

## ВЛИЯНИЕ ЗОНЫ МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ МИКРОСЕЙСМ

В статье представлены результаты исследования влияния мощности зоны малых скоростей в точках наблюдения на спектральный состав микросейсм. Приведены зависимости частоты одного из спектральных максимумов от альтитуды в точке наблюдения. Предложен метод дифференциации спектральных максимумов, вызванных зоной малых скоростей от максимумов, вызванных наличием залежей углеводородов в разрезе. Сделано предположение о возможности использования спектрального анализа микросейсм при разведке подземных вод.

*Ключевые слова:* зона малых скоростей, микросейсм, спектр, спектральный максимум, низкочастотное сейсмическое зондирование.

### Введение

Актуальность вопроса разбраковки структур выявленных сейсморазведкой по их нефтеперспективности очень высока. В настоящее время существует множество методик отвечающих на данный вопрос, с различной долей эффективности. Одна из групп технологий, применяющихся в последнее время во все возрастающем объеме, основана на изучении эффекта увеличения над нефтегазовыми залежами амплитуд естественного микросейсмического фона. Эффект наличия аномалий в низкочастотной части спектра естественных микросейсм над нефтегазо-

выми залежами известен достаточно давно (Графов и др., 1996) и наблюдается в различных нефтегазовых регионах (Dangel, 2003). На данном эффекте основан ряд методов поиска и разведки нефтегазовых залежей (Графов и др., 1996; Dangel, 2003), в том числе и метод Низкочастотного Сейсмического Зондирования (НСЗ).

Форма спектра микросейсм, согласно теоретическому обоснованию технологии НСЗ (Biral'tsev et al., 2006) определяется, главным образом, строением земной коры и осадочного чехла, его мощностью, наличием в данной толще неоднородностей (залежей нефти или газа, текто-

Окончание статьи В.М. Конохова, Е.В. Чекалина «Об особенностях процессов...»

не насосного узла сопровождается изменением относительного расхода  $q$  смеси ступеней. В целом же, все они работают в околооптимальном режиме.

Выход скважины на установившийся рабочий режим в рассматриваемом примере происходит примерно через 20 часов. Интересно отметить, что его характеристики хорошо согласуются с соответствующими характеристиками, полученными при решении обратной задачи для квазистационарного случая при том же значении устьевого давления и распределении фаз в пласте. Этот факт позволяет проводить предварительный экспресс-анализ существования рабочего режима скважины, оборудованной УЭЦН конкретного типа, а в противном случае – осуществить подбор насосного оборудования, глубины его спуска в скважину, при необходимости – установить штуцер на фонтанной арматуре и т.д. для обеспечения эффективной работы механизированного подъемника.

### Литература

- Конохов В.М. Дисперсные потоки в нефтяных скважинах. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 1990. 140.
- Ляпков П.Д. Способ пересчета характеристики центробежного насоса с воды на эмульсию. *Нефтяное хозяйство*. № 5. 1979. 38-40.
- Нигматулин Р.И. *Динамика многофазных сред*. Ч. I. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. 464.
- Саламатин А.Н. Математические модели дисперсных потоков. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 1987. 172.
- Технологический регламент ОАО «САМАРАНЕФТЕГАЗ» по эксплуатации УЭЦН*. Версия 4.0. Самара. 2007. 41.

Чекалин А.Н., Конохов В.М., Костерин А.В. Двухфазная многокомпонентная фильтрация в нефтяных пластах сложной структуры. Казань: Казан. гос. ун-т. 2009. 180.

### V.M. Konyukhov, Yu.A. Volkov, A.N. Chekalin. Features of heat and mass transfer under putting on operation of producing oil well equipped with electric centrifugal pump.

Thermo- and hydrodynamic transient processes occurred under putting on operation of the producing oil well equipped with centrifugal electric pump are studied by mathematical and computer simulations. The results of computations are analyzed.

*Keywords:* mathematical modeling, heat and mass transfer, filtration, transient phenomena, multiphase flow, producing well, electric centrifugal pump, oil reservoir.

### Владимир Михайлович Конохов

Д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной математики Казанского государственного университета. Научные интересы: численные методы, многофазные течения в пористых средах и скважинах.

### Анатолий Николаевич Чекалин

Д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник НИИММ им. Н.Г. Чеботарева Казанского государственного университета. Научные интересы: численные методы, многофазная многокомпонентная фильтрация.

420080, Россия, Казань, ул. Университетская, 17. Тел.: (843)292-75-24.

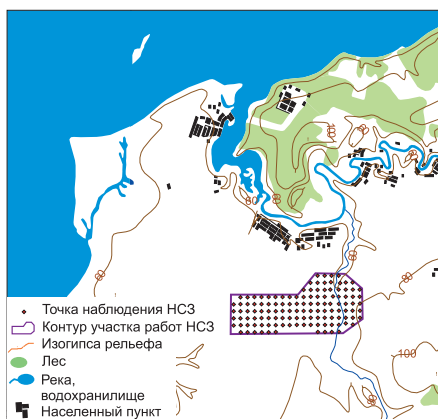


Рис. 1. Обзорная карта территории исследования.

нических нарушений), влиянием верхней части разреза (ВЧР) и зоны малых скоростей (ЗМС) на пути распространения и в пункте наблюдения микросейсмических волн, а также спектром мощных техногенных источников на территории исследования (Рыжов, 2009). С учетом этого спектры, полученные в точке наблюдения, являются суммарной компонентой всех перечисленных факторов и отображают амплитудно-частотную характеристику, как источников сигнала, так и среды.

Техногенные помехи, несмотря на их высокую интенсивность, как показано в (Рыжов, 2009), благодаря высокой степени монохромности в большинстве случаев легко удаляются из суммарного микросейсмического сигнала. Изменения, вызванные наличием ЗМС и ВЧР, не обладают данной особенностью и для их учета необходимо применять другие методы. Прежде всего, необходимо выявить, каким образом наличие зоны малых скоростей отражается в суммарном спектре микросейсмического сигнала. Один из видов данного влияния был исследован в работе (Биряльцев, 2008) и заключался в незначительном изменении частоты максимума, связанного с отражениями микросейсм от границы осадочный чехол-фундамент. Данные изменения вызваны изменением суммарного времени пробега сейсмической волны между дневной поверхностью и отражающим горизонтом при изменении толщины малоскоростной ЗМС. Это вывод можно экстраполировать и на максимумы вызванные наличием за-

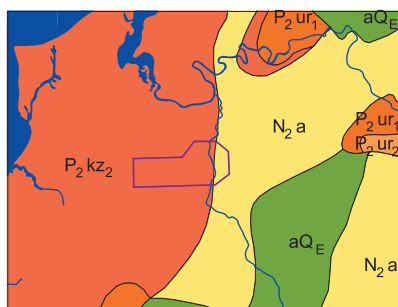


Рис. 2. Геологическая карта территории исследования.

лежей углеводородов, их частота также будет меняться в зависимости от альтитуды точки наблюдения.

Вышеуказанное влияние ЗМС проявляется интегрально с остальным массивом осадочного чехла. Вместе с тем, согласно теоретическим представлениям, в спектре микросейсм должны проявляться и собственные моды волновода дневная поверхность – граница ЗМС (Nakamura, 1989) на тех же частотах, что и от глубинных отложений.

В спектрах микросейсм в ряде случаев авторами наблюдаются высокоамплитудные максимумы в области 4 – 12 Гц. Эти максимумы значительно нестабильны по частоте, ширине максимума и амплитуде по площади исследования и существенно затрудняют обработку и интерпретацию спектров микросейсм при поисково-разведочных работах на залежи углеводородов. В результате проводимых работ, по основной задаче методики НСЗ – определения перспектив нефтеносности территории, на одной из площадей исследований был выявлен схожий максимум. С целью определения его возможной природы были проведены исследования зависимости его поведения от рельефа местности и геологической обстановки.

### Объект исследования и методика работ

Территория исследования расположена в прибрежной зоне Куйбышевского водохранилища (Рис. 1). Восточная часть участка в субмеридиональном направлении рассечена рекой, которая разделяет его на пологую и возвышенную части. Перепад высот с запада на восток составляет порядка 15 м, пологая часть участка западная (Рис. 5).

В тектоническом плане территория исследования по поверхности кристаллического фундамента приурочена к северной части Мелекесской впадины, в зоне сочленения ее с Казанско-Кировским прогибом, разделенными между собой крупным региональным глубинным разломом первого порядка – Прикамским. По осадочному чехлу участок расположен в северной части крупного Пичкасско-Бугровского вала сквозного типа (Войтович, Гатиятуллин, 1998), осложняющего Мелекесскую впадину, отраженного по всем горизонтам осадочного чехла.

В соответствии с геологической картой Республики Татарстан западная пологая часть участка работ лежит на отложениях верхнеказанского подъяруса пермской системы (Рис. 2), а восточная возвышенная часть на отложениях неогеновой системы.

Отложения казанского яруса пермской системы представлены переслаиванием карбонатов с различными типами порового пространства, слоистых глин, глинистых алевролитов, мелкозернистых песчаников, мергелей с прослоями оолитовых и пелитоморфных доломитов.

Отложения неогеновой системы представлены переслаиванием глин серых, коричневых с подчиненными прослоями песчаников серых и алевролитов.

Регистрация низкочастотных сейсмических зондирований проводилась на поверхности Земли с помощью комплекта автономных регистраторов сейсмических сигналов, способных регистрировать вертикальную компоненту естественного низкочастотного волнового поля в диапазоне

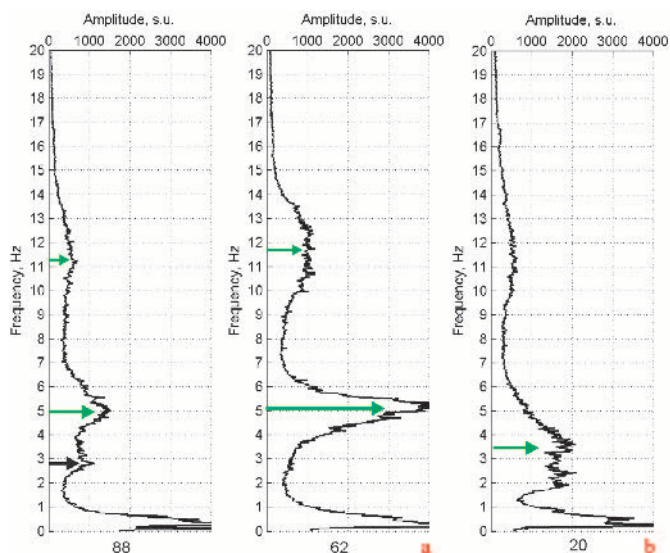


Рис. 3. Характерные типы спектров на участке работ.

частот от 0,5 до 20 Гц. Всего на участке исследования было отписано 123 точки по сети наблюдения 250 x 250 м. Длительность записи составляла не менее 1 часа.

Процедура обработки полевого материала включала в себя анализ сейсмограмм с оценками эффектов искажения, фильтрацию ударных и узкополосных помех, преобразование Фурье для перехода к спектральным плотностям и расчет параметров спектральных максимумов итоговых спектров.

### Результаты

В результате проведенного исследования и анализа морфологии полученных спектров было выделено два характерных типа спектров – А и Б (Рис. 2).

Спектры типа «А» характеризуются наличием нескольких спектральных максимумов в диапазонах частот 2–3 Гц и 5–16 Гц.

Максимум, проявляющийся в диапазоне частот 2–3 Гц (Рис. 3а, отмечен черной стрелкой), в целом имеет слабо выраженную амплитуду и ширину не более 0,8–1 Гц, при этом по своей характеристике он стационарен во времени и пространственно устойчив по частоте. На данной территории этот максимум ассоциируется с поверхностью кристаллического фундамента, являющейся контрастной границей.

Максимумы, наблюдаемые на частотах более 4 Гц (Рис. 3а, отмечены зелеными стрелками), нестабильны как во времени записи, так и пространственно. Для них характерны значительные скачки по ширине и частоте аномалии.

Спектры типа «Б» характеризуются наличием широкой спектральной аномалии в частотном диапазоне от 1 до 4 Гц (Рис. 3б). Аномалия не структурирована и состоит из

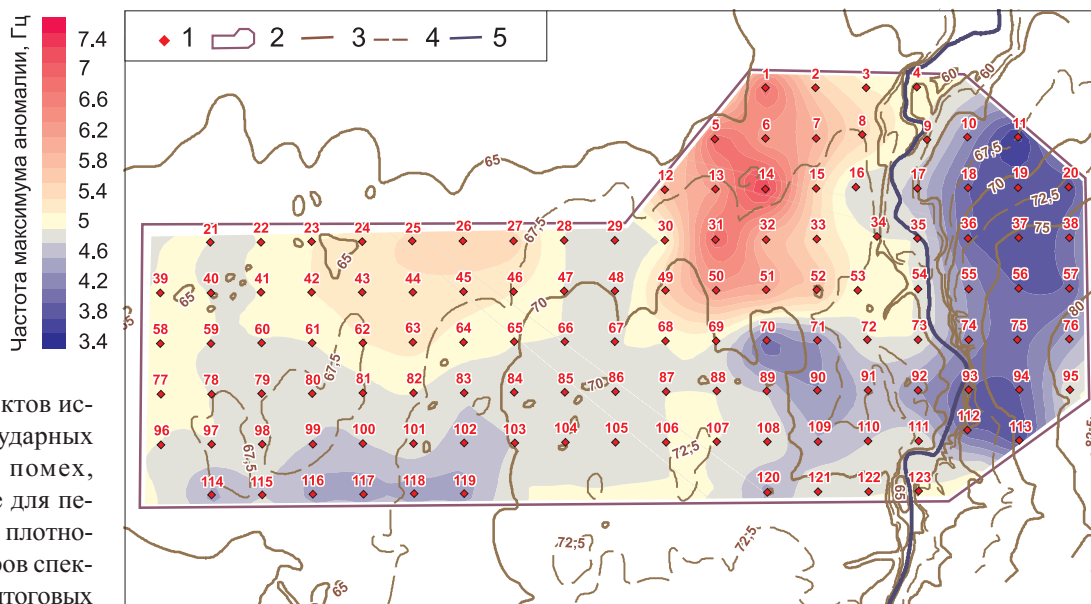


Рис. 5. Карта изменения частоты максимума аномалии в диапазоне 3–10 Гц. 1 – точки НСЗ; 2 – контур участка работ НСЗ. Изогипсы рельефа: 3 – через 5 м, 4 – через 2,5 м, 5 – река.

единой аномалии. Спектры данного типа имеют незначительное распределение по изучаемой территории и в основном встречаются в восточной части территории. Аномалии данного типа являются частным случаем аномалий свыше 4 Гц на спектрах типа «А», что подтверждается результатами сопоставления спектров (Рис. 4) по линии точек наблюдения НСЗ №№ 5-11.

Опираясь на профиль, можно отметить, что от точки к точке происходит постепенное понижение частоты максимума аномалии с 7 Гц до 3,5 Гц, в результате чего спектры типа «А» преобразуются в спектры типа «Б». Такое значительное изменение частоты максимума аномалии на 3,5–4 Гц, учитывая результаты предыдущих исследований (Биряльцев и др., 2008), может быть связано с приповерхностными неоднородностями, так как лишь в данном случае уже при незначительных изменениях времени пробега волны возможны ощутимые изменения по частоте максимума. Вероятнее всего природа данных явлений кроется в верхней части разреза.

С учетом того, что спектры типа А и Б фактически

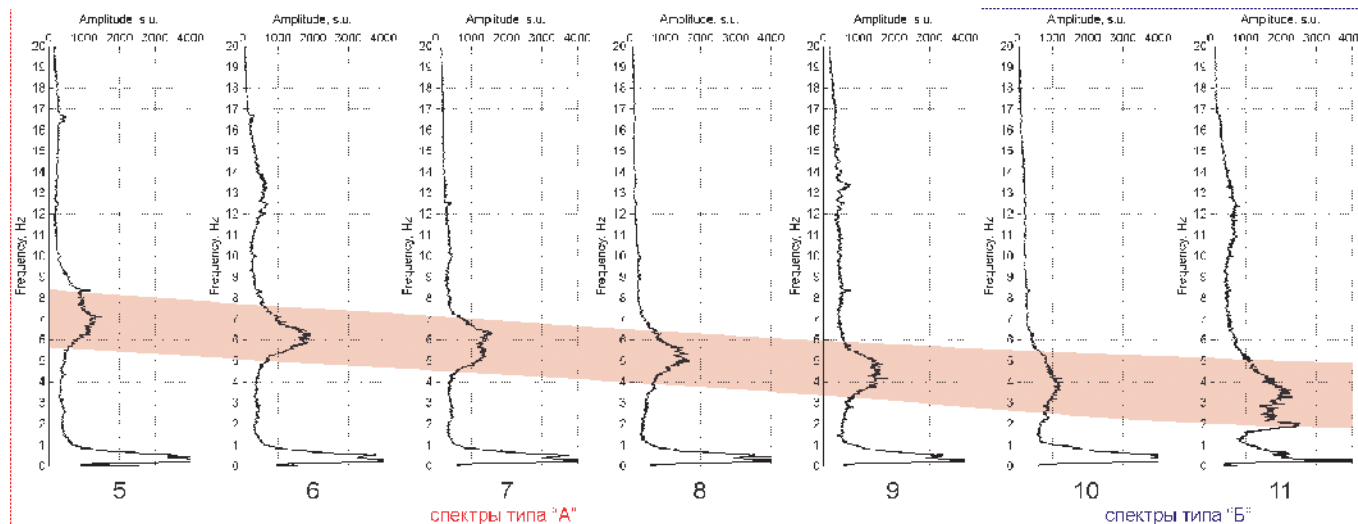


Рис. 4. Изменение частоты максимума аномалии на спектрах НСЗ по профилю точек наблюдения №№ 5–11.

являются одним типом спектра с изменяющейся частотой максимума, построена карта изменения частоты максимума аномалии в диапазоне частот 3 – 10 Гц (Рис. 5) с наложением на нее проекции русла реки и изогипс рельефа территории исследования. Проанализировав площадное изменение частоты спектрального максимума, можно сделать вывод о зональности территории по частоте максимума, причем границей разделяющей территорию на зоны повышенной и пониженной частоты максимума в какой-то мере является русло реки.

При этом отмечается общая тенденция в изменениях частоты максимума и абсолютных отметок рельефа. На повышенных отметках рельефа в восточной и южной частях территории исследования отмечается снижение частоты максимума, а при понижении отметок – повышение частоты.

### Заключение

Можно предположить несколько причин вызывающих данное явление, которые действуют, дополняя друг друга, вызывая в итоге суммарный эффект:

– во-первых, учитывая горизонтальную слоистость геологической среды, с изменением высот рельефа происходит изменение толщи осадочных пород над неоднородностью вызывающей данную аномалию;

– во-вторых, так как русло реки является разделяющей границей, то по разным берегам реки отличаются сейсмомеханические характеристики ЗМС, что в свою очередь подтверждается геологической картой района работ (Рис. 2), и непосредственно различием литологического состава верхней части разреза;

– в-третьих, учитывая близость территории исследования к крупному водохранилищу и наличие в пределах казанского яруса верхней перми карбонатных пород, которые являются легко карстующимися, велика вероятность развития карста на различных глубинах, наличие которого также способно вызвать данные максимумы;

– в-четвертых, можно предположить, что существенный вклад в формирование подобных спектральных максимумов вносят водонасыщенные пласты в верхней части разреза, которые имеют в целом пониженную акустическую жесткость и могут формировать высококонтрастную границу с подстилающим водоупором, необходимую для интенсивных отражений микросейсм.

В любом случае, нестабильные по частоте максимумы обуславливаются неоднородностями в ЗМС и ВЧР, не связаны с перспективами нефтеносности и являются существенной помехой при интерпретации спектров микросейсм при разведке на залежи углеводородов. Для исключения ложных заключений о наличии углеводородов, при анализе спектров микросейсм необходимо анализировать геологическую обстановку участка работ с привлечением гидрологических данных, а также коррелированность изменения частоты наблюдаемых максимумов с рельефом. Спектральные максимумы, имеющие значительные изменения по частоте и отмечающиеся высокой степенью коррелированности с рельефом местности должны быть отнесены на счет влияния ЗМС и неоднородностей в ВЧР, и не учитываться при прогнозировании нефтеносности в районе исследований.

С другой стороны, выявленный эффект может являть-

ся поисковым признаком при поиске мощных водоносных горизонтов. Чтобы убедиться в этом, целесообразно провести опытные работы методом НСЗ на границах выявленных водоносных горизонтов. При положительном результате метод низкочастотного сейсмического зондирования может быть применен и для поисков и оконтуривания резервуаров подземных вод, что является достаточно актуальной задачей для южных регионов России, стран Средней Азии, Ближнего востока и других засушливых и маловодных регионов.

### Литература

Бирыльцев Е.В., Бережной Д.В., Бирыльцева Т.Е., Храменков М.Г. Результаты численного моделирования распространения природных микросейсм в зонах залегания нефтегазовых залежей. *Мат-лы конф.: ГЕОМОДЕЛЬ-2008*. 2008.

Войтович Е.Д., Гатиятуллин Н.С. Тектоника Татарстана. Казань: Изд-во Казан. Ун-та. 1998. 139.

Графов Б.М., Арутюнов С.Л., Казаринов В.Е., Кузнецов О.Л., Сиротинский Ю.В., Сунцов А.Е. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АН-ЧАР. *Геофизика*. №5. 1996. 24-28.

Рыжов Д.А. Обработка микросейсмических сигналов в задаче пассивного низкочастотного сейсмического зондирования Земли. *Дис. к.ф.-м.н.* Казань. 2009.

Birialtsev E.V., I. N. Plotnikova, I. R. Khabibulin, N. Y. Shabalin, The analysis of microseisms spectrum at prospecting of oil reservoir on Republic Tatarstan. *Proceed. of EAGE conf. Russia*. 2006.

Dangel S. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydro-carbon reservoirs. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. № 128. 2003. 135-138.

Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground. *QR RTRI*. Vol. 30. 1989. 25-33.

I.R. Sharapov, E.V. Birialtsev, A.A. Vildanov, I.N. Plotnikova, V.A. Ryzhov. **Influence of weathering zone on a spectral structure of a natural microseism.**

In the paper presents results of investigation of effect of thickness of weathering zone at the observation points on the spectral structure of microseism. Dependences of frequency of one of the spectral peak from altitude in observation point are resulted. The method of differentiation of spectral peaks caused by a weathering zone from peaks caused by a presence the hydrocarbon accumulation in a geological section is offered. The assumption of possibility of use the spectral analysis of microseism for the exploration of underground waters.

Keyword: weathering zone, microseism, spectrum, spectral peak, low-frequency seismic sensing.

*Ильшат Рашитович Шарпов*, ведущий геолог

*Алик Алмазович Вильданов*, к.г.-м.н., гл. геолог

*Василий Александрович Рыжов*, к.ф.-м.н., ведущий программист

ЗАО «Градиент» 420015, Россия, Казань, Большая Красная, 63. Тел./факс. (843)238-32-43.

*Ирина Николаевна Плотникова*

Д.г.-м.н., зав. кафедрой геологии нефти и газа.

Казанский государственный университет, 420008, Россия, Казань, Кремлевская, 18. Тел. (843) 292-62-93.