

ПАСИВНА СЕИЗМИКА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ТЪРСЕНЕ И ПРОУЧВАНЕ НА ВЪГЛЕВОДОРОДИ

Мая Григорова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, maya.grigорова86@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Пасивната сеизмика се отличава като неинвазивен подход, посредством който е възможно добиването на голямо количество сеизмични данни чрез наблюдения от сеизмични станции, разположени в даден регион. На съвременен етап все по-голяма популярност добива използването на данни от пасивна сеизмика за търсещо-проучвателни работи за нефт и газ, както и за мониторинг на находища в експлоатация. Методът се отличава като неинвазивен, ефективен и достатъчно надежден за проследяване на вълновата картина на големи площи, които в случай на конвенционално сеизмично проучване биха били по-скоро икономически нерентабилни за обстойно изследване.

Ключови думи: пасивна сеизмика, нискочестотен сигнал, нефт и газ

PASSIVE SEISMIC IN HYDROCARBON EXPLORATION

Maya Grigорова

University of Mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, maya.grigорова86@gmail.com

ABSTRACT. Passive seismic is the detection of natural low frequency earth movements, usually to recognize geological structure and locate underground oil, gas, or other resources. Most of all passive seismic method is used in hydrocarbon exploration to support exploration efforts and minimize risk. In recent years, the technique has been applied to many oil and gas fields throughout the world and proof itself as a potentially powerful tool in the exploration of hydrocarbon resources. Passive seismic proof itself as a cost effective way to image a large area, where the terrain is difficult and consequently, conventional seismic is expensive and can be of poor quality due to seismic penetration problems.

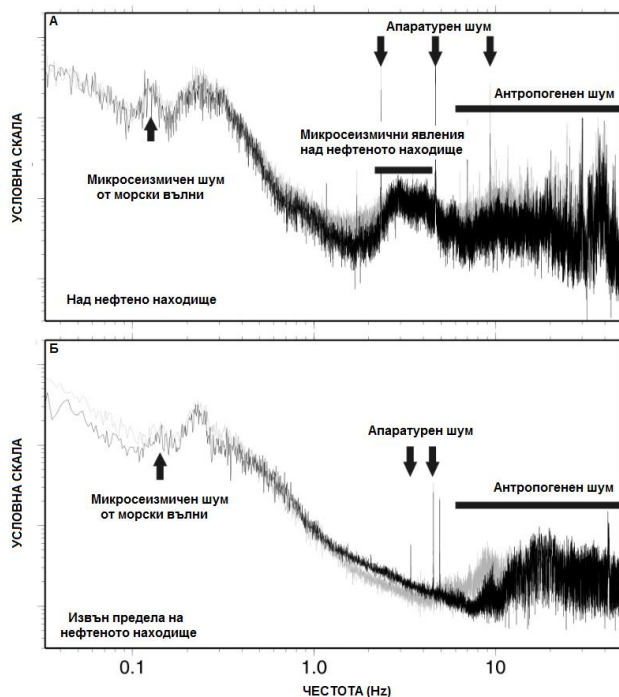
Keywords: passive seismic, low frequency signal, oil and gas

Въведение

Сеизмичните изследвания, провеждани за целите на търсещо-проучвателните работи за нефт и газ, са свързани с провеждането на планирани полски сеизмични дейности. Извършването на самото сеизмично проучване е сложен и скъпоструващ процес, изискващ внимателен подбор на параметрите на проучването – дълбочина на проучването, честотен състав на данните и др. Придобитите сеизмични данни впоследствие се обработват и използват за създаване на сеизмични разрези, служещи за съставянето на геоложки хипотези за характера на подповърхностната среда. Като един от най-съществените компоненти на изследването, оказващ директен ефект върху качеството на получените разрези, се отличава честотният диапазон на сеизмичните данни. Традиционно се смята, че данните трябва да съдържат достатъчно широк честотен диапазон, за да бъдат получените разрези с висока резолюция. През последните години все по-сериозно внимание започва да се отделя на нискочестотната компонента на сигнала и приноса ѝ като полезен компонент, носещ информация за вълновата картина, най-вече в приповърхностната част на разреза. Подобни техники отдавна се използват за решаване на различни инженерно-геоложки задачи, но в последно

време ниските честоти придобиват популярност и в нефтената индустрия като допълнителни и надеждни източници на полезна информация. Все повече изследвания са насочени към изучаване въздействието на нискочестотния сигнал върху въглеводородни залежи и характера на тези регистрирани въздействия. Като бързоразвиващо се и неинвазивно направление в тази посока се откроява пасивната сеизмика. Тя се фокусира върху ниските честоти в порядъка от 1 до 6 Hz. Нискочестотният случаен шум в природата има разнороден характер. Счита се, че наличието на честоти под 1 Hz се дължат главно на движението на водни маси и метеорологичните условия (Longuet-Higgins, 1950; Peterson, 1993; Webb, 2007). За произхода на честотите малко над 1Hz се смята, че са предизвикани от човешката дейност и се характеризират с дневна и седмична цикличност в проявлението си (Yamanaka et al., 1993; Bonnefoy-Claudet et al., 2006).

Използването на пасивната сеизмика за целите на търсенето и проучването на нефт и газ се основава на анализ на сходни характеристики на сигнала, наблюдавани над доказани находища на въглеводороди. Тези характеристики се свързват с ясно изразени пикове на сеизмограмите в порядъка на 1,5-4 Hz (Dangel et al., 2003).



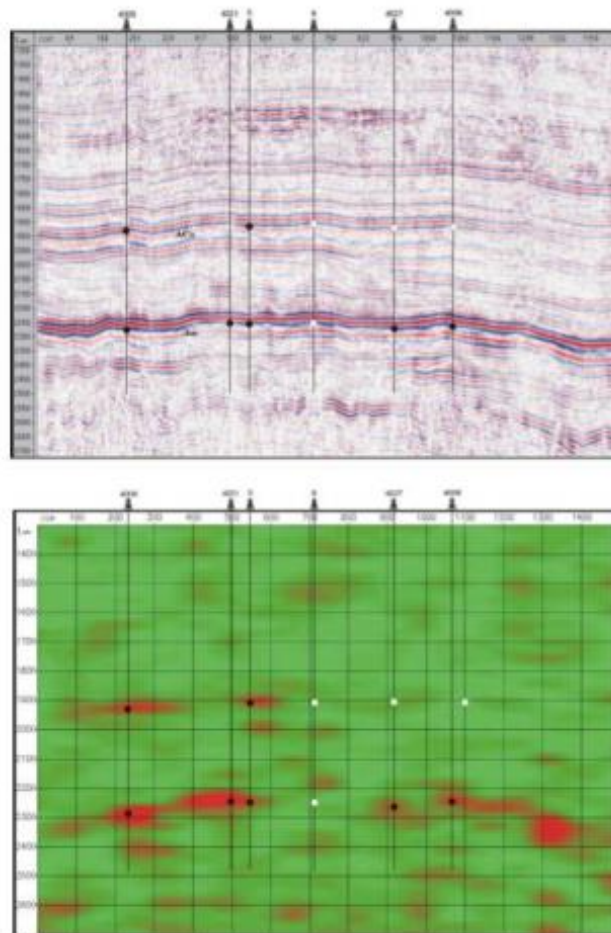
Фиг. 1. Условна графика, демонстрираща вида и характера на микросейзmicните явления, свързани с търсенето и проучването на нефт и газ: А - Микросейзmicни явления над доказано нефтено находище; Б - Микросейзmicни явления извън пределите на нефтеното находище

Пасивната сеизмика започва да се прилага широко в нефтената индустрия през последните години като съпътстващ метод с цел минимизиране на риска. Методиката изисква извършване на допълнителни тестове и експерименти, но със сигурност се отличава като перспективен и мощен инструмент в търсенето и проучването на въглеводороди по света (Sitinjak et al., 2014).

Същност и развитие на пасивната сеизмика

Микросейзmicните явления са предизвикани от непрестанните движения на Земята и се определят като фонов шум при извършване на специализирани изследвания. Въпреки че тези движения са изключително слаби и не се отчитат от човешките възприятия, те се регистрират от специална апаратура и могат да се използват като източник на полезна информация за характера на земните размествания и за анализ на подповърхностната среда, в която се разпространяват акустичните вълни породени от тях. На практика на това се основава методът на пасивната сеизмика, който започва да се прилага все по-широко в инженерната и търсещо-проучвателната практика. Методът се отличава като изключително подходящ за урбанизирани райони, където проучвателните работи са силно затруднени от наличието на разнородни смутители. Приложението на метода в процеса на търсене и проучване на въглеводороди се свързва, както с намаляване на риска при проучването, така и с ползата от прилагането на неинвазивен подход при събиране на данни за изследвания терен.

На фигура 2 е показан сеизмичен разрез от действащо находище на въглеводороди, на който се отличават два продуктивни хоризонта. За същата площ са обработени и анализирани и нискочестотни данни, получени в резултат от естествени движения на земните пластовете и регистрирани от специална апаратура в района на изследването. Направените хидродинамични изследвания за приток на флуиди в проучвателните сондажи в изследваната площ, ясно показват наличие на въглеводородни флуиди в два хоризонта, които почти идеално корелират с обработената информация, получена чрез методиката на пасивната сеизмика (Goloshubin et al., 2002).



Фиг. 2. Горے: Сеизмичен разрез от действащо находище на въглеводороди, на който се отличават два продуктивни хоризонта; Долу: Обработени нискочестотни данни от пасивна сеизмика над същото находище. Сондажи: ● – нефт, ○ – сух сондаж (Goloshubin et al., 2002)

Техниката на изследването с прилагане на пасивна сеизмика не изисква използването на изкуствен източник на сеизмични вълни (динамит, Вибросеиз), тъй като наблюдаваните микросейзmicни явления са породени от естествените движения на Земята.

За природата на микросейзmicните явления продължават да се водят дискусии. През последните години се наложи схващането, че са породени от наличието на повърхностни вълни (в частност вълните на Релей) или резонанс на s – вълните. Независимо от това, единодушно е възприето схващането, че микросейзmicните явления са резултат, както от дневната активност на хората, така и от природни фактори, за които продължава да се търси

обяснение. Антропогенната активност като автомобилния трафик, използването на тежка техника и съоръжения може да предизвика подобни сеизмични явления от порядъка на 1 Hz и повече. Към природните фактори, които оказват влияние се включват океанските вълни, атмосферното налягане, вятърът и др. Те се отличават най-често с честоти под 1 Hz (Okada, 2003).

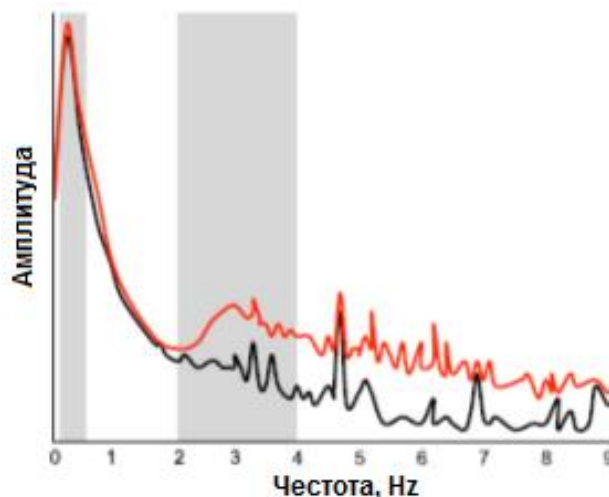
Идеята за използване на пасивна сеизмика за целите на нефтопроучването се е зародила в началото на 1990 година, когато екип от руски учени установили при наблюдения в Сибир и Северен Кавказ, че нискочестотният сигнал над въглеводородни залежи е с порядък от 1-10 Hz по-висок от този извън границите на залежите. Тези техни открития стават основа за развитието на едно изцяло ново направление в търсецо-проучвателните работи за нефт и газ. През 2003 година пасивната (нискочестотна) сеизмика отново привлича вниманието на специалистите след изследване на Dangel и екипа му (Dangel et al., 2003). Те откриват струпване на високоамплитудни компоненти на сеизмичните вълни при честоти около 3 Hz, измерени над въглеводородни залежи в Средния изток. Основното откритие тук било това, че фоновият шум като че ли се е модифицирал в нискочестотен точно над структурите, наситени с въглеводороди в сравнение с този, регистриран над водонаситени структури. Подобно изследване е проведено и в Бургос (Мексико), където резултатите също показали високи нива на корелация между нискочестотни аномалии и известни вече газови находища (Saenger, 2007).

В морски условия също са наблюдавани подобни резултати в Северно море (Норвегия). Изследването се осъществило посредством сеизмоприемници, разположени на дъното на морето на около 350 m дълбочина. Резултатите показали около 130 места с нискочестотни аномалии, за които се предполага, че са породени от наличие на въглеводородни залежи.

Година по-късно било проведено изследване в нефтено поле в Североизточна Бразилия, където според Graf (Graf et al., 2007) тестовите показали ясно двете зони и частично открити третата, в които се наблюдават залежите в блока. На фигура 3 (Graf et al., 2007) са показани амплитудите на сигнала в зависимост от честотния спектър в (червената крива) и извън (черната крива) границите на залежа. Смята се, че ниско честотните аномални зони в порядъка на 2-4 Hz се дължат на наличието на въглеводороди. Амплитудният пик в началото на около 0,2 Hz вероятно се дължи на океанските вълни.

Счита се, че вероятните причини за тази аномалия са две. Първата се дължи на резонансно усилване в порите на резервоарната скала, където сеизмичната енергия попада в многофазова флуидна система, в следствие, на което пренесената към детекторите сеизмична енергия се отличава със специфичен честотен диапазон.

Втората причина е възможно да се дължи на голямата разлика в коефициентите на отражение на резервоарните комплекси и вместващата среда, която по този начин предизвиква появата на подобен нискочестотен диапазон в регистрираните сеизмични сигнали.



Фиг. 3. Графика на зависимостта на амплитудите на сигнала от честотата му (по Graf et al., 2007 с изменения)

Според друга хипотеза (Chutov et al., 2002), тъй като въглеводородните залежи представляват мулти-компонентна система, при разпространение на акустични вълни през такава система те се модифицират в зависимост от състава ѝ. По такъв начин могат да се правят изводи не само за наличието на въглеводороди, но и като цяло за литологията на резервоара. Според същите автори е възможно дори да се идентифицира видът на евентуалните флуиди в резервоарните скали, тъй като според тях амплитудните аномалии в диапазона от 2 до 3,5 Hz са свързани с въглеводороди, а тези между 4 и 6,5 Hz с наличието на вода. Възможни са и частични изменения в диапазона на тези стойности в зависимост от морфологията на резервоара, хидростатичното налягане в порестите скали, което от своя страна зависи пряко от порестостта, пропускливостта и температурата на колекторите, поровото налягане, както и от вискозитета на флуидите. Авторите на това изследване също така смятат, че амплитудният пик над скали колектори, наситени с газ, е по-голям от този при наличие на нефт в колектора.

Приложение на методиката в световен мащаб

В нефтената индустрия естествената сеизмичност започва все по-широко да се използва за мониторинг и картиране на разломи, миграцията на флуидите в скалите, а също и при фракинг операциите (Maxwell, Urbancic, 1998). В някои случаи информацията добита от микросеизмичните явления се използва успешно като допълнителен източник на сведения за района на изследването, които допълват цялостната геолого-геофизична представа за терена (Ali et al., 2009). Тази информация е от съществено значение за намаляване риска при евентуални по-нататъшни сондажни дейности (Holzner et al., 2005). През 2009 Zhang (Zhang et al., 2009) използва предизвиканата от добивните дейности сеизмичност за съставянето на 3D Vp и Vp/Vs томография. През последните години именно това направление на пасивната сеизмика придобива сериозна популярност при извършване на регионални изследвания за търсецо-проучвателни дейности, тъй като се отличава като неинвазивно и сравнително рентабилно, в сравнение с конвенционално 3D проучване (Martakis et al., 2006).

В допълнение на това, микросейзмични явления са използвани за изясняване на подповърхностната среда в множество седиментни басейни. При изследване, проведено над пустинни райони в Саудитска Арабия и Северна Африка, придобитите по МОВ сейзмични данни били съпоставени с информация от микросейзмични явления, регистрирани над същите райони. Съвместното тълкуване на информацията показало много добра корелация между микросейзмичните явления и добитите полски сейзмични данни от провежданите проучвания (Draganov et al., 2007, 2009).

Друго приложение на методите на пасивната сейзмика, добиващо голяма популярност, се свързва с мониторинг при проучване и добив на шистов газ, тъй като методиката не изисква допълнителни усилия за създаване на сейзмичен сигнал, а използва фракнинг технологията като източник на акустична енергия. По такъв начин се получава информация в самия момент на фракнинга и се извършва ефективен мониторинг на процеса.

Същевременно технологията може да се разглежда и като система за ранно предупреждаване за евентуални рискове за околната среда и човешкото здраве.

В насоките за бъдещо развитие на метода се очаква да стане възможно наблюдението на по-дълбоки зони от потенциалния резервоар, като се „улавят“ още по-слаби микросейзмични процеси и дори да се отчита разликата във физичните свойства на колектора при движението на флуидите.

Предпоставки и насоки за развитие на методиката

За развитието на пасивната сейзмика допринася и фактът, че необходимостта от въглеводородни суровини продължава да нараства, а тъй наречените „лесни за откриване и експлоатация“ находища вече не съществуват. Предизвикателствата пред търсещо-проучвателните компании нарастват, както по отношение на инженерно-геоложките фактори, така и във връзка с обществената чувствителност и недоверие към екологосъобразните концепции за търсене и експлоатация на откритите находища, които те прокламират. Към въглеводородните запаси на бъдещето в акваторията се открояват – дълбоководието, сложно залягащите капани около солни куполи в Мексиканския залив, Бразилия и Западна Африка, както и арктическият регион.

На сушата вниманието на специалистите е насочено основно към неконвенционалните източници на въглеводороди – главно шистов газ. Обобщен поглед към предполагаемите запаси на сушата и в акваторията показва, че те имат нещо общо – всички изискват прилагането на комплексен и иновативен подход, а това несъмнено подчертава необходимостта от разширяване кръга от проучвателни подходи, които да бъдат прилагани за тази цел (Mueller, 2012).

Заклучение

Пасивната сейзмика се отличава като неинвазивен подход, посредством който става възможно наблюдението и анализа на допълнителна сейзмична информация за обекти и структури представляващи интерес, както в инженерно-геоложко отношение, така и за целите на търсещо-проучвателните работи за нефт и газ.

Методът на пасивната сейзмика се отличава като новаторски, гъвкав и екологосъобразен. Неговото голямо преимущество се състои във възможността, която технологията дава за намаляване на проучвателните и експлоатационни рискове при търсенето и проучването на въглеводороди. Едни от най-отличителните му предимства в тези процеси са:

- Осигурява задоволителна първоначална информация, която предхожда класическите при търсене и проучване на въглеводороди сейзмопроучвателните работи по метода МОВ;
- Възможност за прецизиране позицията на проектните проучвателни и впоследствие експлоатационни сондажи;
- При определени условия дава възможност за идентифициране на водо-нефтения контакт;
- Методът успешно се прилага за мониторинг на всички етапи от търсещо-проучвателните работи и в следствие при процеса на експлоатация.

Литература

- Ali, M., K. A., Berteussen, J., Small and B., Barkat, Low-frequency passive seismic experiments in Abu Dhabi, United Arab Emirates: implications for hydrocarbon detection, *Geophysical Prospecting*, 2009, - 1–25.
- Bonnefoy-Claudet, S., F., Cotton and P.Y., Bard, The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies – A literature review, *Earth-Science Reviews* v. 79, 2006, - 205–227.
- Chutov, G. J., E. D., Rode, J., Moritz, Method for direct hydrocarbon reservoir detection and delineation by low frequency acoustic spectroscopy, 2002, Patent N0.: US 6,473,695 B1.
- Dangel, S., M.E., Schaepman, E.P., Stoll, R. Carniel, O. Barzandji, E.D., Rode, J.M., Singer. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs. - *Journal of volcanology and geothermal research*, 128, 2003, - 135-158.
- Draganov, D., K., Wapenaar, W., Mulder, J., Singer and A., Verdel, Retrieval of reflections from background-noise measurements, *Geophysical Research Letters* v. 34, 2007, L04305.
- Draganov, D., X., Campman, J., Thorbecke, A., Verdel and K., Wapenaar, Subsurface structure from ambient seismic noise, *71st EAGE meeting*, 2009, *Expanded Abstracts*, 2038.
- Graf, R., S. M., Schmalholz, Y., Podladchikov, E.H., Saenger, Passive low frequency spectral analysis: Exploring a new field in geophysics, *World Oil*, 2007, 47-52.
- Goloshubin, G.M., V. A., Korneev, and V. M., Vingalov, Seismic low-frequency effects from oil-saturated reservoir

- zones: *72nd Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts*, 2002, - 1813-1816.
- Holzner, R., P., Eschle, H., Zurcher, M., Lambert, R., Graf, S., Dangel and P.F., Meier, Applying microtremor analysis to identify hydrocarbon reservoirs, *First Break* 23, 2005, - 41–46.
- Longuet-Higgins, M.S., A theory of the origin of microseisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 243, 1950, - 1–35.
- Martakis, N., S., Kapotas, and G. A., Tselentis, Integrated Passive Seismic Acquisition And Methodology. *Case Studies: Geophysical Prospecting v. 54*, 2006, - 829–847.
- Maxwell, S.C., T.I., Urbancic, The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field, *Leading Edge*, v. 20, 2001, - 636–639.
- Mueller, M., Why passive seismic in the Gulf of Mexico will benefit the oil industry, regulators and a concerned public, *MicroSeismic*, 2012, - 2-5.
- Okada, H., The microtremor survey method, Society of Exploration Geophysicists, *Geophysical Monograph Series No. 12*. 2003, - 20.
- Peterson, J., Observations and modeling of seismic background noise, US Geological Survey, *Open File Report* 93–322, 1993, - 1–95.
- Saenger, E. H., A hydrocarbon microtremor survey over a gas field: Identification of seismic attributes, *76th Ann. Internat. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., Expanded Abstracts*, 2007, - 1277–1281.
- Sitinjak, R., E., Sumarsono, B., Suherman, Low frequency passive seismic method as a hydrocarbon indicator in the trembes area, east java basin, *38th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association*, 2014, G-171.
- Webb, S.C., The Earth's 'hum' is driven by ocean waves over the continental shelves, *Nature v. 445*, 2007, - 54–756.
- Yamanaka, H., M., Dravinski and H., Kagami, Continuous measurements of microtremors on sediments and basement in Los Angeles, California, *Bulletin of the Seismological Society of America* 83, 1993, - 1595–1609.
- Zhang, H., S., Sarkar, M. N., Toksoz, H. S., Kuleli, and F., Al-Kindy, Passive seismic tomography using induced seismicity at a petroleum field in Oman, *Geophysics v. 74*, 2009, WCB57-WCB69.

Статията е рецензирана от проф. д-р Стефан Димовски и е препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".