

УДК 550.342.001.57

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА С ГЛУБИНОЙ

¹⁾Шепелев О.М., ¹⁾Кунаков А.В., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾*НПК «Прогноз» ГУ «Казселезащита» МЧС РК, Алматы, Казахстан*

²⁾*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Алматы, Казахстан*

Приводятся результаты эксперимента по изучению закономерностей изменения динамических характеристик сейсмического шума с глубиной, проведенного в скважине глубиной 2985 м (Алматинская область). Во всем рабочем диапазоне частот выявлено закономерное уменьшение уровня сейсмического шума с глубиной, наиболее сильное в интервале 100 - 500 м. Установлено наиболее существенное различие в уровне спектральной плотности сейсмического шума для диапазона периодов от 0.02 до 0.5 с.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении сейсмического режима крупных промышленных центров чувствительность сейсмических станций ограничена высоким уровнем техногенных помех. Сейсмический шум, связанный с жизнедеятельностью города, в основном состоит из поверхностных волн, интенсивность которых с глубиной убывает, поэтому при использовании глубоких скважин для размещения сейсмометров существенно улучшается соотношение сигнал/шум на сейсмограммах [1]. Сейсмические наблюдения в скважинах получили развитие в конце 50-х годов прошлого столетия, и в настоящее время широко применяются как на станциях, ведущих мониторинг, например, мониторинг ядерных испытаний в рамках ДВЗЯИ, так и на станциях, предназначенных для изучения сейсмического режима локальных участков, связанных со строительством ответственных объектов. Считается, что глубина в 100 м является достаточной для снижения длиннопериодного шума [2, 3]. Однако, для лучшей регистрации сейсмических сигналов, скважины должны пройти через грунт или выветренный поверхностный слой пород и проникнуть в плотные породы низлежащих формаций. Изучение динамических характеристик сейсмического шума, поиск глубины, на которой регистрация сейсмических сигналов будет оптимальной, является весьма актуальной задачей.

Северная часть г. Алматы, расположена в Илийской впадине, мощность осадочных пород достигает

здесь 4 км. Для изучения сейсмического режима г. Алматы и его окрестностей в 70-х годах прошлого века был создан «Алма-Атинский сейсмологический радиотелеметрический полигон», северные станции которого были установлены в глубоких скважинах. Глубина скважин достигала 3238 м (станция Алма-Ата, AAA). Другие скважины полигона имели глубину 800 м (станция Али, ALI) и 2985 м (станция Ново-Алексеевка, NAL) [1].

Известно, что амплитуды объемных сейсмических волн, записанные на свободной поверхности, систематически возрастают до двух раз в зависимости от угла наклона и длины волны. С другой стороны, на определенной глубине деструктивная интерференция между приходящими и отраженными от поверхности волнами может явиться причиной ослабления сигнала. На рисунке 1 приведены сейсмограммы землетрясения 29 декабря 2007 г., $t_0=21-27-24.0$, $\varphi=43.05^\circ$, $\lambda=76.86^\circ$, $m_b=4.5$, зарегистрированные наземной станцией NAL и скважинной станцией NALG, расположенной в том же месте, но в скважине на глубине 670 м.

Из рисунка 1 видно, что на сейсмограммах амплитуды P-волн и S-волн, а также их форма заметно отличаются: максимальные амплитуды продольных волн, замеренные на сейсмических записях станции NAL, в среднем более чем в 2 раза больше, чем по станции NALG.

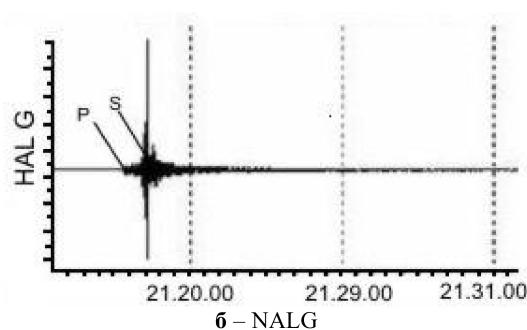
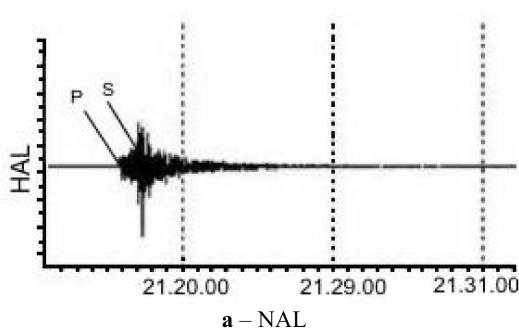


Рисунок 1. Сейсмограммы землетрясения 29 декабря 2007 г.,
 $t_0=21-27-24.0$, $\varphi=43.05^\circ$, $\lambda=76.86^\circ$, $m_b=4.5$. Z-компоненты. Станции: наземная (a) и в скважине (6)

Изучение динамических характеристик сейсмического шума с глубиной, поиск глубины, на которой регистрация сейсмических сигналов будет оптимальной, в настоящее время является очень актуальной задачей.

Эксперименты по изучению динамических характеристик сейсмического шума проводились в 70-е годы прошлого столетия специалистами ИФЗ РАН [1] с использованием скважин Ташкент, Алма-Ата, Чилик и Ново-Алексеевка. Был проведен анализ изменения спектров и амплитуд шума на глубинах до 700 м и на дневной поверхности. Однако в то время на станциях была установлена лишь аналоговая аппаратура, что ограничивало возможности исследований.

С конца 2007 до начала 2008 г. проведены эксперименты по изучению закономерностей изменения динамических характеристик сейсмического шума с

использованием цифровой высокочувствительной аппаратуры и современного математического обеспечения. Работы выполнены в скважине Ново-Алексеевская, расположенной в 25 км от г. Алматы. Скважина глубиной 2985 м, пройденная с целью поиска термальных вод, вскрыла палеозойский фундамент на глубине около 2960 м. Ствол скважины обсажен пятидюймовой колонной и зацементирована на всю глубину [1]. На базе этой скважины в 1973 г. начала свою работу станция Ново-Алексеевская (рисунок 2), которая входила в состав «Алма-Атинского сейсмологического радиотелеметрического полигона». В 2003 г. станция была реконструирована специалистами НПК «Прогноз», проработала несколько месяцев, а с 6 октября 2006 г. на станции ведутся непрерывные наблюдения.

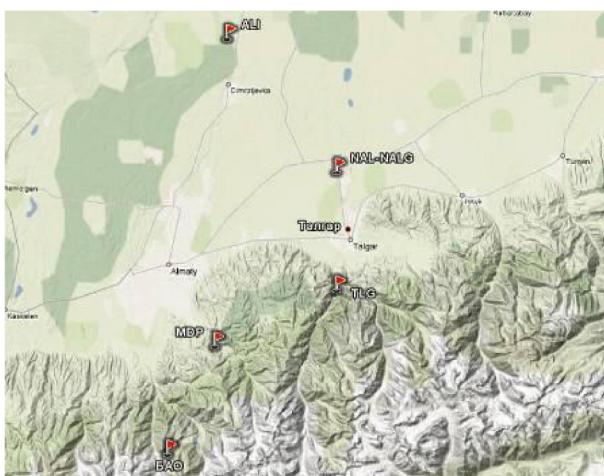


Рисунок 2. Расположение станций НПК «Прогноз»

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СТАНЦИИ НОВО-АЛЕКСЕЕВСКАЯ

Сейсмические станции NAL (на поверхности) и NALG (в скважине) расположены в Алматинской области, на восточной окраине поселке Ново-Алексеевка, на левом берегу реки Талгар. Станция NAL находится на высоте 700 м над уровнем моря на границе Илийской впадины и северного подножья хребта Заилийский Алатау. Координаты станции: $\varphi=43.3930^\circ$ северной широты и $\lambda=77.2273^\circ$ восточной долготы (рисунки 2, 3). На расстоянии 115 м от станции проходит крупное шоссе с достаточно сильным движением Талгар-Ново-Алексеевка. На расстоянии порядка 1000 м от сейсмостанции, проходит крупная трасса регионального значения «Кульжинский тракт». В поселке Ново-Алексеевка промышленность слабо развита, однако на расстоянии ~850 м находится работающий карьер (рисунок 3). Существенные помехи создает крупный завод строительных материалов (~3000 м к востоку), а также щебеночный завод (~2500 м к югу). Основным



Рисунок 3. Расположение станции Ново-Алексеевская

источником техногенных помех являются дробилки на этих заводах, характер работы которых близок к стационарным вибраторам [1]. Вблизи сейсмостанции находится крупная электрическая подстанция (~35 м), создающая электрические наводки. Кроме техногенных факторов на сейсмический шум оказывают влияние природные факторы: естественная сейсмичность, крупная горная река на расстоянии порядка 2500 м и озеро Иссык-Куль на расстоянии ~78 км. На рисунке 4 показаны эпицентры сильных землетрясений с $K \geq 14$ в радиусе до 300 км от станции Ново-Алексеевская с исторических времен до настоящего времени.

Хребет Заилийский Алатау, вблизи которого расположена станция, характеризуется повышенным значением уровня активности по сравнению с другими хребтами Тянь-Шаня: $A_{10}=0.14$, $\gamma=0.45$ [5]. Однако сама Илийская впадина имеет низкое значение уровня активности $A_{10}=0.06$, $\gamma=0.42$ [5].

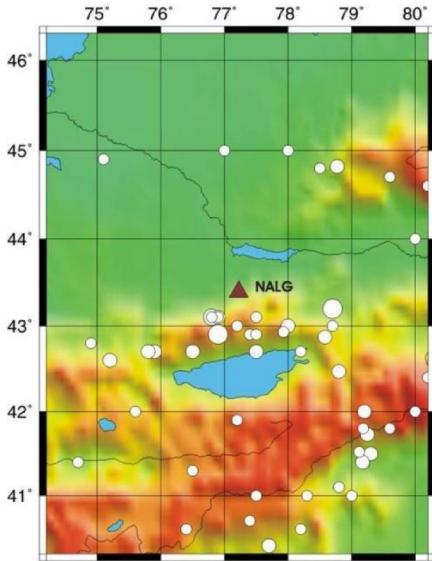


Рисунок 4. Эпицентры сильных землетрясений с $K \geq 14$ с исторических времен до настоящего времени в радиусе до 300 км от станции Ново-Алексеевская

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На станции NAL установлен поверхностный сейсмометр СМ-3, АЦП «Л-кард» Е-24, разрядность 24 бит, частота оцифровки 40 Гц. На станции NALG - скважинный модернизированный сейсмометр СБУ-В, АЦП «Л-кард» Е-24, разрядность 24 бит, частота оцифровки 40 Гц, но на время эксперимента частота оцифровки была увеличена до 200 Гц. На рисунке 5 приведена амплитудно-частотная характеристика скважинного сейсмометра. На станции осуществляется дистанционное управление, передача данных в центр сбора данных в г. Талгар происходит по запросу через радиоканал (10 км). Для приема, передачи, обработки данных используется специальное программное обеспечение - пакет программ «Скорпион» [4].

Для изучения закономерностей изменения динамических характеристик сейсмического шума наблюдения проведены на различных глубинах (от 57 до 670 м) в течение двух зимних месяцев (таблица 1).

Структура микросейсмических помех изучена путем построения спектров плотности сейсмического шума [6-10]. Выбирались 10-минутные отрезки записей без сейсмических событий или коды предшествующих сильных событий. Использовались каталог NEIC (Геологической службы США) и регио-

нальный интерактивный сейсмический бюллетень ЦОССИ (ИГИ НЯЦ РК). Отдельно отбирались фрагменты записей в ночное (15 - 19 ч. GMT) и дневное время (5 - 10 ч. GMT). Для анализа создавались выборки, состоящие из 10 фрагментов сейсмических записей, по которым строились медианные спектры. Полученные спектры сравнивались с верхне- и нижнеуровневой моделью сейсмического шума Петерсона [9].

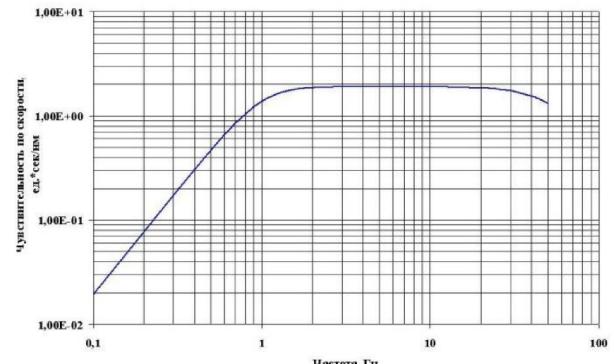


Рисунок 5. АЧХ вертикальной компоненты СБУ-В.
Частота оцифровки 40 Гц, усиление 8

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рисунке 6 показаны результативные графики спектральной плотности (медианные спектры) для дневного и ночного времени по Z компоненте, построенные для глубин 57 м и 670 м.

Обращает на себя внимание большое количество спайков на периодах 0.02, 0.05, 0.1, 0.2 с, связанных, вероятнее всего, с электрическими наводками. Однако, поскольку сигналы очень узкополосны, эти помехи при анализе данных легко избежать. Заметно значительное уменьшение уровня сейсмического шума во всем рабочем диапазоне частот для глубины 670 м по сравнению с глубиной 57 м. При этом форма спектральных кривых сейсмического шума в целом похожа. Наблюдаются локальные максимумы в диапазоне периодов ~0.06 - 0.12 с, ~0.2 - 0.6 с, связанные, скорее всего, с антропогенной деятельностью. Для этих диапазонов заметна существенная разница уровней спектральной плотности для ночных и дневного времени, которая заметно снижается с глубиной. На рисунке 7 показана разница уровней спектральной плотности для ночных и дневного времени в зависимости от глубины сейсмоприемника.

Таблица 1. Станция NALG. Сведения о выполненных наблюдениях

Глубина, м	Наблюдения		Глубина, м	Наблюдения	
	начало	окончание		начало	окончание
57	24.01.2008	12.02.2008	400	04.01.2008	08.01.2008
99	15.01.2008	24.01.2008	504	24.12.2007	04.01.2008
197	11.01.2008	15.01.2008	603	19.12.2007	24.12.2007
291	08.01.2008	11.01.2008	670	15.12.2007	19.12.2007

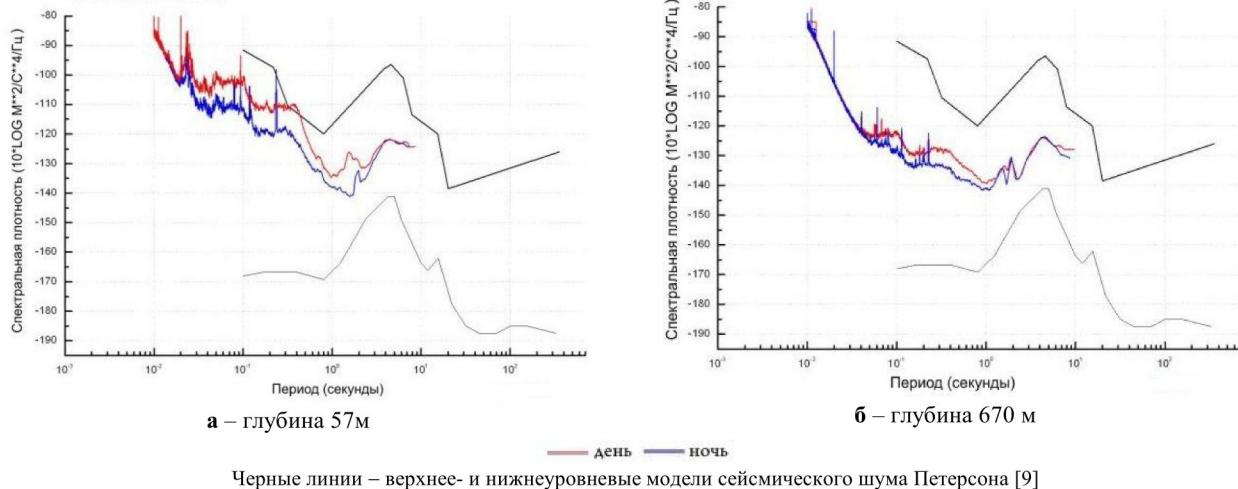


Рисунок 6. Станция NALG. Спектральные кривые сейсмического шума для дневного и ночного времени. Z-компоненты

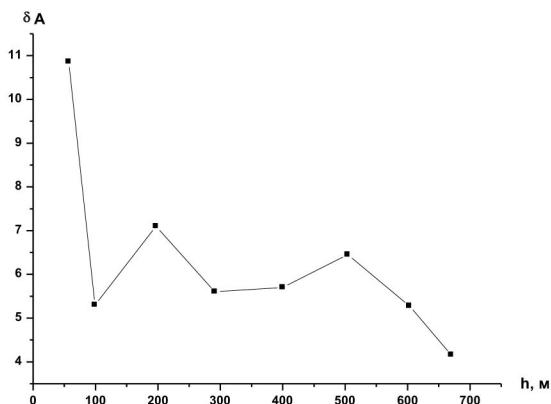


Рисунок 7. Станция NALG. Разница уровней спектральной плотности ΔA в зависимости от глубины для ночных и дневного времени. Частота 5 Гц

Для глубин до 100 м, наблюдается локальный максимум, соответствующий периоду ~ 0.022 с, одинаковой интенсивности для ночных и дневного времени. Практически для всех глубин наблюдается локальный максимум, отвечающий периодам 1.3 - 2 сек, что соот-

ветствует микросейсмам озера Иссык-Куль, которые наиболее часты и интенсивнее зимой [10, 11].

На рисунке 8 приведены полученные графики спектральной плотности (медианные спектры) для всех глубин наблюдения (дневное и ночное время, Z компонента).

Как видно из рисунка 8, во всем рабочем диапазоне частот наблюдается закономерное уменьшение уровня сейсмического шума с глубиной. Характер падения уровня сейсмического шума с глубиной представлен на рисунке 9. Наиболее сильное уменьшение уровня имеет место после 100 м, затем, начиная с глубины 500 м, градиент уменьшается. Полученные данные не согласуются с принятым ранее утверждением, что глубина 100 м может быть достаточной для достижения наиболее возможного снижения уровня техногенных помех [2, 3]. Для условий «Алматинского радиотелеметрического полигона», глубина установки скважинного сейсмометра должна быть больше 500 м. В диапазонах периодов, связанных с антропогенной деятельностью (периоды $T \sim 0.06 - 0.12$ с, $T \sim 0.2 - 0.6$ с) также наблюдается уменьшение с глубиной.

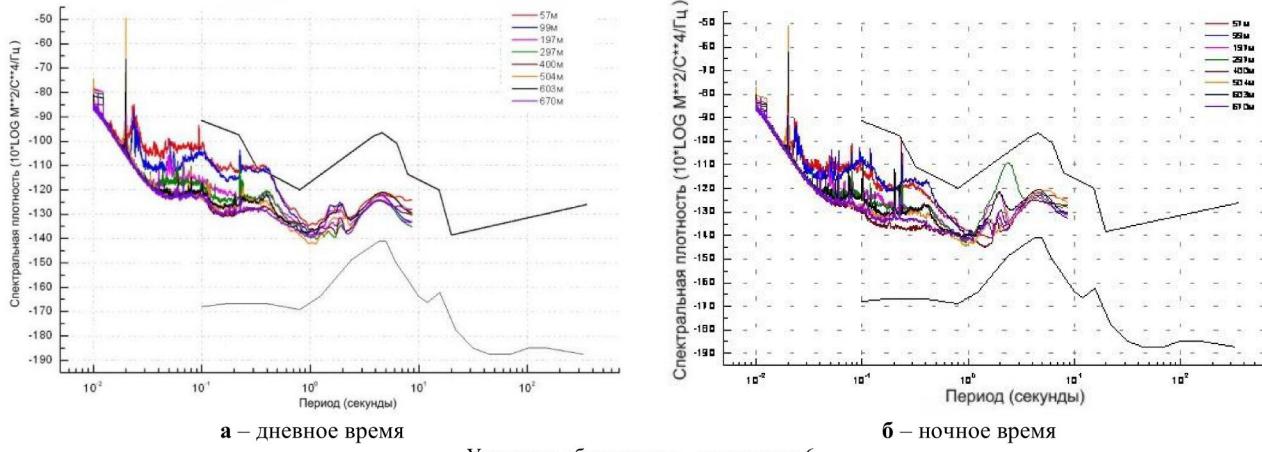


Рисунок 8. Станция NALG. Спектральные кривые сейсмического шума для разных глубин

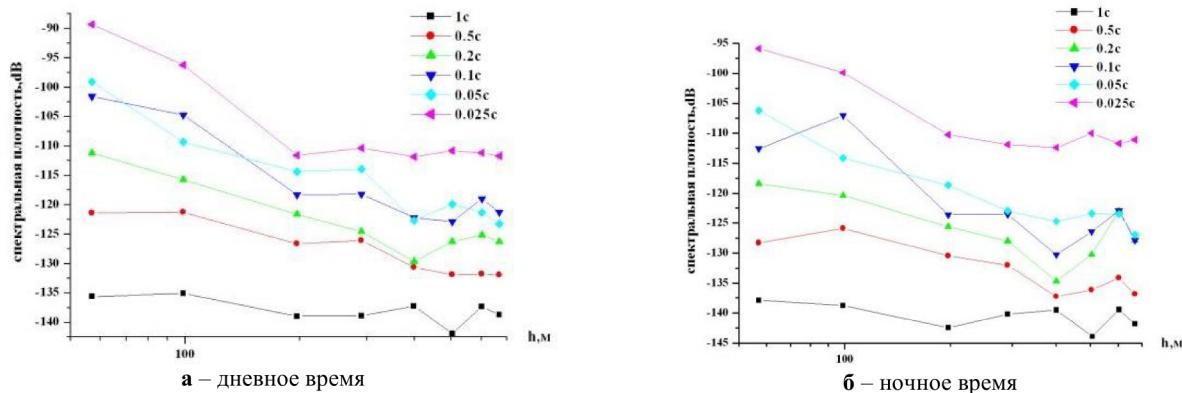


Рисунок 9. Станция NALG. Зависимость уровня спектральной плотности сейсмического шума от глубины для разных периодов

Видно, что для дневного времени суток характерен угол наклона графиков больше, чем для ночного времени. Разница уровней спектральной плотности сейсмического шума для периода $T=0.1$ с на глубинах 57 и 670 м составляет 19 дБ для дневного и 15 дБ для ночного времени суток. С увеличением периода, эта разница становится меньше. Так, для периода $T=0.8$ с на глубинах 57 и 670 м разница уровней составляет 6 дБ для дневного и 5 дБ для ночного времени суток. Локальный максимум для периода ~ 0.022 с, наблюдается только на глубине 57 и 99 м, на глубинах более 100 м он отсутствует. Локальный максимум, связанный с микросейсмами, генерируемыми глубоководным озером Иссык-Куль для периодов 1.3-2 секунд, наблюдается для всех глубин, и не уменьшается с глубиной.

Таким образом, наиболее существенные различия в уровне спектральной плотности сейсмического шума наблюдаются для диапазона периодов 0.02 до 0.5 с.

ЛИТЕРАТУРА

- Гальперина, Р.М. Сейсмический режим района города Алма-Аты за 1972-1982 гг. / Р.М. Гальперина, И.Л. Нерссесов, Е.И. Гальперин // М.: Наука. – 1985. – 248 с.
- Havskov, J. Instrumentation in Earthquake Seismology / J. Havskov, G. Alguacil // Springer. – 2004. – 360 р.
- Borman, P. IASPEI New manual of seismological observatory practice / P. Borman (editor) // GeoForshungsZentrum Postdam.
- Шепелев, О.М. Применение оборудования общего назначения для геофизического мониторинга. / О.М. Шепелев, А.В. Кунаков // Вестник НЯЦ РК, 2007. – Вып.2. – С. 19 – 26.
- Нерссесов, И.Л. Сейсмический режим Северного Тянь-Шаня в связи с Жаланаш-Тюпским землетрясением 25.3.1978 г. / И.Л. Нерссесов, А. Садыков, А. Нурмагамбетов, Н.Н. Михайлова // Физика земли. - 1981. – № 5.
- Комаров, И.И. Модель сейсмического шума по наблюдениям геофизической обсерватории «Маканчи» / И.И. Комаров, З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, Г.С. Абдрахманова // Вестник НЯЦ РК, 2000. – Вып.2. – С. 17 – 24.
- Синёва, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций казахстанской сети / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2000. – Вып.2. – С. 24 – 30.
- Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып.2. – С. 19 – 26.
- Peterson, Jon, Observation and Modeling of Seismic Background Noise / Jon Peterson // Open-File Report 93-322. Albuquerque, New Mexico, 1993. – 42 р.
- Соколова, И.Н. Модель сейсмического шума по наблюдениям сейсмической станции «Подгорное» / И.Н. Соколова, А.С. Мукамбаев // Вестник НЯЦ РК, 2007. – Вып. 3. – С. 111 – 117.
- Соколова, И.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1.7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 1. – С. 48 – 53.
- Гаврилов, В.А. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью / В.А. Гаврилов, Ю.В. Морозова, А.В. Сторчеус // Вулканология и сейсмология, 2006. – № 1. – С. 52 – 67.

Таким образом, исследования, проведенные в 2007 - 2008 гг. в глубокой скважине, выявили ряд интересных закономерностей. Во всем рабочем диапазоне частот выявлено закономерное уменьшение уровня сейсмического шума с глубиной, наиболее сильное в интервале 100 - 500 м. Установлено наиболее существенные различия в уровне спектральной плотности сейсмического шума для диапазона периодов от 0.02 до 0.5 с.

При дальнейших исследованиях необходимо изучить характер сезонных вариаций сейсмического шума в широком диапазоне частот, а также поляризационные характеристики сейсмического шума. Возможность проведения сейсмических наблюдений в диапазоне частот 25 - 50 Гц создаёт предпосылки для исследования акустической эмиссии, долгое время изучавшейся в скважинах на Камчатке [12].

ТЕРЕНДІГІНДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУДЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ ӨЗГЕРУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

¹⁾Шепелев О.М., ¹⁾Кунаков А.В., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾КР ТЖМ «Казселюргау» ММ «Прогноз» ГӨК, Алматы, Қазақстан

²⁾КР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Алматы, Қазақстан

Терендігінде сейсмикалық шудың динамикалық сипаттамалары өзгеру зандаудықтарын зерделеу бойынша терендігі 2985 м. ұнғымасында (Алматы облысы) жүргізілген эксперименттің нәтижелері келтіріледі. Жиіліктің жұмыс ауқымының беріндегі сейсмикалық шудың деңгейі терендігінде занда төмендеуі анықталған, 100 - 500 м. аралығында ең күштісі. 0,02 ден 0,5 с. деңгейінде занда ауқымы үшін сейсмикалық шудың спектрлік тығыздықтың деңгейінде ең елеулі айырмашылықтары анықталған.

REGULARITIES OF SEISMIC NOISE DYNAMICAL CHARACTERISTICS CHANGES WITH DEPTH

¹⁾O.M. Shepelev, A.V. ¹⁾Kunakov, I.N. ²⁾Sokolova

¹⁾Scientific Forecast Center “Prognoz” SE “Kazselezaschita”, Almaty, Kazakhstan

²⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Experimental results on the investigation of regularities of seismic noise dynamical characteristics changes with depth in the borehole of 2985m deep (Almaty region) are given. In operating band peculiar reduction of seismic noise level with depth with the most reduction occurred within 100 - 500 m was observed. Most significant discrepancies in seismic noise spectral density level for 0.02 to 0.5 s were found.