



УДК (550.834+550.34.09):550.82

## О МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОМ ОТКЛИКЕ СРЕДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Е. А. Хогоев<sup>1</sup>, Е. Е. Хогоева<sup>1,2</sup>, М. Л. Шемякин<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия; <sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Приведены результаты анализа спектра микросейсмического шума, выделяемого на сейсмограммах стандартной сейсморазведки на трассах с большими удалениями от пункта взрыва. Установлено явление микросейсмического отклика среды: усиление тех же частот, что регистрируются в невозмущенном поле микросейсм, которое регистрируется после прибытия основной пачки волн, генерированных взрывом. Определены оптимальные параметры окна анализа для выделения микросейсмического отклика геосреды, возникающего после прохождения генерированных взрывом волн. Приведен пример использования микросейсмического отклика среды при поисках месторождений углеводородов.

**Ключевые слова:** пассивная сейсмика, микросейсм, сейсмограммы, сейсмическая эмиссия.

## ON THE MICROSEISMIC MEDIUM RESPONSE AND POSSIBILITY OF ITS USE IN THE EXPLORATION OF HYDROCARBON FIELDS

E. A. Khogoev<sup>1</sup>, E. E. Khogoeva<sup>1,2</sup>, M. L. Shemyakin<sup>2</sup><sup>1</sup>A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia; <sup>2</sup>National Research Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

The article presents spectral analysis results of microseismic noise identified on seismogram traces of standard seismic surveys on long offsets. The phenomenon of microseismic medium response is revealed, i. e. amplification of the same frequencies that are recorded in the undisturbed microseism field, namely, in the field recorded after the arrival of the main wave packet generated by the explosion. Optimal parameters of the analysis window are determined to distinguish the microseismic response of a geological medium that occurs after the propagation of waves generated by the explosion. An example of using the microseismic medium response when searching for hydrocarbon fields is given.

**Keywords:** passive seismic, microseisms, seismograms, seismic emission.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-80-84

Одно из направлений пассивной сейсмики составляют методы, основанные на картировании интенсивности микросейсм для оконтуривания аномальных зон сейсмической эмиссии при поиске нефтегазовых месторождений.

Наиболее известна в этой области технология разведки АНЧАР и ее вариант НСЗ, работающие в диапазоне инфранизких частот (2–7 Гц) [1, 3]. Вместе с тем имеется достаточно фактов генерации микросейсмических шумов нефтегазовой залежью в сейсмическом диапазоне частот [2, 7, 8].

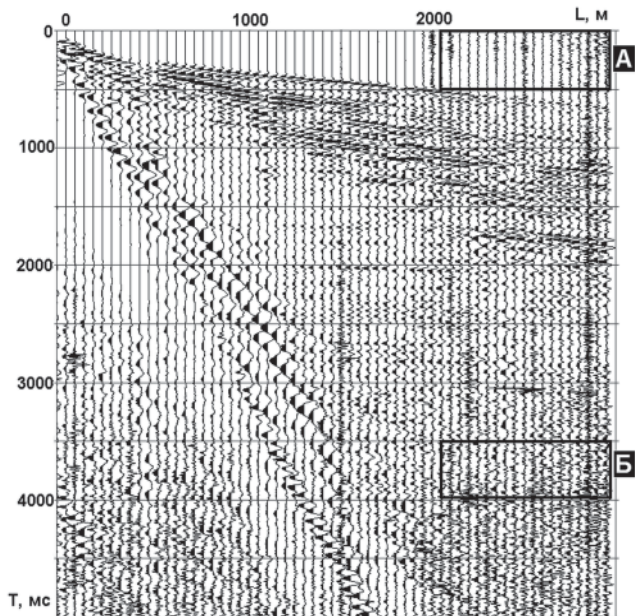
Возможность обнаружения залежей по эмиссии в сейсмическом диапазоне частот открывает перспективу использования огромного массива полевых материалов сейсморазведки для переработки и получения новых данных о среде. На первом этапе развития технологии исследования микросейсм на сейсморазведочном материале использовались участки трасс до первых вступлений волн от взрыва. При удалении пункта приема от источника более чем на 1,8–2 км (в зависимости от скоростного разреза) приблизительно первые 0,5 с записывается микросейсмический шум вместе с техногенными и природными помехами. Как правило, интервал группы составляет 50 м, т. е. плотность наблюдений на порядок выше, чем при специальном низкочастотном исследовании АНЧАР, что позволя-

ет отслеживать изменение спектра микросейсм по профилю и выделять участки регулярных спектральных аномалий [4, 5, 9–11].

Разработанная технология основывается на построении осредненного спектра микросейсм по профилю. После отбраковки трасс, на которых среднеквадратичная амплитуда сигнала превышает таковую по всему профилю, по известному критерию  $3\sigma$  для каждой трассы рассчитывается амплитудный спектр. Затем спектры усредняются в точках приема. При сейсморазведочных работах методом многократных перекрытий запись в каждой точке приема производится десятки раз, что дает возможность накопить представительную выборку для осреднения.

Определим, какие участки сейсмограмм, кроме начала трасс при больших удалениях, допустимо использовать для анализа микросейсмических шумов. Мы используем данные по региональному сейсмопрофилю 80741999, проходящему близ Берябинского месторождения газа, вдоль левого берега р. Ангара. Продолжительность записи 10 с,  $dt = 2$  мс, шаг по приемникам  $dx = 50$  м, до 118 трасс в сейсмограмме, т. е. удаления  $L$  до 2900 м. Протяженность профиля 68 км. В инт. 10–20 км он пересекает разломную зону, к которой приурочено Берябинское месторождение. Длина трасс в отличие от обычной (4–5 с) позволяет провести расчеты при

нескольких значениях начального времени окна  $T_0$  от 0 до 9,5 с. Длина окна анализа по времени во всех случаях около 0,5 с (256 отсчетов). Фрагмент типичной сейсмограммы приведен на рис. 1. Для примера прямоугольниками выделены два окна анализа:  $L_0 = 2000$  м,  $T_0 = 0$  с (А),  $T_0 = 3,5$  с (Б). Далее на рисунках и в тексте указывается граничное (минимальное) удаление, с которого в расчет попадают трассы с удалением  $L$  таким, что  $|L| > L_0$ .



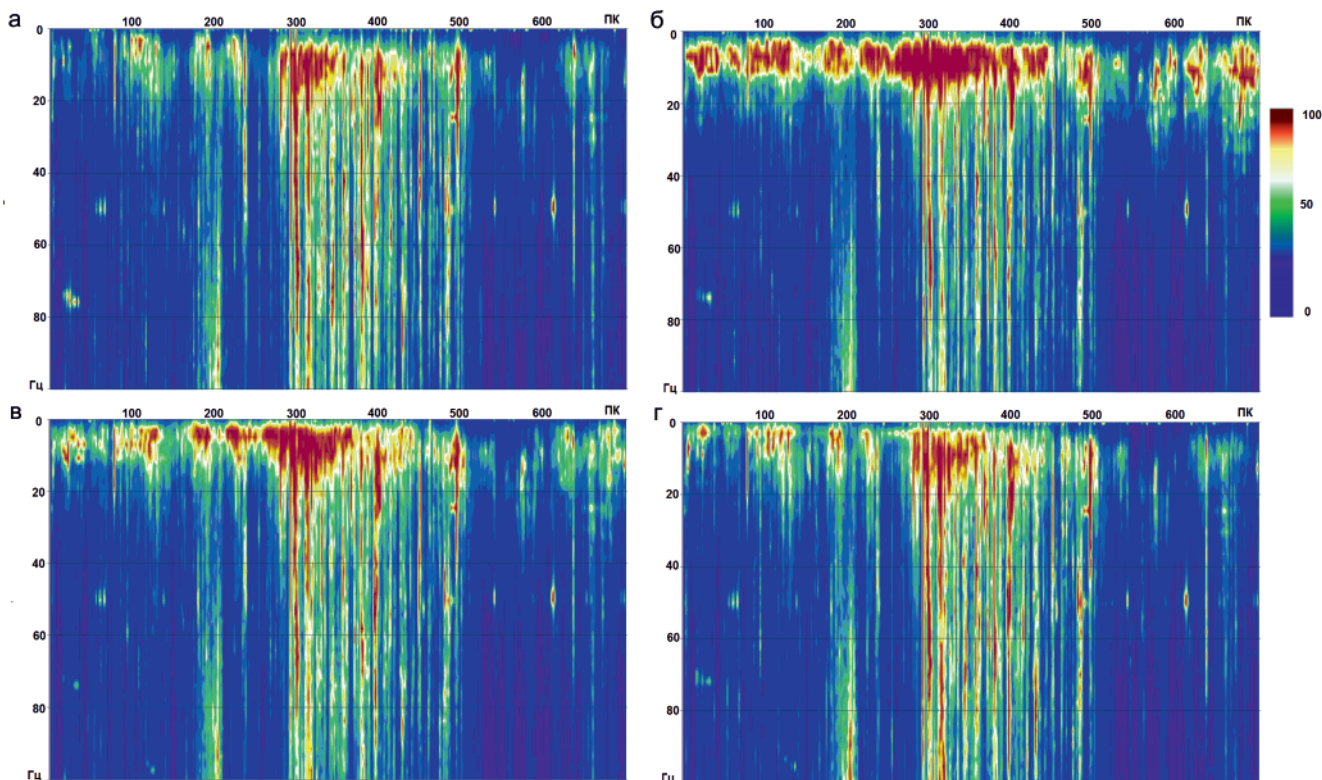
**Рис. 1.** Фрагмент типичной сейсмограммы, прямоугольниками (А, Б) выделены примеры окон анализа микросейсмического шума. Визуализация с АРУ, окно 1000 мс

Базовым мы полагаем результат при  $T_0 = 0$  с. В этом случае волновое поле при  $L > 2000$  м свободно от волн, генерированных взрывным источником, поскольку за 0,5 с они еще не достигли приемников на таком расстоянии.

На рис. 2 приведены примеры получаемых осредненных спектров микросейсм при  $L_0 = 2000$  м с различным временем начала окна анализа, базовый результат – на рис. 2, а. Очевидно, существует локальная аномалия спектра на ПК 300–320 с максимумом на частоте, близкой к 10 Гц. Эта аномалия более выражена при значениях  $T_0$  3,5 и 5 с (см. рис. 2, б, в). На поздних временах  $T_0 = 9,5$  с результат практически неотличим от базового (см. рис. 2, г). Координаты аномалии соответствуют зоне пересечения профилем глубинного разлома.

Рассмотрим важный для нас вопрос о том, насколько изменяется разрешенность спектральной аномалии по различным временным окнам. Зафиксируем удаление  $L_0 = 2000$  м и при  $T_0$  0, 3,5 и 9,5 с получим осредненный спектр в интервале 300–320 пунктов приема (15–16 км профиля). На этом участке профиля на рис. 2 наблюдается небольшая локальная аномалия спектра. Результат расчетов приведен на рис. 3. Наблюдается один максимум около 10 Гц. При  $T_0 = 0$  и  $T_0 = 9,5$  с отмечается превышение в максимуме по сравнению со значениями в интервале 30–40 Гц примерно в 2 раза. При  $T_0 = 3,5$  с это превышение достигает 5, что свидетельствует о существенном росте разрешенности аномалии.

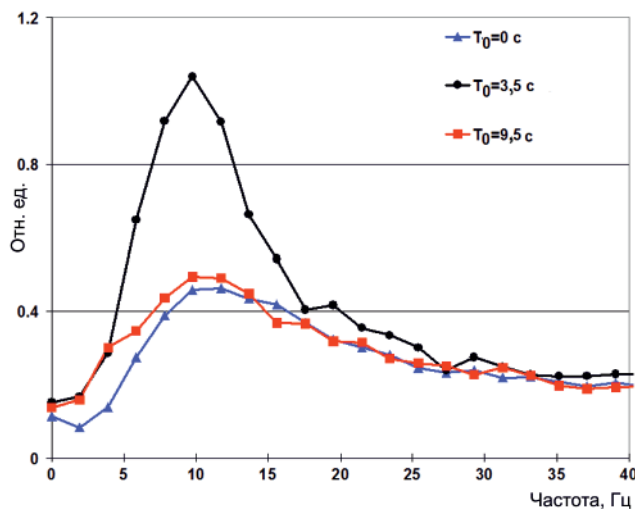
Наше предположение заключается в том, что относительное увеличение максимума в экстрему-



**Рис. 2.** Осредненный спектр микросейсм по фрагменту профиля,  $L_0 = 2000$  м. Влияние времени начала окна анализа  $T_0$  (с) на результат расчета осредненного спектра по профилю: а – 0, б – 3,5, в – 5, г – 9,5

ме вызвано микросейсмическим откликом среды после прохождения волн от взрыва. Возможно, сейсмическая эмиссия связана с залежью углеводородов либо вызвана резонансами трещиноватой среды в зоне разлома. В любом случае это новая дополнительная информация о среде, получаемая по результатам стандартной сейсморазведки. Поскольку данными являются микросейсмические шумы, генерируемые в геологической среде, а не волны, вызванные искусственным источником, результаты не зависят от данных структурной сейсморазведки.

Нами исследованы спектры микросейсм при сдвигающемся начале



**Рис. 3.** Спектры микросейсм при различных значениях параметра  $T_0$ . Спектр усреднен в интервале пунктов приема 300–320

окна анализа по времени на больших удалениях. Результаты показывают, что спектры, рассчитанные при  $T_0 = 0$  и  $9,5$  с ( $L_0 = 2000$  м) практически неразличимы, т. е. влияние взрывного воздействия полностью исчезло. Отмечено явление микросейсмического отклика среды – усиление тех же частот, что регистрируются в невозмущенном поле микросейсм, в поле, зарегистрированном после прибытия основной пачки генерированных взрывом волн. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальными параметрами окна анализа, обеспечивающими наибольшую разрешенность для конкретного разреза, являются  $L_0 = 2000$  м,  $T_0 = 3,5$  с. Для других случаев они могут варьироваться в зависимости от скоростного строения среды. Основное требование к окну анализа – его положение на сейсмограмме после прихода основного цуга отраженных волн и до прихода поверхностной волны.

В качестве примера возможного использования эмиссионного отклика среды, выражающегося в спектральных аномалиях микросейсм, рассмотрим следующий случай.

Тэтэровский лицензионный участок (лицензией обладает ОАО «Газпром») расположен в Тунгусско-Чунском районе Эвенкийского АО Красноярского края, в среднем течении р. Тэтэрэ. Тэтэрская пло-

щадь занимает западную часть Непско-Ботубинской нефтегазоносной области, прогнозные извлекаемые ресурсы категории  $D_1$  Тэтэрского участка составляют 150 млн т условного топлива. Перспективы залежи связываются с терригенными песчаниками ванаварской свиты (верхний венд) [6]. На участке намечено бурение трех поисково-оценочных скважин с проектной глубиной 2500 м.

К 2009 г. проведены сейсморазведочные работы по ряду профилей, для пробной обработки взяты субширотные профили 3, 4, 5, 7, 8 и два субмеридиональных – 10, 11. Их расположение на площади и рекомендуемые точки заложения поисково-оценочных скважин показаны на рис. 4. Одна из точек заложения скв. Тэт-1 находится над куполом антиклинального поднятия, близко от пересечения профилей 4 и 10. Бурение этой скважины закончено в 2015 г. При ее исследовании обнаружены водонасыщенные пласты без признаков углеводородов.

Обработка данных по имеющимся профилям МОГТ проводилась следующим образом. В первую очередь, рассчитывались амплитудные спектры сейсмотрасс во временном окне 0–512 мс (256 отсчетов) при удалениях свыше 2 км (до первых вступлений). Затем усреднялись спектры в каждом пункте приема. На следующем этапе рассчитывался вес среднечастотных микросейсм в общем спектре, т. е. вычислялось отношение ( $S_1$ ) суммы спектра в интервале 0–40 Гц к сумме всего спектра 0–250 Гц. По описанному графу обработки рассчитывались спектры сейсмотрасс в инт. 3500–4012 мс при тех же удалениях, результат – отношение ( $S_2$ ) суммы спектра в интервале 0–40 Гц к сумме всего спектра для поздних интервалов времени после прохождения первичных волн от взрыва. Далее составлялась карта отношения  $K = S_2/S_1$  (рис. 5).

В результате этих операций мы рассчитывали получить коэффициент изменения доли среднечастотных микросейсм после воздействия взрыва на среду в сравнении с расчетами по невозмущенному полю (до первых вступлений). При усилении эмиссии среднечастотных микросейсм после прохождения волн от взрыва коэффициент  $K$  должен существенно превышать единицу.

Рассмотрим результаты нашей обработки. Как следует из рис. 5, в центральной и западной частях участка  $K = 2–3$ , зона вытянута с запада на восток и лежит между профилями 4 и 5. Аномалия наследуется на двух субмеридиональных профилях (10 и 11), что позволяет уверенно говорить о достоверности результатов. При сравнении положения разломов на рис. 4 видно, что зона повышенных значений  $K$  расположена между двумя глубинными разломами, которые могут оказывать существенное влияние на миграцию флюидов и, соответственно, на процессы накопления углеводородов.

Как уже отмечалось, поисково-оценочная скв. Тэт-1 расположена над куполом антиклинали, в точке пересечения профилей 4, 10 и глубинного

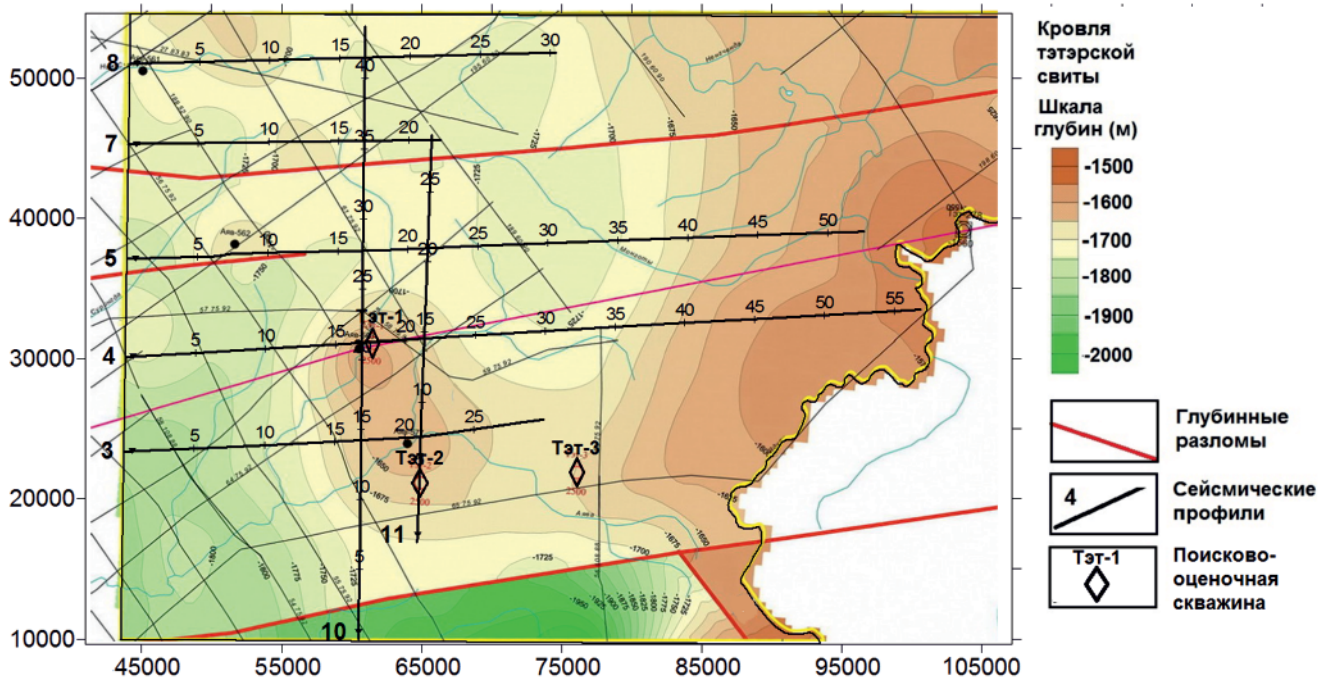


Рис. 4. Схема части Тэтарского лицензионного участка с нанесенными сейсмическими профилями и известными глубинными разломами

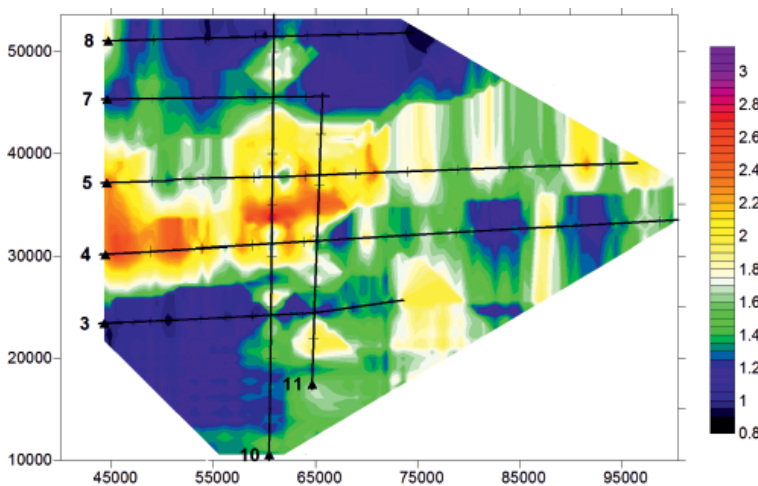


Рис. 5. Распределение коэффициента усиления эмиссии среднечастотных микросейсм после прохождения первых волн от взрыва по Тэтарскому лицензионному участку

разлома. По нашим выводам, залежь следует искать на северном крыле антиклинали в 4–5 км севернее точки заложения указанной скважины.

### Выводы

Наше исследование нацелено на выявление новых поисковых признаков нефтегазовых залежей. На одном примере проиллюстрированы найденные оптимальные параметры окна анализа (время начала окна анализа и удаления) сейсмограмм МОГТ для определения спектральных характеристик микросейсмического шума. Далее с использованием этих параметров обработаны сеймопрофили МОГТ по одной из перспективных площадей, на которой определено положение зоны повышения доли среднечастотных микросейсм в результате микросейсмического отклика среды. Результаты могут быть полезны при микросейсмическом районировании нефтегазовых площадей в целях прогноза нефтегазовых залежей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнов С. Л., Кузнецов О. Л., Востров Н. Н. Технологии АНЧАР 10 лет // Технологии сейсморазведки. – 2004. – № 2. – С. 127–131.
2. Беляков А. С., Лавров В. С., Николаев А. В. Акустический резонанс нефтяной залежи // Докл. РАН. – 2004. – Т. 397, № 1. – С. 101–102.
3. Биряльцев Е. В., Вильданов А. А., Ероина Е. М. и др. Моделирование эффекта АНЧАР в метода низкочастотного зондирования // Технологии сейсморазведки. – 2010. – № 1 – С. 31–40.
4. Ведерников Г. В., Хогоев Е. А. Прогноз залежей УВ по характеристикам микросейсм при сейсморазведочных работах МОГТ // Сб. матер. междунар. науч. конгр. «Гео-Сибирь-2007». – Новосибирск, 2007. – С. 179–183
5. Ведерников Г. В., Хогоев Е. А. Уточнение блоковых моделей залежей углеводородов по характеристикам микросейсм // Сб. матер. 10-й гео-



физ. науч.-практ. конф. Тюмень-ЕАГО. – Тюмень, 2006. – С. 17–22.

6. **Возможности** открытия новых крупных залежей нефти в главном поясе газонефтеносности Лено-Тунгусской провинции / Н. В. Мельников, А. А. Вымятин, П. Н. Мельников, Е. В. Смирнов // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5–6. – С. 701–720.

7. **Вынужденные** колебания трещиноватоблочных флюидонасыщенных слоев при вибросейсмических воздействиях / А. С. Алексеев, В. А. Цецохо, А. В. Белоносова и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 6. – С. 3–12.

8. **Рапопорт М. Б.** Сейсмическая неупругость и сейсмическая нелинейность залежей нефти и газа // Геофизика. – 2013. – № 3. – С. 75–80.

9. **Хогоев Е. А.** О связи среднечастотных микросейсм с газовой залежью // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. Т. 3. – Новосибирск: СГА, 2014. – С. 138–142.

10. **Хогоев Е. А.** Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ “SanMcs” № 2008613961 от 19.08.2008

11. **Хогоев Е. А.** Технология изучения геодинамических шумов в нефтегазовых залежах // Сейсмические исследования земной коры: сб. докл. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 23–25 ноября 2009 г.). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – С. 203–209.

## REFERENCES

1. Arutyunov S.L., Kuznetsov O.L., Vostrov N.N. *Tekhnologii ANCHAR10 let* [10 years of the ANCHAR Technology]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic technologies*, 2004, no. 2, pp. 127–131. (In Russ.).

2. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V. The acoustic resonance of an oil pool. *Doklady Earth Sciences*, 2004, vol. 397, no. 1, pp. 710–711.

3. Biryaltsev E.V., Vildanov A.A., Eronina E.M., et al. [Simulation of the ANCHAR effect in the method of low-frequency sounding]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic technologies*, 2010, no. 1, pp. 31–40. (In Russ.).

4. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [HC forecast for microseismic characteristics of CDP seismic surveys].

*Sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Geo-Sibir'-2007»* [Collection of materials of the international scientific congress “Geo-Siberia-2007”]. Novosibirsk, 2007, pp. 179–183. (In Russ.).

5. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [Refinement of block models of hydrocarbon pools by characteristics of microseisms]. *Sbornik materialov 10-y geofizicheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Tyumen-EAGO* [Collection of materials of the 10<sup>th</sup> Geophysical Scientific and Practical Conference Tyumen-EAGE]. Tyumen, 2006, pp. 17–22. (In Russ.).

6. Melnikov N.V., Vymyatnin A.A., Melnikov P.N., Smirnov E.V. Predicted new large oil pools in the main petroiferous belt of the Lena-Tunguska Province. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 5–6, pp. 544–561.

7. Alekseev A.S., Tsetsokho V.A., Belonosova A.V., et al. Forced oscillations of crack-block fluid-saturated layers during vibroseismic action. *Journal of Mining Sciences*, 2001, no. 6, pp. 3–12.

8. Rapoport M.B. Seismic inelasticity and seismic nonlinearity of oil and gas reservoir. *Geophysics*, 2013, no. 3, pp. 75–80.

9. Khogoev E.A. [On the connection of mid-frequency microseisms with a gas pool]. *Interekspos GEO-Sibir'-2014. X Mezhdunar. nauch. kongr., 8–18 aprelya 2014 g., Novosibirsk: Mezhdunar. nauch. konf. «Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Geoekologiya»: Sb. materialov v 4 t.* [Interexpo GEO-Siberia-2014. X Intern. scientific Congr., April 8–18, 2014, Novosibirsk: Intern. scientific conf. “Subsoil use. Mining. Trends and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Geoecology”: Col. materials in 4 vols]. Novosibirsk, SGA Publ., 2014, vol. 3, pp. 138–142. (In Russ.).

10. Khogoev E.A. *Svidetel'stvo o gos. registratsii programmy dlya EVM “SanMcs”* [Certificate of State registration of the “SanMcs” computer program]. No 2008613961 by 19.08.2008. (In Russ.).

11. Khogoev E.A. [Technology of studying geodynamic noise in oil and gas pools]. *Seysmicheskie issledovaniya zemnoy kory: Sb. dokl. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Seismic studies of the earth's crust: Col. reports All-Russian Scientific Conference]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2011, pp. 203–209. (In Russ.).

© Е. А. Хогоев, Е. Е. Хогоева, М. Л. Шемякин, 2019