

УДК 534.23

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОСТИ СИГНАЛОВ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ

М.Е. Чешев, С.А. Имашев

Представлены результаты анализа серии имитационных событий, зарегистрированные геоакустическим датчиком А1638 на территории Научной Станции РАН. На основе данных горизонтальных каналов (X, Y) были построены распределения направлений прихода геоакустической волны в виде круговых гистограмм. Все серии показали преимущественное направление, совпадающее с расположением пунктов генерации сигнала относительно пункта приема. Некоторый разброс углов вокруг преимущественного направления обусловливался перепадом высот между исходной точкой генерации сигнала и геофона, неоднородностью объема коренной породы, а также эффектом за счет реверберации. Предложенная методика обработки данных геофона может быть использована для определения преимущественных направлений прихода акустических откликов во время проведения электромагнитных зондирований земной коры с помощью электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ-600-2).

Ключевые слова: геоакустический сигнал; диаграмма направленности; геофон; круговая гистограмма.

ИМИТАЦИЯЛЫК ОКУЯЛАРДЫН МИСАЛЫНДА ГЕОАКУСТИКАЛЫК АКТИВДҮҮЛҮКТӨҮ СИГНАЛДАРДЫН БАГЫТЫН АНЫКТОО ЫКМАСЫ

Бул макалада Россия Илимдер Академиясынын Илимий станциясынын аймагында А1638 геоакустикалык датчиги менен катталган имитациялык окуялардын сериясына талдоо жүргүзүүнүн жыйынтыктары берилди. Горизонталдык каналдардын (X; Y) маалыматтарынын негизинде тегерек гистограмма түрүндөгү геоакустикалык толкундардын келүү багыттарынын бөлүштүрүлүшү түзүлдү. Бардык сериялар артыкчылыктуу багытты көрсөтүштү; ал багыт боюнча сигналдарды генерациялоо пункттары менен кабыл алуу пункттарынын жайгашуусу бири-бирине дал келет. Артыкчылыктуу багыттын айланасында айрым бурчтардын чыгышы сигналдын генерациясынын баштапкы чекити менен геофондун ортосундагы бийиктиктин өзгөрүшү; түпкү жер тегинин көлөмүнүн ар кыл болушу; ошондой эле реверберациянын эсебинен натыйжанын болушу менен шартталган. Геофондун маалыматтарын иштеп чыгуу боюнча сунушталган методиканы электр чалгындоочу генератордун (ЭРГУ-600-2) жардамы менен жер кыртышын электромагниттик изилдөө мезгилинде акустикалык сигналдардын артыкчылыктуу багыттарын аныктоо үчүн пайдаланса болот.

Түйүндүү сөздөр: геоакустикалык сигнал; багытталуу диаграммасы; геофон; тегерек гистограмма.

PROCEDURE FOR DETERMINING ORIENTATION OF SIGNALS OF GEOACOUSTIC ACTIVITY ON THE EXAMPLE OF IMITATION EVENTS

M.E. Cheshev, S.A. Imashev

The paper presents the results of analyzed series of simulation events registered by A1638 geoacoustic sensor on the territory of Research Station of RAS. The authors constructed direction distribution of geoacoustic wave arrival in the form of circular histograms on the basis of horizontal channels (X, Y) data. All series showed a predominant direction, which coincides with location of the signal generation points in relation to receiving point. Some variation in angles around the predominant direction was due to elevation difference between the initial point of the signal generation and geophone, heterogeneity of the volume of the bedrock, and the effect due to reverberation. The proposed method of processing the geophone data can be used to determine the predominant directions of acoustic responses during electromagnetic sensing of the earth's crust using electrical prospecting generator set (ERGU-600-2).

Keywords: geoacoustic signal; directional pattern; geophone; circular histogram

Введение. Акустическая эмиссия в твердых телах является упругими колебаниями, возникающими в процессе дислокационных изменений в среде, характеристики которых непосредственно связаны с особенностями пластических процессов, что и обуславливает интерес к ее изучению с целью развития методов акустической диагностики различных сред [1]. Акустическая эмиссия, источником которой являются глубинные процессы в земной коре, называется сейсмоакустической эмиссией. Обычно это сигналы генерируются при переупаковке зерен, росте трещин, динамических явлений при фильтрации жидкости (прорывы перегородок и т. п.) с частотным диапазоном свыше 100 Гц [2, 3]. Эти процессы могут являться предвестниками удаленного землетрясения в приповерхностных осадочных породах под воздействием деформаций, приходящих из эпицентра [4].

Для регистрации сигналов сейсмоакустической эмиссии используются высокочастотные сейсмостанции с магнитоупругими или пьезокерамическими сейсмоакустическими приемниками (геофоны) [5]. Эксперименты с геофонами, установленными в скважинах на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) в непосредственной близости от водоносных горизонтов, при проведении электромагнитных зондирований земной коры с помощью мощной электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ-600-2) [6] зафиксировали реакцию среды, которая проявлялась в виде прироста интенсивности сигналов акустической эмиссии. Интерес представляет оценка преимущественных направлений прихода этих откликов на импульсы тока, возбуждаемые при этих зондированиях, а также возможность регистрации в сейсмическом шуме моментов времени, когда на фоне случайных направлений выделяются преимущественные, сопровождающиеся изменением фрактальных характеристик [7].

Цель данной работы – изучение возможности определения преимущественных направлений прихода сигналов геоакустической активности от источников на примере имитационных событий, произведенных на территории БГП.

Аппаратура и методика обработки. В качестве сейсмоприемника был использован трехкомпонентный пьезокерамический датчик А1638 производства ЗАО “Геоакустика”, расположенный на выходе коренных пород в шахте на глубине ~ 3 м. Геофон преобразует сейсмические сигналы в электрическое напряжение, которое пропорционально величине колебательного ускорения в частотном диапазоне от 0,2 до 400 Гц [8]. Направления трех регистрируемых взаимно перпендикулярных векторов колебательного ускорения геофона соответствуют сторонам света: канал Y – юг/север, канал X – запад/восток, канал Z – вертикальное направление (рисунок 1, а). Частота дискретизации записи отсчетов геоакустического отклика составляла 1000 Гц.

Имитацию сейсмосигналов проводили в четырех точках в радиусе около 150 м от геоакустического приемника (рисунок 1, б).

Пункты генерации геоакустических сигналов 1 и 2 были расположены на глубине ~0,5 м, пункты 3 и 4 – в трещинах выхода коренных пород, в качестве источника генерации были использованы пиротехнические заряды (петарды). Результат этих полевых экспериментов представлен в виде записи геофона на рисунке 2, а (номер записи соответствует номеру события).

Каждая запись с пункта имитации представляла собой серию из последовательных всплесков (от 3 до 12). На рисунке 2, б показан детальный участок записи геофона с пункта № 3, который имеет три всплеска в виде резкого роста амплитуды и последующего затухания.

Перед непосредственным построением диаграмм направленности данные были



Рисунок 1 – Геоакустический приемник А1638 (а), карта расположения серий имитационных событий: звездочкой обозначено расположение геофона (б), кружками – пункты проведения имитаций сигналов

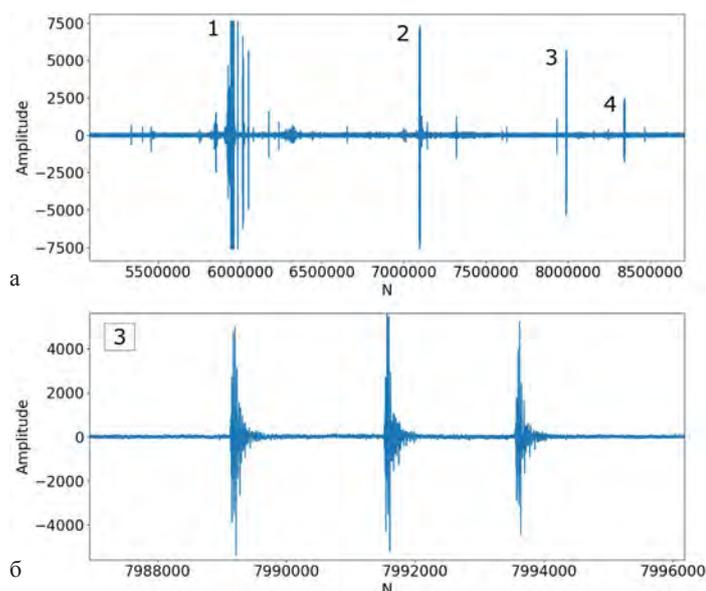


Рисунок 2 – Фрагмент запись с геофона:
 а – четыре зарегистрированных события, соответствующие пунктам имитации событий,
 б – детальный участок записи сигнала с пункта 3

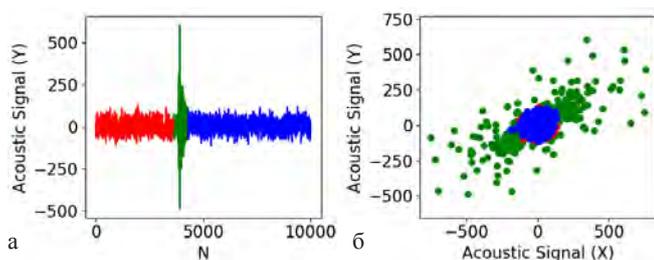


Рисунок 3 – Геоакустический отклик на событие № 4 (а)
 и его распределение по амплитудам горизонтальных компонент (б)

проанализированы на предмет присутствия дополнительных частот, в частности, промышленных помех (50 Гц), которые затем были удалены из сигнала с помощью операций прямого и обратного преобразований Фурье.

Алгоритм определения угла прихода сейсмического сигнала. Методику обработки временного ряда, содержащего всплеск, опишем на примере геоакустического отклика на имитационное событие № 4. Сигнал состоит из трех частей: шумовой компоненты до всплеска, самого всплеска с последующим затуханием и шума после него (на рисунке 3, а – выделены соответственно красным, зеленым и синим цветами). На рисунке 3, б представлено распределение амплитуд шума по горизонтальным компонентам, где видно, что шум демонстрирует характерную круговую форму, свидетельствующую о равновероятности отклонений по всем направлениям. В отличие от шумовой составляющей,

полезный сигнал (всплеск) имеет явно выраженную эллипсоидальную форму с доминированием значений по направлениям X и Y, что и используется при определении преимущественного направления прихода геоакустического сигнала с учетом расположения геофона по сторонам света.

Для определения направления прихода геоакустической волны, учитывая горизонтальные каналы регистрации, построим следующую цепочку операций (рисунок 4).

Для определения преимущественного направления прихода геоакустической волны, рассчитанные углы (от 0 до 360) группируются по 32 класса, на основе которых строится гистограмма распределения по углам (рисунок 5, а). Для большей наглядности гистограмма строится также и в полярных координатах (рисунок 5, б)

На рисунке 5, б видно, что преимущественные направления прихода геоакустического отклика

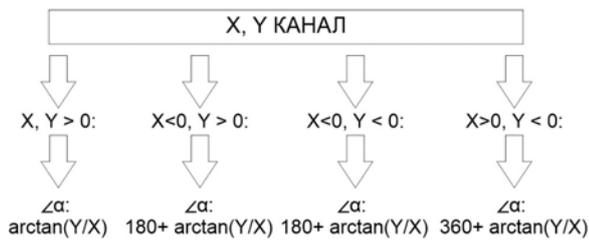


Рисунок 4 – Схема расчета угла по горизонтальной компоненте геоакустического сигнала

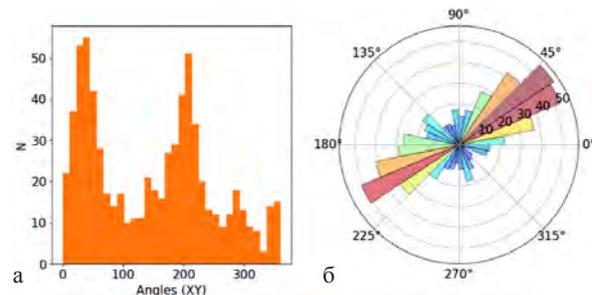


Рисунок 5 – Распределение горизонтальных направлений прихода геоакустической волны: а – стандартная гистограмма; б – круговая гистограмма

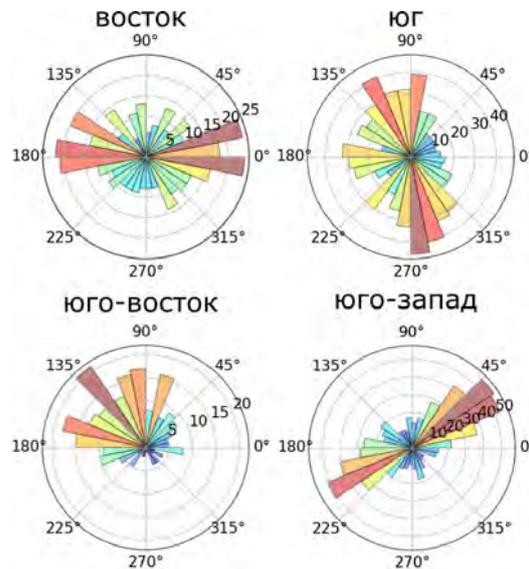


Рисунок 6 – Диаграммы направленности прихода геоакустической волны с пунктов имитаций сигнала (надписи сверху – расположение пункта генерации геоакустического сигнала относительно пункта приема)

взаимно противоположны ($\sim 45^\circ$ и $\sim 200^\circ$) вследствие симметричности инерционного отклонения датчика.

Результаты и обсуждение. Произведенные события имитации сигнала были ориентированы по следующим направлениям относительно пункта приема: 1 – восток, 2 – юго-восток, 3 – юг, 4 – юго-запад. Соответствующие им диаграммы направленности представлены на рисунке 6.

На рисунке 6 видно, что все четыре серии имеют преимущественное направление, совпадающее с расположением пунктов генерации сигнала относительно пункта приема. Некоторая дисперсия направленности (например, сигнала с востока) обусловлена перепадом высот исходной точкой генерации сигнала и геофона. Также возможны искажения вследствие неоднородности массива

коренной породы, в объеме которого передается сигнал, а также эффекты за счет реверберации.

Выводы. Проведенный полевой эксперимент регистрации геоакустических сигналов, сгенерированных с пунктов, с известным направлением относительно расположения геофона показал, что для оценки направленности геоакустических сигналов можно использовать предложенный алгоритм обработки временных рядов геоакустического отклика. Представление данных расчета в виде круговых гистограмм позволяет оценить преимущественное направление прихода геоакустического сигнала. Результаты эксперимента позволяют рекомендовать применять данную методику обработки данных геофона для определения преимущественных направлений прихода акустических откликов во время проведения электромагнитных

зондирований земной коры с помощью электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ-600-2).

Литература

1. *Марапулец Ю.В.* Мезомасштабная акустическая эмиссия / Ю.В. Марапулец, Б.М. Шевцов. Владивосток: Дальнаука, 2012. 126 с.
2. *Gregori G.P.* Acoustic emission in geophysics: a reminder about the method of analysis / G.P. Gregori, G. Paparo, U. Coppa, J. Marsn // *Bull. Geophys. Theor. Appl.* 2002. Vol. 43. № 1–2. P. 157–172.
3. *Paparo G.* Acoustic Emission (AE) as a diagnostic tool in geophysics / G. Paparo, G.P. Gregori, U. Coppa, R. De Ritis, A. Taloni // *Annals of geophysics.* 2002. Vol. 45. № 2. P. 401–416.
4. *Долгих Г.И.* Деформационные и акустические предвестники землетрясений / Г.И. Долгих, А.В. Купцов, И.А. Ларионов, Ю.В. Марапулец, В.А. Швец, Б.М. Шевцов, О.Н. Широков, В.А. Чупин, С.В. Яковенко // *ДАН.* 2007. Т. 41. № 5. С. 96–100.
5. *Марапулец Ю.В.* Высокочастотный акустоэмиссионный эффект / Ю.В. Марапулец // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2015. № 1 (10). С. 44–53.
6. *Закупин А.С.* Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне / А.С. Закупин, Л.М. Богомолов, В.А. Мубассарова, П.В. Ильичев // *Физика земли.* 2014. № 5. С. 105–120.
7. *Имашев С.А.* Оценка возможностей применения методов фрактального анализа для исследования геофизических данных. Часть 2. Фрактальный анализ сейсмосигнала / С.А. Имашев, В.Н. Сычев // *Вестник КРСУ.* 2017. Т. 17. № 5. С. 78–82.
8. Геоакустика – технические характеристики сейсмомприемников. URL: <http://geophone.narod.ru/TTX/ttx.html> (дата обращения: 27.11.2018)