

Геоинформатика. 2022. № 2. С. 54–61.
Geoinformatika. 2022;(2):54–61.

Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья

УДК 550.834

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-54-61>

О технологии сейсмической локации нефти и газа (СЛОНГ) по эмиссионным волнам от продуктивных слоев

© 2022 г. — Файзуллин Ирик Султанович^{1, а)}, Серегин Александр Владимирович^{1, б)}, Волков Антон Владимирович^{1, в)}, Файзуллин Тимур Иркинович^{1, д)}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва, Россия

^{а)}slbo-slong@mail.ru, ^{б)}alexandr.sereg@mail.ru, ^{в)}antona1@yandex.ru, ^{д)}fatimur@yandex.ru

Аннотация: Рассматриваются физические основы и комплекс вопросов по технологии сейсмической локации нефти и газа (СЛОНГ), связанный с сейсмическим воздействием на продуктивные пласты, излучением ими эмиссионных волн и методикой их выделения при обработке сейсмических профилей МОГТ-2Д. Показывается, что основной эффект сейсмического воздействия заключается в возникновении (росте) трещиноватости, при котором излучение пластом высокочастотных колебаний связано с образованием сдвиговых микротрещин, а низкочастотных (относительно частоты воздействия) с пластической деформацией участков пласта, сопровождаемой колебаниями от наземных излучателей. Рассматривается методика обработки сейсмических материалов МОГТ-2Д и способ выделения участков излучения продуктивным пластом низкочастотных эмиссионных волн. Приводятся примеры обработки шести профилей МОГТ-2Д по рассмотренной технологии СЛОНГ, которые свидетельствуют о непротиворечивости полученных результатов и о возможности использования их для оценки нефтегазоперспективности объектов. Постулируется возможность применения СЛОНГа для поиска нестандартных ловушек углеводородов.

Ключевые слова: *сейсмическое воздействие, локация, эмиссионная волна, излучение, автоэмиссия, аномалии*

Для цитирования: Файзуллин И.С., Серегин А.В., Волков А.В., Файзуллин Т.И. О технологии сейсмической локации нефти и газа (СЛОНГ) по эмиссионным волнам от продуктивных слоев // *Геоинформатика*. — 2022. — № 2. — С. 54–61. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-54-61>.

Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

About the technology of seismic location of oil and gas (SLONG) based on emission waves from productive layers

© 2022 — Irik S. Fayzullin^{1, а)}, Aleksandr V. Seregин^{1, б)}, Anton V. Volkov^{1, в)}, Timur Ir. Fayzullin^{1, д)}

¹All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia

^{а)}slbo-slong@mail.ru, ^{б)}alexandr.sereg@mail.ru, ^{в)}antona1@yandex.ru, ^{д)}fatimur@yandex.ru

Abstract: The article deals with the physical foundations and a set of issues on the technology of seismic location of oil and gas (SLONG) related to the seismic impact on productive formations, their emission of emission waves and the method of their isolation during the processing of seismic profiles of CDP-2D. It is shown that the main effect of seismic impact is the occurrence (growth) of fracturing, in which the radiation of high-frequency vibrations by the formation is associated with the formation of shear microcracks, and low-frequency (relative to the frequency of impact) with plastic deformation of the reservoir sections, accompanied by vibrations from ground-based emitters. The method of processing of seismic materials CDP-2D and the method of isolation of radiation areas by a productive layer of low-frequency emission waves are considered. Examples of processing of six profiles of CDP-2D using the considered SLONG technology are given, which indicate the consistency of the results obtained and the possibility of using them to assess the oil and gas prospects of objects. The possibility of using SLONG to search for non-standard hydrocarbon traps is postulated.

Key words: *seismic impact, location, emission wave, emission, auto-emission, anomaly*

For citation: Fayzullin I.S., Seregин A.V., Volkov A.V., Fayzullin T.I. About the technology of seismic location of oil and gas (SLONG) based on emission waves from productive layers. *Geoinformatika*. 2022;(2):54–61. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-54-61>. In Russ.

Введение

СЛОНГ основан на свойстве нефтегазовых пластов, находящихся в напряженно-деформированном состоянии, излучать эмиссионные волны при многократном облучении их упругими волнами. Поскольку низкочастотные (по сравнению с излу-

чаемыми) эмиссионные волны наблюдались только при наличии в разрезе нефтегазовых пластов, то выделение их было равносильно обнаружению углеводородов. На этой основе в ООО НВП «Геоакустик» и институте ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем» была разработана технология сейсмической локации

нефти и газа (СЛОНГ), на которую получен патент на изобретение РФ [9] и свидетельство на товарный знак [8].

Первоначально СЛОНГ применялся совместно с сейсмической локацией бокового обзора (СЛБО). В результате обработки большого количества сейсмических профилей МОГТ-2Д, проходивших через известные нефтяные месторождения, было подтверждено положение их на профиле и определена глубина нахождения некоторых продуктивных горизонтов. Но поскольку применение СЛБО в некоторых случаях (например, в случае невозможности выделения субвертикальных зон трещиноватости) встречало затруднения, то дальнейшие исследования, которые проводились в отделе «Разработки компьютерных технологий обработки данных сейсморазведки и каротажа» ФГБУ «ВНИГНИ», были направлены на разработку технологии СЛОНГ без привлечения СЛБО, а полученные при этом результаты излагаются ниже.

Физические основы СЛОНГа

В разделе рассматриваются вопросы сейсмического воздействия, излучения эмиссионных волн и методики их выделения применительно к модели трещиновато-блочных сред, находящихся в напряженно-деформированном состоянии.

Механизм воздействия упругих колебаний на трещиновато-блочную среду, находящуюся в напряженном состоянии, рассмотрен в [2, 3], согласно которым при длительном воздействии в фазе растяжения происходит накопление смещений на межблочных контактах до критического уровня, после чего контакт смещается с излучением короткого упругого импульса. Аналогичная ситуация имеет место при докритическом росте трещин, которые после достижения критических размеров переходят к динамическому развитию с излучением короткого импульса. Если при этом трещины переходят предел существования при сжатии, то они смыкаются с излучением короткого импульса. Давление в возникающих импульсах достигает значений, на несколько порядков превосходящих давление в импульсах, доходящих до пласта от наземных излучателей. Так например, по данным [7], в нефтяном пласте, залегающем на глубине 1531 м, при результативном воздействии излучателем с поверхности было установлено, что амплитуда колебаний кровли нефтяного пласта не превышает 5×10^{-9} м. Расчет давления для этой амплитуды приводит к значению $\sim 0,7$ Па. В то же время, согласно [2, 3], при динамическом развитии трещин и при их схлопывании излучаются высокочастотные импульсы с давлением порядка ~ 104 Па, что на четыре порядка превышает давление в колебаниях, доходящих до кровли пласта от наземных излучателей ($\sim 0,7$ Па). При наличии в пласте флюида и поровой проницаемости возникающие при воздействии колебания сами возбуждают в ближайшем окружении высокочастотные импуль-

сы, что приводит к проявлению автоэмиссионного механизма воздействия с эшелонной передачей колебаний, способствующего многократному росту микротрещин [2, 3].

Следует отметить, что, по данным [7], после единичного низкочастотного воздействия наблюдается долговременное усиление высокочастотной (единицы-десятки кГц) акустической эмиссии нефтяного пласта, которая свидетельствует о наличии автоэмиссионного механизма воздействия, условия эффективного проявления которого (наличие флюида и поровой проницаемости) в этом случае соблюдаются.

Помимо динамического взаимодействия трещин, происходят квазистатические изменения в окрестности разрывов (трещин), что создает условия для длительного подрастания трещин и обеспечивает эффект последствия в виде продолжения подрастания после окончания воздействия [3, 10].

При воздействии на участке пласта, достигшего стадии автоэмиссионной цепной реакции, образуется большое количество сдвиговых трещин, которые приводят к возникновению (увеличению) трещинной пористости, что в газоносных пластах приводит к уменьшению скорости продольных волн V_p и меньшему уменьшению скорости поперечных V_s . В нефтяных пластах с газовым фактором различие в скоростях еще больше увеличивается за счет выделения в процессе воздействия свободного газа [7] и резкого снижения объемного модуля K и, соответственно, скорости продольных волн. В то же время снижение прочности пород при увеличении трещиноватости в процессе воздействий приводит к дилатансионному расширению трещин [5], что также значительно уменьшает скорость продольных волн V_p при незначительном уменьшении скорости поперечных V_s . В результате на участках пласта с автоэмиссионным воздействием уменьшается отношение скоростей V_p/V_s и, соответственно, уменьшается коэффициент Пуассона, что меняет соотношение главных компонент напряжения (уменьшает горизонтальные по сравнению с вертикальной) и вызывает сдвиговые деформации [5], которые за счет большого количества возникающих при воздействии трещин приводят к пластической деформации участка пласта, сопровождаемой колебаниями от наземных излучателей. А пластическая деформация нагруженных материалов, как показано экспериментами на образцах в [6], под действием вибраций происходит скачкообразно, и вибрации являются спусковым механизмом возникающих сдвигов, являющихся источниками импульсного излучения упругих волн. При сейсмическом воздействии на продуктивные пласты пластическая деформация сопровождается колебаниями от излучателей, т.е. соблюдаются условия экспериментов в [6], только в другом масштабе. Поэтому можно предположить, что в этом случае колебания от излучателей вызывают скачкообразное излучение пластически

деформированных трещиноватоблочных участков пласта в низкочастотной области (по сравнению с частотой колебаний на образцах). Следует отметить, что в реальных условиях нефтяной пласт при сейсмическом воздействии на него излучателем с поверхности действительно излучает низкочастотные (единицы-десятки Гц) волны [7].

При фокусировании энергии колебаний на участки (на которые разбивается разрез при обработке) вокруг излучающих участков пласта должна наблюдаться область повышенных значений энергии низкочастотных эмиссионных волн, что и происходит в действительности. Это используется в качестве одного из условий отнесения области повышенной энергии колебаний к участку возникновения эмиссионных волн.

Исходя из сходства механизмов излучения упругих волн в СЛОНГе и в экспериментах [6], можно определить форму частотного спектра (в дальнейшем просто спектр) эмиссионных волн в СЛОНГе. В [6] излучение колебаний происходит в виде отдельных акустических импульсов, которые имеют доминирующую составляющую спектра, что отличает их от разного рода помех. Поэтому спектр колебаний, излучаемых продуктивным пластом в СЛОНГе, также должен иметь доминирующую составляющую спектра, что используется в качестве второго условия наличия участка излучения эмиссионной волны. Следовательно, наличие области повышенных значений энергии колебаний на энергетических разрезах СЛОНГа и расположение в этой области спектра колебаний с доминирующей частотой свидетельствуют о наличии области излучения эмиссионной волны. Участок, на котором получен искомым спектр, определяет возможное местоположение (по глубине и по профилю) УВ, и его относят к положительному значению СЛОНГ. Этот участок, согласно вышеизложенному, характеризуется наибольшей трещиноватостью, возникающей в процессе автоэмиссионной цепной реакции, и межзерновой проницаемостью, необходимой для возникновения автоэмиссии, что сказывается на улучшении коллекторских свойств пород. Поэтому участки с положительным значением СЛОНГ предпочтительны для размещения на них поисково-разведочных скважин.

Для определения протяженности по профилю участков наличия УВ, прогнозируемых по технологии СЛОНГ, используется подход, основанный на обработке микросейсм по методике Г.В. Ведерникова, Е.Н. Хогоева и Т.И. Чичиной [1, 12, 13]. При этом точка с положительным значением СЛОНГ расположена в окрестности локального максимума энергии микросейсм, а протяженность участка определяется шириной максимума на уровне минимальных значений энергии микросейсм. Предложенная методика изложена в [11].

Из проведенного рассмотрения следует, что внешние поля (гравитационные, тектонические) создают на продуктивных участках разреза напряженно-деформированное состояние, включающее сдвиговые напряжения, которые способствуют накоплению смещений на контактах и росту микротрещин при сейсмическом воздействии. Внешние поля способствуют также возникновению пластической деформации продуктивных участков, благодаря которой происходит излучение низкочастотных эмиссионных волн. На непродуктивных (водонасыщенных) участках не происходит заметного уменьшения скорости продольных волн, отношения скоростей продольных и поперечных волн, и соответственно, уменьшения коэффициента Пуассона, которое необходимо для начала перечисленных выше последующих преобразований. На непродуктивных («сухих») участках не может возникнуть основная автоэмиссионная цепная реакция образования микротрещин в связи с отсутствием флюида. По-видимому, отсутствие излучения эмиссионных волн непродуктивными участками разреза отвечает на вопрос в [12], почему микросейсм реагируют только на наличие продуктивных пластов.

Таким образом, при длительном сейсмическом воздействии низкочастотные эмиссионные волны излучаются пластом в том случае, когда он является трещиновато-блочным с межзерновой проницаемостью и флюидонасыщен, т. е. является продуктивным.

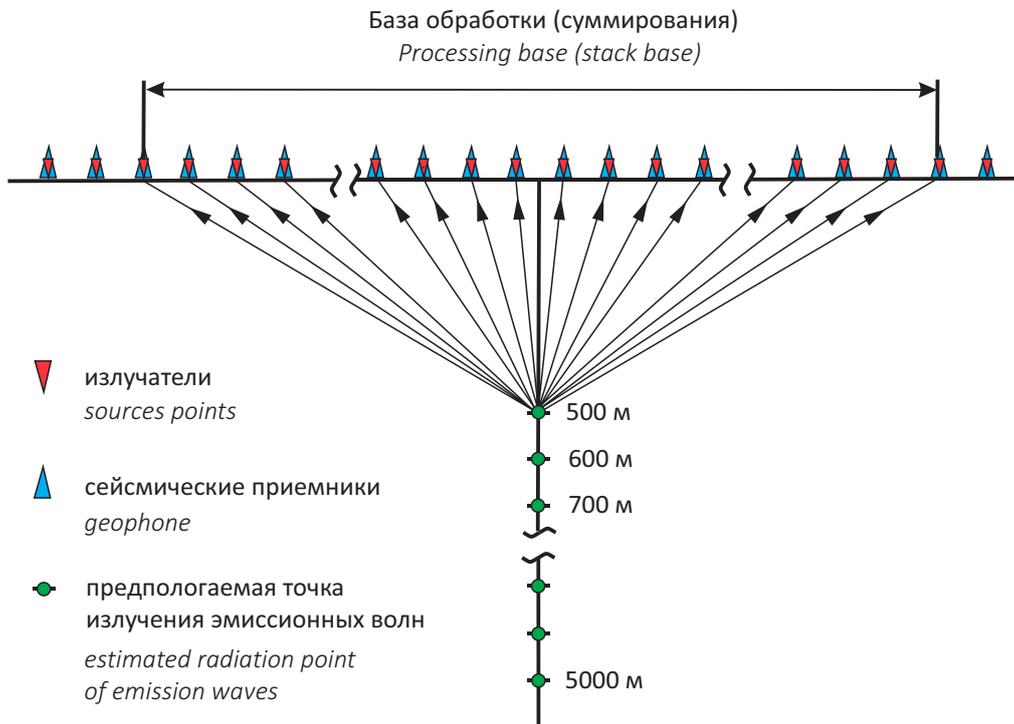
Методика обработки

Методика обработки сейсмических материалов МОГТ-2Д по технологии СЛОНГ базируется на результатах рассмотрения физических основ технологии. Этапы обработки представляются в следующей последовательности:

- выбирается база обработки (рис. 1), в пределах которой проводится накопление сигналов по совокупности заданных пунктов приема и связанных с ними соответствующих пунктов возбуждения при различных удалениях источник-приемник;
- плоскость глубинного разреза разбивается на квадраты (размера шага между пунктами приема), и для каждого из них рассчитывается сумма колебаний с учетом трассировки лучей на основе средних скоростей;
- по суммарным сигналам оценивается их энергия и спектр;
- по статистической обработке оценок энергии в плоскости разреза выделяются области их повышенных значений;
- выполняется анализ спектральных характеристик и выделение участков по профилю и глубинам, на которых наблюдается спектр низкочастотного сигнала с доминирующей частотой;
- производится локализация перспективных объектов по совпадению областей повышенной

Рис. 1. Схема обработки материалов МОГТ-2Д по технологии СЛОНГ

Fig. 1. The scheme of conventional seismic data 2D processing by SLONG technology



энергии и спектра сигнала с доминирующей частотой и определение протяженности объекта по профилю (по методике микросейсм с использованием данных СЛОНГ) [11]. При этом возможное нахождение УВ приурочено к глубине, для которой получен указанный спектр сигнала, с точностью, зависящей от соответствия использованной средней скорости реальной (обычно ± 100 м);

- в результате формируются материалы, демонстрирующие наличие положительного значения СЛОНГ, — точка на временном разрезе и фрагменты разрезов по энергии колебаний для окрестности выделенных объектов УВ.

Из методики обработки сейсмических материалов МОГТ-2Д следует, что выделение участков возможного наличия УВ не связано со структурным фактором и может быть использовано для поиска неструктурных ловушек углеводородов. Выбор места заложения поисково-разведочных скважин возможен на участках положительных значений СЛОНГ, а также в пределах протяженности объекта по профилю, определенной по методике микросейсм с использованием данных СЛОНГ.

Некоторые результаты применения СЛОНГ

С целью прогноза нефтегазоперспективности объектов по технологии СЛОНГ было обработано 6 региональных сейсмических профилей МОГТ-2Д в Енисей-Хатангском прогибе, на которых выделены следующие участки с положительным значением

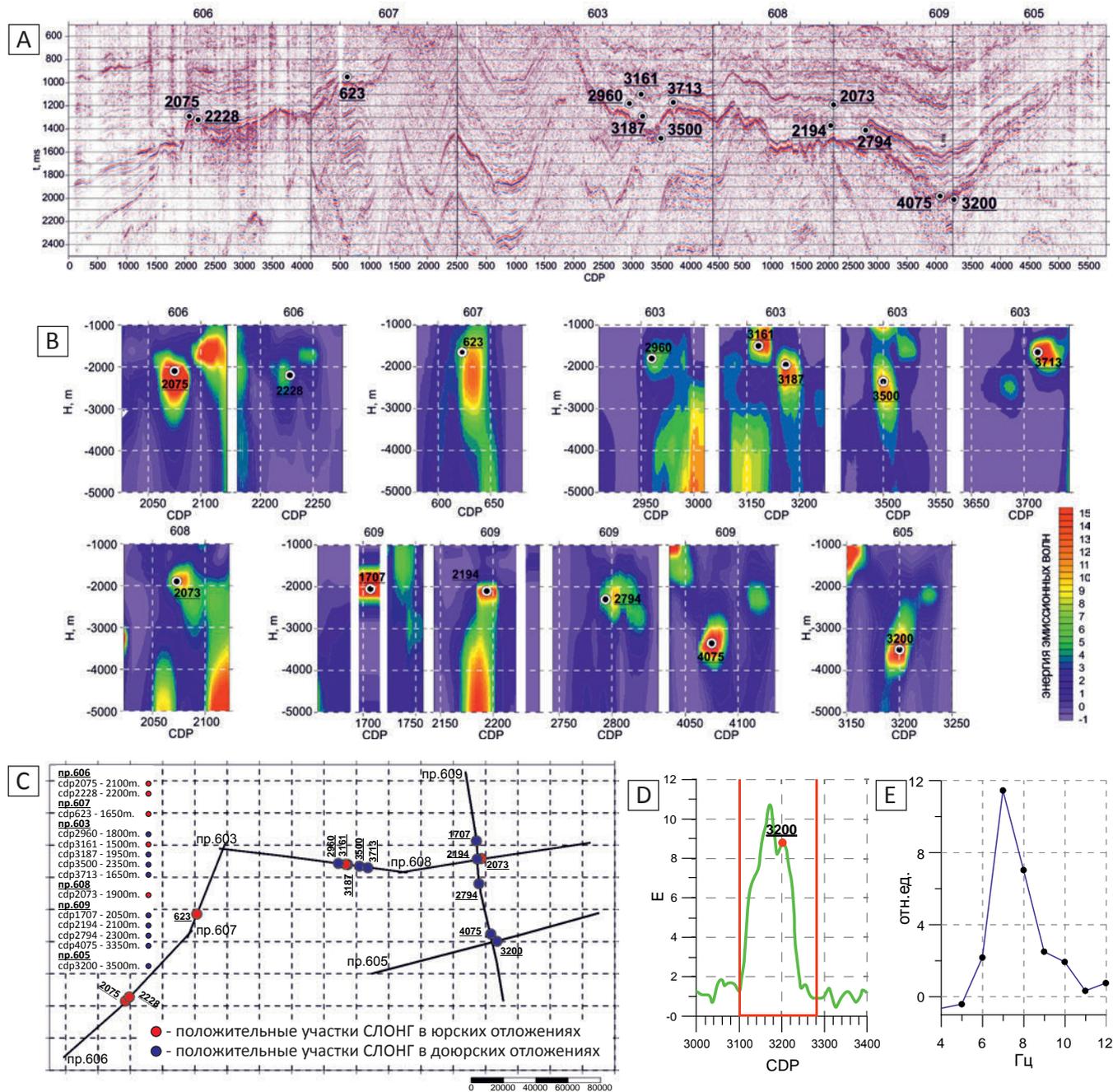
СЛОНГ, определяющие возможное наличие УВ и протяженность участков по методике микросейсм:

- на профиле 606 два участка с CDP 2075 на глубине 2100 м, и с CDP 2228 на глубине 2200 м общей протяженностью по профилю (в дальнейшем протяженностью) 5600 м;
- на профиле 607 один участок с CDP 623 на глубине 1700 м протяженностью 2900 м;
- на профиле 608 один участок с CDP 2073 на глубине 1900 м протяженностью 4250 м;
- на профиле 609 четыре участка с CDP 1707 на глубине 2050 м протяженностью 5500 м, с CDP 2194 на глубине 2100 м протяженностью 2400 м, с CDP 2794 на глубине 2300 м протяженностью 3350 м, с CDP 4075 на глубине 3350 м протяженностью 6370 м;
- на профиле 603 пять участков с CDP 2960 на глубине 1800 м протяженностью 2500 м, с CDP 3161 на глубине 1500 м протяженностью совместно с CDP 3187 3420 м, с CDP 3187 на глубине 1950 м, с CDP 3500 на глубине 2350 м протяженностью 1870 м, с CDP 3713 на глубине 1650 м протяженностью 3750 м;
- на профиле 605 с CDP 3200 на глубине 3500 м протяженностью 4400 м.

Положение центров выделенных участков возможного нахождения УВ приведено на композиционном временном разрезе по линии профилей 606-607-603-608-609-605 (рис. 2А). Участок на профиле 609 с CDP 1707 находится вне линии сочленения профилей 609 и 608, и поэтому на рис. 2А он

Рис. 2. Композиция временных разрезов профилей МОГТ-2Д по линии 606-607-603-608-609-605 (А), фрагменты разрезов значений энергии колебаний в отн.ед. (В), схема профилей (С), с нанесенными участками положительных значений СЛОНГ соответственно, фрагмент графика распределения значений энергии колебаний микросейсм для профиля 605 с нанесенным центром участка положительного значения СЛОНГ (D) и пример частотного спектра эмиссионной волны на участке положительного значения СЛОНГ (E)

Fig. 2. Composition of time sections of the seismic CDP-2D profiles along the line 606-607-603-608-609-605 (A), fragments of sections of vibration energy values in rel.units (B), profiles scheme (C), with plots of positive values of SLONG respectively, fragment of a graph of the distribution of the values of the microseism vibration energy for profile 605 with the plotted center of the section of the positive SLONG value (D) and an example of the frequency spectrum of the emission wave in the area of the positive value of SLONG (E)



отсутствует, но положение его на пр. 609 приведено на схеме профилей (рис. 2С). Участки с CDP 2194 на пр. 609 и CDP 2073 на пр. 608 находятся вблизи линии сочленения профилей 608 и 609 (рис. 2С) и поэтому они приведены на рис. 2А. Участок с CDP 2073 на пр. 608 находится в окрестности пересечения с пр. 609 (рис. 2С), и поэтому он приведен на пр. 609 (рис. 2А).

Следует отметить, что пр. 606 проходит через скважину Хабейская-1, в которой газоконденсат находится на глубине 2032-2046 м, что согласуется с глубиной выделенного участка по СЛОНГ (2100 м) и свидетельствует о достоверности прогноза. Об этом свидетельствует также и расположение выделенных по СЛОНГ участков на шести профилях в окрестности отражающих границ, что возможно при досто-

верном выделении участков (рис. 2А). Примечательно также и то, что положительные значения СЛОНГ, расположенные на профилях 609 (CDP2194) и 608 (CDP2073) в окрестности пересечения этих профилей (рис. 2С) незначительно отличаются по глубине (200 м). Такая же картина наблюдается на пересечении профилей 609 (CDP4075) и 605 (CDP3200) с разностью по глубинам положительных значений СЛОНГ 150 м.

Все выделенные участки с положительным значением СЛОНГ характеризуются наличием спектров эмиссионных волн с низкочастотной доминирующей составляющей (рис. 2Е), локальными максимумами энергии эмиссионных волн, величина которых может быть связана с физико-механическими характеристиками и мощностью продуктивного слоя (рис. 2В). Протяженность вдоль профиля выделенных участков в первом приближении определяется шириной максимума энергии микросейсм (рис. 2D).

По композиции временных разрезов (рис. 2А), информации по скважине на пр. 606 и по данным сводного геолого-геофизического разреза на пр. 603 [4] можно определить отложения на остальных выделенных по СЛОНГ участках. Так, положительные значения СЛОНГ на профилях 606 и 607 находятся в окрестности одной отражающей границы, приуроченной по скважине Хабейская-1 к юрским отложениям. На пр. 603 выделенные участки согласно сводному геолого-геофизическому разрезу [4] распределяются следующим образом. Участок с CDP 3161 находится в юрских отложениях, участки с CDP 2960, 3187, 3500 и 3713 — в доюрских отложениях. Согласно общим отражающим границам по профилям 608, 609 и 605 (рис. 2А), участок с CDP 2073 на пр. 608 находится в юрских отложениях, участки с CDP 2194, 2794, 1707 и 4075 на пр. 609 находятся в доюрских отложениях, как и участок с CDP 3200 на пр. 605. Близко расположенные по профилю участки на пр. 603 могут быть отнесены к одному объекту, т.к. расстояние между ними соизмеримо с протяженностью каждого из них. Поскольку расстояние между крайними участками составляет ~20 пог. км, то они могут быть отнесены к одному месторождению УВ в доюрских отложениях. Такая же картина наблюдается на пр. 609 на участках с CDP 1707, 2194 и 2794 (рис. 2А), в которых протяженность между крайними из них составляет ~25 пог. км, что позволяет отнести их к небольшому месторождению УВ. Участок с CDP 4075 на пр. 609 и с CDP 3200 на пр. 605 (рис. 2А) расположены в окрестности той же отража-

ющей границы, что и указанные выше возможные месторождения (рис. 2А) и поэтому могут быть отнесены к отдельным доюрским залежам.

Таким образом, применение СЛОНГа для обработки шести региональных сейсмических профилей МОГТ-2Д позволило получить непротиворечивые данные и осуществить прогноз нефтегазоперспективности объектов с ориентировочной оценкой протяженности и глубины нахождения углеводородов, согласующиеся с физическим обоснованием технологии.

Заключение

При проведении сейсморазведки типа МОГТ происходит длительное сейсмическое воздействие на подстилающие породы, основным эффектом которого заключается в возникновении (росте) трещиноватости.

Наличие в разрезе продуктивного пласта приводит к возникновению в нем, начиная с некоторых глубин, определяемых напряженно-деформированным состоянием, большого количества микротрещин и пластической деформации участка пласта, приводящей к скачкообразному излучению низкочастотных (по сравнению с рабочими частотами МОГТ-2Д) эмиссионных волн.

Из приведенных материалов следует, что низкочастотные эмиссионные волны, выделяемые в технологии СЛОНГ (в дальнейшем — технологии), могут использоваться в качестве поискового признака углеводородов при обработке сейсмических материалов МОГТ-2Д.

Методика выделения участков нахождения углеводородов не связана со структурным фактором, и поэтому технология может применяться, в том числе, для поиска и разведки неструктурных ловушек нефти и газа.

Участки с положительным значением СЛОНГ из-за свойственного им автоэмиссионного механизма воздействия обладают наибольшей трещиноватостью и межзерновой проницаемостью и поэтому предпочтительны для размещения на них поисково-разведочных скважин.

Выделенные по технологии участки возможного нахождения углеводородов могут использоваться для оценки нефтегазоперспективности объектов и проведения детального анализа другими методами, что значительно повысит достоверность прогноза, особенно нестандартных ловушек углеводородов, и минимизирует объем детальных исследований.

Список источников

1. Ведерников Г.В., Хогоев Е.А. Прогноз залежей УВ по характеристикам микросейсм при сейсморазведочных работах МОГТ // Гео-Сибирь. — 2007. — Т. 5. — С. 179–183.
2. Дьяконов Б.П., Файзуллин И.С. Реакция трещиновато-блочных сред на сейсмоакустические воздействия и естественные колебания. Часть 1. Эволюция трещин под переменными техногенными и естественными нагрузками // Геофизика. — 2009. — № 3. — С. 5–11.
3. Дьяконов Б.П., Файзуллин И.С. Реакция трещиновато-блочных сред на сейсмоакустические воздействия и естественные колебания. Часть 2. Механизм взаимодействия трещин // Геофизика. — 2009. — № 4. — С. 9–15.

4. Каптановская О.О., Инюшкина А.А., Гейдеко Т.В. Изучение геологического строения Тарейской площади в пределах центральной части Таймырского полуострова с целью выделения новых поисковых объектов [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы развития ТЭК регионов России и пути их решения – РосгеоНЕФТЕГАЗ: сборник трудов 14-й конференции (Геленджик, 27-31 мая 2019 г.). – С.53–56. – Режим доступа: <https://ngtp.ru/publication/sborniki/RosgeoOilGas2019.pdf> (дата обращения: 13.05.2022).
5. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии. – Тверь : ГЕРС, 2006. – 480 с.
6. Садовский М.А., Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Саломов Н.Г. Влияние механических микроколебаний на характер пластических деформаций материалов // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1981. – № 6. – С. 32–42.
7. Сердюков С.В., Курленя М.В. Механизм сейсмического воздействия на нефтепродуктивные пласты // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 11. – С. 1231–1240.
8. СЛОНГ: свидетельство на товарный знак 493591 Рос. Федерация; № 2012723084; заявл. 09.07.2012; продл. до 09.07.2032; опубл. 14.12.2021, Бюл. № 24. 1 с.
9. Способ сейсмической разведки: патент на изобретение 2445650 Рос. Федерация; № 2010113942/28; заявл. 09.04.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. № 8. 13 с.
10. Файзуллин И.С., Дьяконов Б.П., Хисамов Р.С., Муслимов Р.Х., Куценко Н.В. О технологии сейсмоакустического воздействия на обводненные нефтяные пласты // Технологии сейсморазведки. – 2006. – № 3. – С. 86–89.
11. Файзуллин И.С., Серегин А.В., Волков А.В., Файзуллин Т.И. К оценке протяженности по латерали участков наличия углеводородов по данным сейсмической локации нефти и газа (СЛОНГ) // Геоинформатика. – 2020. – № 4. – С. 33–37.
12. Хогоев Е.А., Чичинина Т.И., Ведерников Г.В. Шум углеводородов, или Метод анализа микросейсм по обычным данным сейсморазведки 2D/3D [Электронный ресурс] // Геомодель-2015: сборник докладов 17-й международной научно-практической конференции (Геленджик, 7-10 сентября 2015 г.). – 5 с. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/300248193_Sum_uglevodorodov_ili_metod_analiza_mikrosejsm_po_obycnym_dannym_sejsmorazvedki_2D3D (дата обращения: 13.05.2022). DOI:10.3997/2214-4609.201413966.
13. Chichinina T.I., Hogojev E.A., Reyes-Pimentel A. Microtremor Analysis in Seismic Reflection Data for Identification of Oil and Gas Reservoirs [Электронный ресурс] // Conference Proceedings, 76th EAGE Conference and Exhibition 2014 (Amsterdam, 16-19 June 2014). – 5 p. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/262910824_Microtremor_Analysis_in_Seismic_Reflection_Data_for_Identification_of_Oil_and_Gas_Reservoirs (дата обращения: 13.05.2022). DOI:10.3997/2214-4609.20141562.

References

1. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. Prognoz zalezhei UV po kharakteristikam mikroiseism pri seisemorazvedochnykh rabotakh MOGT [Forecast of hydrocarbon deposits based on microseismic characteristics during seismic exploration works of the CDP-method]. *Geo-Sibir*. 2007;5:179–183.
2. Dyakonov B.P., Faizullin I.S. Reaction of fractured block structures towards seismoacoustic treatment and natural vibrations. Part 1. Fractures evolution under man-induced and natural loads. *Russian Geophysics*. 2009;3:5–11.
3. Dyakonov B.P., Faizullin I.S. Reaction of fractured block structures towards seismoacoustic treatment and natural vibrations. Part 2. Fractures interaction mechanisms. *Russian Geophysics*. 2009;4:9–15.
4. Kaptanovskaya O.O., Inyushkina A.A., Geideko T.V. Izuchenie geologicheskogo stroeniya Tareiskoi ploshchadi v predelakh tsentral'noi chasti Taimyrskogo poluostrova s tsel'yu vydeleniya novykh poiskovykh ob'ektov [Study of the geological structure of the Tareyskaya Square within the central part of the Taimyr Peninsula in order to identify new search objects]. In: Aktual'nye problemy razvitiya TEKH regionov Rossii i puti ikh resheniya – RosgeONEFTEGAZ: sbornik trudov 14-i konferentsii (Gelendzhik, 27-31 May 2019). P.53–56. Available at: <https://ngtp.ru/publication/sborniki/RosgeoOilGas2019.pdf> (accessed 13.05.2022).
5. Kozlov E.A. Modeli sredy v razvedochnoi seismologii [Environmental models in exploratory seismology]. Tver': GERS; 2006. 480 p.
6. Sadovskii M.A., Mirzoev K.M., Negmatullaev S.Kh., Salomov N.G. Vliyanie mekhanicheskikh mikrokolobanii na kharakter plasticheskikh deformatsii materialov [Influence of mechanical micro-vibrations on the nature of plastic deformations of materials]. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 1981;6:32–42.
7. Serdyukov S.V., Kurlenya M.V. Seismic stimulation of oil reservoirs. *Russian Geology and Geophysics*. 2007;48(11):1231–1240. DOI: 10.1016/j.rgg.2007.10.002.
8. SLONG: trademark certificate 493591 Russian Federation; № 2012723084; date of filing 09.07.2012; prolonged until 09.07.2032; date of publication 14.12.2021, Bull. № 24.
9. Method of seismic exploration: patent of invention 2445650 Russian Federation; № 2010113942/28; date of filing 09.04.2010; date of publication 20.03.2012, Bull. № 8. 13 p.
10. Faizullin I.S., D'yakonov B.P., Khisamov R.S., Muslimov R.Kh., Kutsenko N.V. O tekhnologii seisemoakusticheskogo vozdeistviya na obvodnennyye neftyanye plasty [On the technology of seismoacoustic impact on waterlogged oil reservoirs]. *Tekhnologii seisemorazvedki*. 2006;3:86–89.
11. Fayzullin I.S., Seregin A.V., Volkov A.V., Fayzullin T.I. Estimation of the length of the lateral sections of the presence of hydrocarbons according to the seismic location of oil and gas (SLONG). *Geoinformatika*. 2020;4:33–37.
12. Hogojev E.A., Chichinina T.I., Vedernikov G.V. Hydrocarbon Microtremors: A Method of Microseismic Analysis with Conventional Seismic Data 2D/3D. In: Geomodel'2015: sbornik dokladov 17 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Gelendzhik, 7–10 September 2015). 5 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/300248193_Sum_uglevodorodov_ili_metod_analiza_mikrosejsm_po_obycnym_dannym_sejsmorazvedki_2D3D (accessed 13.05.2022). DOI:10.3997/2214-4609.201413966.
13. Chichinina T.I., Hogojev E.A., Reyes-Pimentel A. Microtremor Analysis in Seismic Reflection Data for Identification of Oil and Gas Reservoirs. In: Conference Proceedings, 76th EAGE Conference and Exhibition 2014 (Amsterdam, 16-19 June 2014). 5 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/262910824_Microtremor_Analysis_in_Seismic_Reflection_Data_for_Identification_of_Oil_and_Gas_Reservoirs (accessed 13.05.2022). DOI:10.3997/2214-4609.20141562.

Статья поступила в редакцию 30.03.2022, одобрена после рецензирования 09.04.2022, принята к публикации 01.06.2022.
The article was submitted 30.03.2022; approved after reviewing 09.04.2022; accepted for publication 01.06.2022.

Информация об авторах

Файзуллин Ирик Султанович

Доктор физико-математических наук, профессор
Главный научный сотрудник отделения геофизических исследований ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии нефти и газа»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: slbo-slong@mail.ru

Серегин Александр Владимирович

Старший научный сотрудник отделения геофизических исследований ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии нефти и газа»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: alexandr.sereg@mail.ru

Волков Антон Владимирович

Ведущий геофизик отделения геофизических исследований ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии нефти и газа»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: antona1@yandex.ru

Файзуллин Тимур Иркинович

Геофизик I категории отделения геофизических исследований ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии нефти и газа»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: fatimur@yandex.ru

Information about authors

Irik S. Fayzullin

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Chief Research worker of Geophysical Research Division of All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: slbo-slong@mail.ru

Aleksandr V. Seregin

Senior Research Worker of Geophysical Research Division of All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
E-mail: alexandr.sereg@mail.ru

Anton V. Volkov

Leading Geophysicist of Geophysical Research Division of All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: antona1@yandex.ru

Timur Ir. Fayzullin

1st Category Geophysicist of Geophysical Research Division of All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: fatimur@yandex.ru