УДК550.838

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Федосов М.А. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье приведены результаты опробования методики мониторинга параметров геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в пределах большого индустриального города. Было показано, что сравнение измерений, проведенных в скважине и на поверхности, дает возможность оценить степень влияния техногенных шумов индустриального города на геологическую среду.

Геоакустическая эмиссия, электромагнитное излучение, скважина, геодинамическое состояние, деформационные процессы.

THE METHODOLOGY OF MONITORING THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC PROCESSES ON THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Beloglazova N.A., Bazhenova E.A., Vdovin A.G., Fedosov M.A. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The article presents the results of sampling methods for monitoring parameters of geoacoustic emission and electromagnetic radiation within a large industrial city. It was shown that the comparison of measurements taken in the borehole and on the surface, gives an opportunity to assess the degree of influence of anthropogenic noise industrial city on the geological environment.

Geoacoustic emission, electromagnetic radiation, well, geodynamic state, deformation processes.

Введение

Сфера практических приложений геофизических методов и круг связанных с ними научных задач существенно расширяется. К их числу относится и актуальная сегодня задача развития научных основ для построения нового вида мониторинговых систем и, соответственно, лежащих в их основе методов оперативного контроля физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния массивов горных пород на принципах обратной связи. Это связь механических процессов разрушения горных пород с динамико-кинематическими характеристиками индуцируемых при этом деформационных и акустических полей. Так возникает потребность в разработке новых мониторинговых систем, предоставляющих информацию о физико-механических свойствах массива и его неоднородностях в процессе механического воздействия породоразрушающих устройств.

В настоящее время для изучения строения, состава и свойств массива горных пород и изучения процессов перераспределения напряжений, деформирования, разрушения и упрочнения участков массива горных пород в земной коре достаточно широко применяются геофизические методы (Соболев, Пономарев, 2003). Среди их большого многообразия особое место занимают электромагнитные методы. Это связано с тем, что электромагнитные сигналы (ЭМС) достаточно просто регистрировать с помощью современных цифровых приборов, и в настоящее время созданы эффективные и мощные компьютерные средства обработки и анализа ЭМС. Наиболее перспективным методом исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород, является метод регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), особенно на стадиях трещинообразования и разрушения. Основой метода ЕЭМИ являются механо-электромагнитные преобразования (МЭП) в массиве горных пород, происходящие вследствие изменений напряженно-деформированного состояния. Наиболее

активно МЭП проходят при образовании трещин, смещениях блоков горных пород относительно друг друга. В методе ЕЭМИ измеряются параметры электромагнитного излучения, зависящие от физико-механических свойств пород, структурно-текстурных особенностей и интенсивности изменений напряженно-деформированного состояния под влиянием природных и техногенных факторов (Безродный и др., 2011).

Исследования микроколебаний грунта в районах индустриальных городов показывают, что основными факторами, определяющими параметры промышленных шумов, является направленность сейсмического (акустического) излучения энергоемких установок и геолого-геофизические параметры среды (Дергачев и др., 1984).

Аппаратура и методика измерений

При проведении эксперимента использовался комплексный скважинный прибор МЭШ-42, разработанный в лаборатории скважинной геофизики Института геофизики УрО РАН. Прибор позволяет осуществлять одновременную регистрацию сигналов естественной геоакустической эмиссии (ГАЭ) и электромагнитного излучения (ЭМИ) (Астраханцев и др., 2013) и может работать как в режиме каротажа, так и мониторинга. Регистрация сигналов электромагнитного излучения производится на трех частотах. Геоакустические сигналы регистрируются тремя ортогонально расположенными датчиками-акселерометрами (что позволяет фиксировать сигналы с трех направлений) в разных полосах частот в единицах регистрируемого ускорения (мм/с^2).

Методические приемы измерений и обработки полученных данных отрабатывались при исследованиях скважин на геодинамических полигонах Камчатки и Урала (от Полярного до Южного).

Программный модуль, разработанный в Институте геофизики УрО РАН, позволяет одновременно фиксировать следующие сигналы, поступающие со скважинного прибора:

1. ГАЭ с трех взаимоортогональных датчиков (*X, Y, Z*) в трех частотных диапазонах:

100–500 Гц	$X1$, $Y1$, $Z1$,
500–5000 Гц	$X2$, $Y2$, $Z2$,
2500–5000 Гц	$X4$, $Y4$, $Z4$;

2. ЭМИ на трех частотах:

45 кГц	$F1$,
80 кГц	$F2$,
120 кГц	$F3$.

Геоакустические сигналы, измеряемые горизонтальными датчиками, программным способом преобразуются в горизонтальные составляющие геоакустических сигналов *H*, для каждого диапазона частот: $H1$, $H2$, $H4$:

$$H_n = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2}.$$

При обработке полученных данных рассчитываются дополнительные информативные параметры:

1. Отношение амплитуд высокочастотных сигналов ГАЭ (500–5000 Гц) к низкочастотным (100–500 Гц) *Nx, Ny, Nz*. Данный параметр позволяет определить вклад сигналов в разных частотных диапазонах, а так же отбраковать ложные аномалии.

2. Отношение амплитуды сигналов ГАЭ с вертикального датчика *Zn* к амплитуде сигналов с горизонтальных датчиков *Xn, Yn* в разных частотных диапазонах. Эти параметры позволяют определить преобладающее направление сигналов ГАЭ в разных частотных диапазонах (Троянов, Белоглазова, 2003).

Результаты каротажа представляются в виде диаграмм измеренных и расчетных параметров геоакустических сигналов.

Результаты долговременных измерений представляются в виде временных диаграмм измеренных и расчетных параметров.

Интерпретация результатов комплексных исследований естественного электромагнитного излучения и геоакустических сигналов основана на анализе величин измеренных и расчетных параметров.

Измерения по стволу скважины

Проводятся с целью расчленения гео-

логического разреза по динамическому состоянию горных пород. При каротаже скважин информация в цифровом виде выводится на монитор и одновременно записывается на жесткий диск персонального компьютера. Шаг измерений определяется условиями поставленной задачи и варьирует в широких пределах. В однородной среде измерения проводятся через 10–20 м, для выделения тонких пластов шаг измерений сгущается до 0,5 м. Время записи на точке зависит от времени успокоения скважинного прибора при остановке на заданной глубине, которое визуально контролируется по монитору ПК. Цикл опроса всех датчиков составляет 2 с. На каждой точке проводятся 10 циклов записи всего массива данных. Общее время нахождения прибора на каждой точке измерений составляет порядка 30 с.

После исследования всего интервала производится запись полученной информации в текстовый файл. После чего производится расчет измеренных параметров с учетом калибровочных коэффициентов измерительных датчиков и осреднения 10 циклов измерений. Выходная информация представляется в виде *LAS*-файлов, которые отражают записанную информацию по каждому из физических полей.

На основе полученных каротажных диаграмм ГАЭ, ЭМИ и уже имеющейся геологической и геофизической информации, проводится расчленение разреза по геодинамическому состоянию горных пород.

Режимные наблюдения

Большой объем информации о геодинамическом состоянии района и динамике его развития можно получить на основе записи вариаций сигналов разных геофизических полей (ГАЭ и ЭМИ) и определении их взаимосвязи. Наиболее интересными для режимных наблюдений можно считать точки, где при каротаже отмечались аномальные значения одного или нескольких измеряемых геофизических полей. Анализ амплитудно-частотных спектров, ГАЭ и ЭМИ в скважинах позволит выделить скрытую периодичность в регистрируемых сигналах ГАЭ и ЭМИ и оценить ее связь с известными деформационными процессами. Проведение мониторинга сейсмоакустической и электромагнитной эмиссий в скважине одновременно в разных частотных диапазонах позволит получить новую информацию о динамике зарождения и развития структурного разрушения пород. Выделение динамически активных зон является актуальной задачей, имеющей практическое значение, как при бурении скважин, так и изучении тектоники месторождений.

Цель и методика исследований

Целью эксперимента являлось опробование методики мониторинга влияния техногенных воздействий индустриального города на геологическую среду.

Измерения проводились на территории Института геофизики. В 200-х метрах от установки приборов проложена оживленная автомобильная дорога, в 700-х метров была разбита строительная площадка многоэтажного дома. В самом здании, где располагается скважина, и в соседних институтах находились различные станки и промышленные установки.

По разработанной методике исследований с комплексным прибором МЭШ-42 были проведены последовательные режимные измерения геоакустических сигналов и естественной электромагнитной эмиссии в скважине в течение 15-ти суток на заданной глубине и на поверхности около устья в течение 5-ти суток. Для выбора глубины установки прибора в скважине был проведен каротаж этим же методом с шагом 2 м.

Результаты исследований и их обсуждение

Скважина «Пономаревская», в которой проводились исследования, пробурена в толще габбро Широкореченского массива. Геологический разрез представлен переслаиванием габбро различной структуры от тонкозернистой до крупнозернистой. Местами встречаются прослои амфиболитов, туфолавов, перидотитов и кварцевых жил небольшой мощности. Глубина обсадки скважины 45 м.

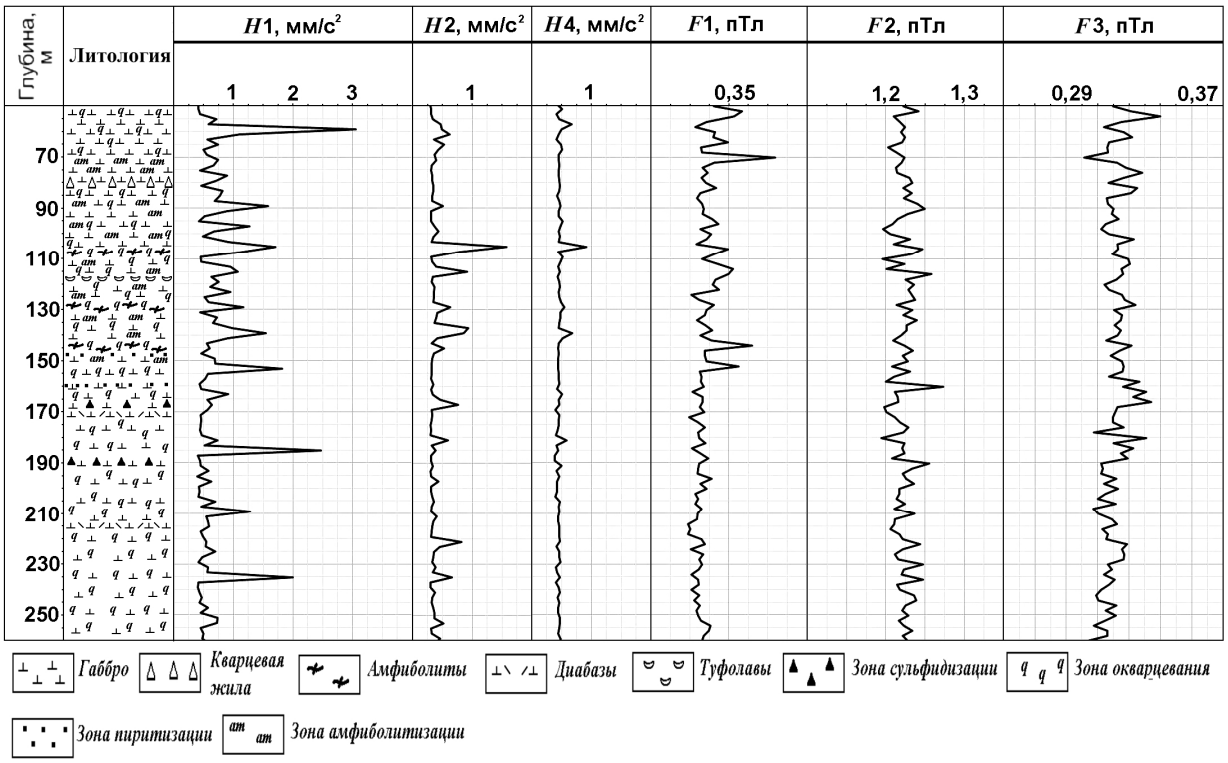

Рис. 1. Результаты исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения по стволу скважины «Пономаревская», Екатеринбург

Результаты каротажа представлены на рис. 1. По всему разрезу скважины встречаются небольшие локальные аномалии параметров ГАЭ и ЭМИ, которые связаны с контактами пород и зонами трещиноватости. До глубины 160 м зона амфиболитизации отмечается повышенной дифференцированностью кривых ГАЭ (*H*1) и ЭМИ (*F*1) низкочастотного диапазона, что свидетельствует о наличии в околоскважинном пространстве множества контактов различных пород и зон трещиноватости. Кривые частотных диапазонов 500–5000 Гц (*H*2) и 2500–5000 Гц (*H*4), в отличие от первого частотного диапазона, менее дифференцированы и имеют лишь несколько локальных аномалий в приконтактовых зонах, особенно выделяется зона интенсивной амфиболитизации на глубине 95 м. По параметру электромагнитного излучения на частоте 45 кГц (*F*1) на глубине 70 м выделяется небольшая аномалия, которая пространственно совпадает с контактом окварцованного и амфиболизированного габбро. Следующая локальная аномалия выделяется на глубине 145 м и обусловлена контактом амфиболизированного габбро и окварцованных амфиболитов. Ниже, на глубине 150–155 м, отбивается зона трещиноватости в окварцованном габбро. Локальная аномалия небольшой интенсивности параметра *F*2 на глубине 160 м совпадает с зоной пиритизации.

Для проведения долгосрочного мониторинга была выбрана глубина 260 м (забой скважины) в зоне наиболее плотных пород, представленных окварцованными габбро. Как видно из результатов каротажа (см. рис. 1), в точке установки прибора отмечаются практически фоновые значения параметров ГАЭ и ЭМИ.

На рис. 2 представлены результаты непрерывных измерений в скважине в течение 15-ти суток. Как видно из рисунка, геоакустические сигналы за весь период наблюдений практически не отклонялись от фоновых значений, которые были зафиксированы на этой глубине в момент проведения каротажа. Наиболее чувствительными параметрами, как и следовало ожидать, оказались горизонтальная (*H*1) и вертикальная (*Z*1) составляющие низкочастотного

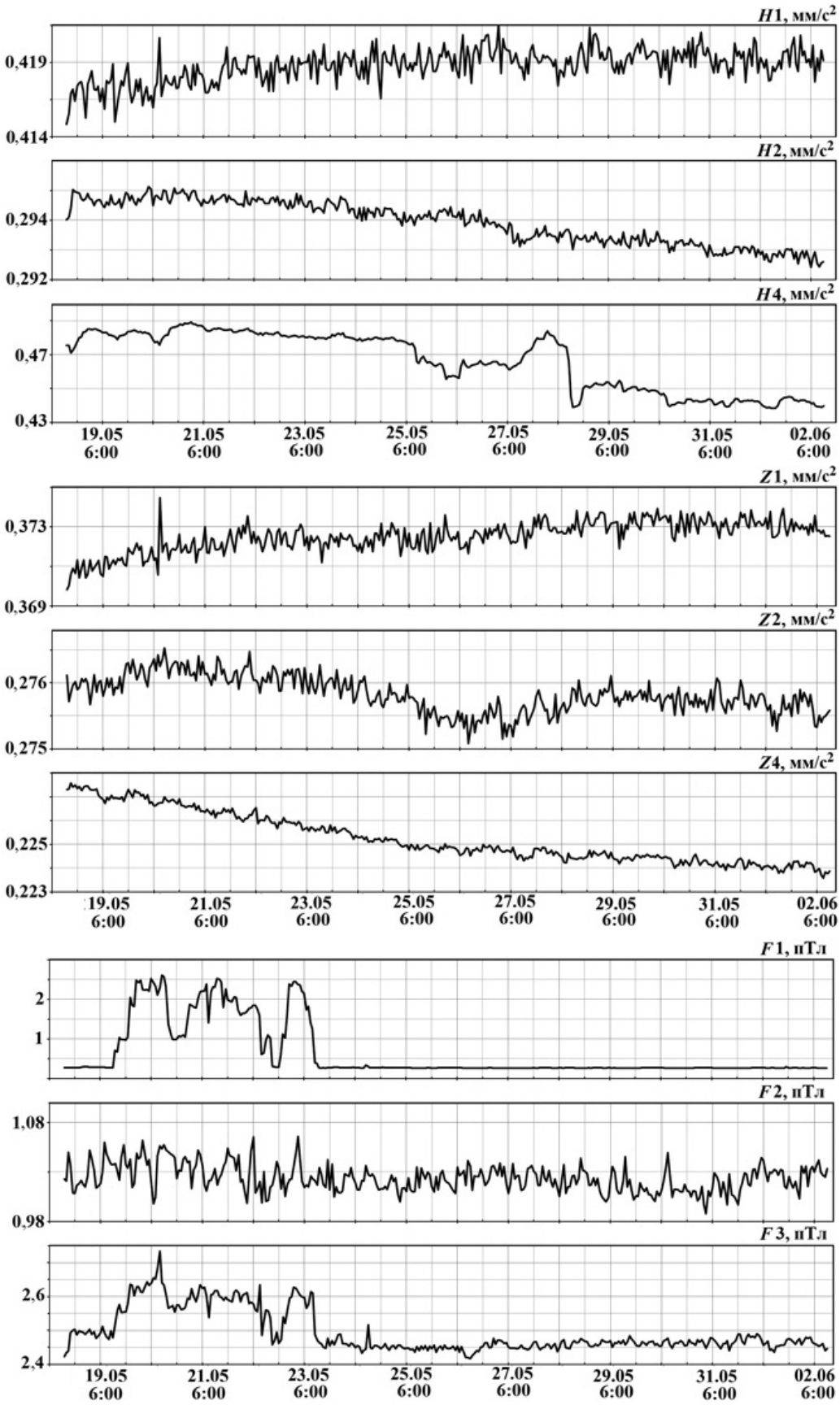

Рис. 2. Временные диаграммы параметров ГАЭ и ЭМИ в скважине «Пономаревская». Глубина установки 260 м

диапазона. На протяжении всей записи наблюдается очень слабый, до 0,005 мм/с^2, положительный тренд этих параметров. Составляющие ГАЭ высоких частот, напротив, имеют тенденцию к некоторому уменьшению, но так же, как и низкочастотные параметры, изменяются ничтожно мало.

Совершенно по-другому ведут себя параметры ЭМИ: почти через сутки после установки прибора наблюдается увеличение уровня *F*1 (45 кГц) с 0,3 до 2,8 пТл и *F*3 (120 кГц) с 2,4 до 2,7 пТл. Параметр *F*2 (80 кГц) при этом мало отличается от фонового значения. Данная аномалия отмечается в течение 4-х суток. Причем, визуально выделяются суточные аномалии, с максимальными значениями в 6:00 часов местного времени и резким спадом в 18:00 часов в течение одних суток в начале и последних в конце зафиксированной аномалии. Начиная с шестых суток и до конца записи, никаких аномалий больше не наблюдалось. В момент окончания мониторинга все измеряемые параметры были равны фоновым значениям.

После скважинных измерений были проведены измерения на дневной поверхности в течение 5-ти суток. Прибор был жестко закреплен в горизонтальном положении на расстоянии 1 м от устья скважины. На рис. 3 представлены результаты регистрации параметров ГАЭ и ЭМИ.

Измерения были начаты в пятницу в 13:00 часов по местному времени. Из рисунка видно, что на записях четко выделяются суточные вариации сигналов ГАЭ, пик которых приходится на рабочее время, когда работают различные промышленные установки и происходит интенсивное движение транспорта. Самыми чувствительными параметрами к сигналам техногенного происхождения, так же как и в скважине, явились параметры ГАЭ низкочастотного диапазона (*H*1 и *Z*1). При этом фоновые значения этих параметров на дневной поверхности возросли в два раза по отношению к измеренным в скважине. Фоновые значения высокочастотных параметров ГАЭ остались практически на прежнем уровне. Наиболее интенсивная аномалия до 9 мм/с^2 по *H*1 и *Z*1 наблюдается в дневное время понедельника (05.06), при относительном затишье до 1,5 мм/с^2 в выходные дни (03.06–04.06) и практически полной тишине в течение всей записи в ночные часы. На высокочастотных параметрах ГАЭ так же отчетливо выделяются суточные вариации, но гораздо меньшей интенсивности, до 1,8 мм/с^2. На диаграммах ЭМИ суточных вариаций не наблюдается. Самым чувствительным параметром, как и ожидалось, явился параметр *F*1, частота регистрации которого 45 кГц. Интенсивность аномальных отклонений параметров ЭМИ составила порядка 40 пТл по *F*1, 3 пТл – по *F*2 и 1,6 пТл – по *F*3. Эта аномалия наблюдалась непрерывно в течение 30 часов до окончания записи (06.06–07.06) и вызвана, скорее всего, непрерывной работой какой-то установки поблизости с мощным электромагнитным излучением. Подобная аномалия наблюдалась и во время скважинных измерений.

Заключение

По результатам исследований в скважине на территории Института геофизики были получены диаграммы распределения параметров геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения как по стволу скважины, так и во времени. По данным каротажа скважины выделены зоны трещиноватости, контактов пород с различными физическими свойствами и пиритизации. Сравнение результатов мониторинга геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в скважине и на поверхности подтвердило эффективность разрабатываемой методики проведения мониторинга воздействия техногенных процессов на геологическую среду.

Работа выполнена при поддержке проекта 15-2-5-25.

Литература

Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Троянов А.К., Глухих И.И., Вдовин А.Г. Скважинные исследования динамического состояния горных пород с использованием новой аппаратуры // Уральский геофизический

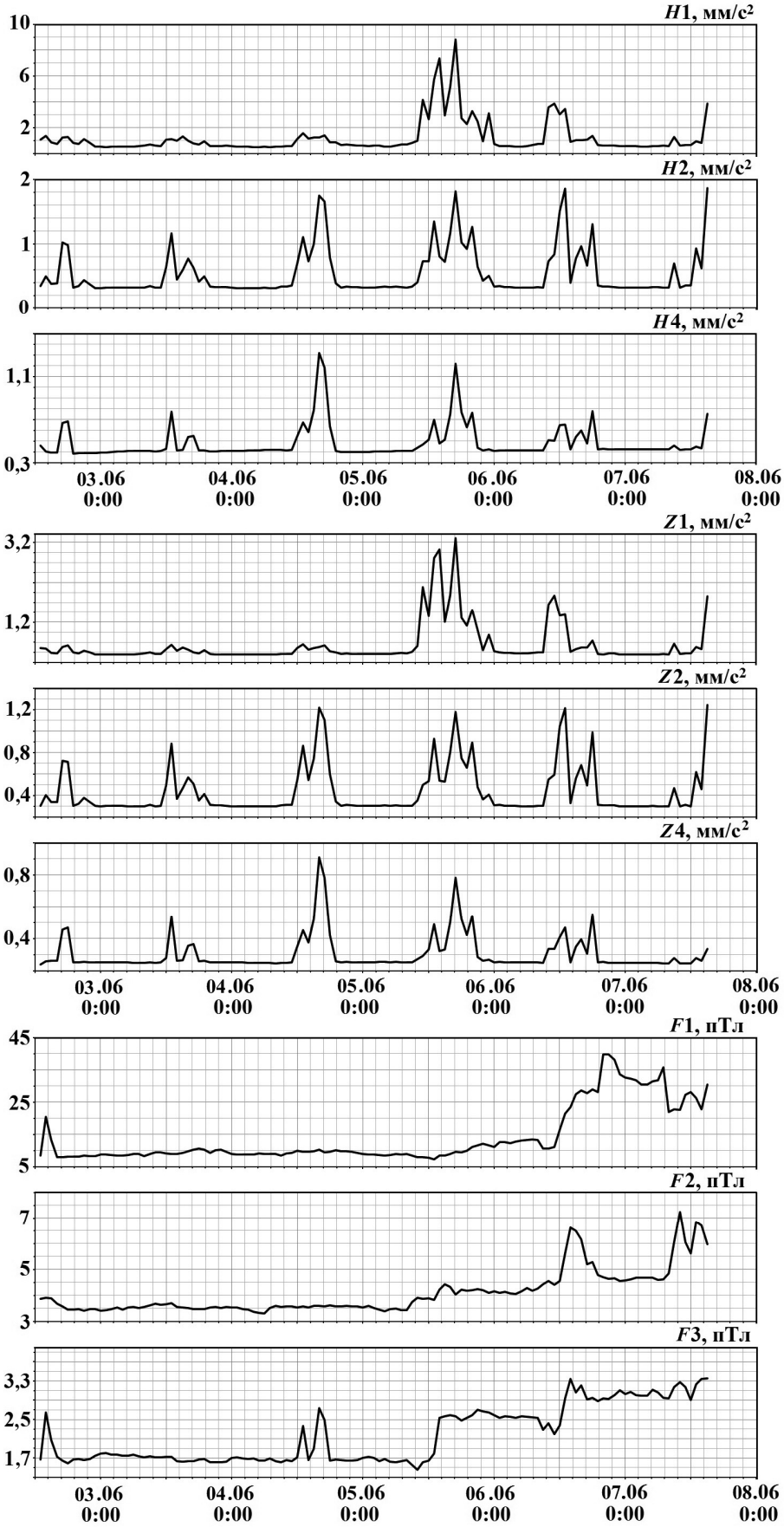

Рис. 3. Результаты регистрации параметров ГАЭ
и ЭМИ комплексным прибором МЭШ-42 около устья скважины «Пономаревская»

вестник. 2013. № 2. С. 4–12.
Безродный К.П., Басов А.Д., Романевич К.В. Контроль напряженно-деформированного состояния массива горных пород при строительстве тоннелей методом ЕЭМИ // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2011. № 1. С. 227–234.
Дергачев А.А., Данциг Л.Г., Бортников П.Г. Сейсмические шумы в районе Новосибирска. Геология и геофизика. 1984. № 1. С 77–83.
Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
Троянов А.К., Белоглазова Н.А. Оптимизация комплекса информативных параметров геоакустических шумов при решении задач в нефтегазовых скважинах // Сборник трудов XIII сессии Российского геоакустического общества. М.: ГЕОС, 2003. Т. 2. С. 163–166.