Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. I. Low-Frequency Range. *The Journal of The Acoustic Society of America*, 1956, Vol. 28, No. 2, pp. 168-178. DOI: 10.1121/1.1908239.

12. Lambert M.-A., Saenger E.H. Numerical simulation of ambient seismic wavefield modification caused by pore-fluid effects in an oil reservoir. *Geophysics*, 2013, Vol. 78, No. 1, pp. T41-T52. DOI:10.1190/GEO2011-0513.1.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ксения Васильевна Сюраева, аспирант, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Ksenia V. Syuraeva, postgraduate student, Samara state technical university, Samara, Russia

syuraeva94@mail.ru

Алексей Александрович Подъячев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Alexey A. Podyachev, candidate of technical sciences, associate professor, Oil and gas drilling department, Samara state technical university, Samara, Russia

smtu@bizfix.ru

Статья поступила в редакцию 27.08.2023; одобрена после рецензирования 18.09.2023; принята к публикации 30.09.2023.

The article was submitted 27.08.2023; approved after reviewing 18.09.2023; accepted for publication 30.09.2023.