

УДК 550.344

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований, г. Курчатов, Казахстан

Приведены результаты использования нового программного обеспечения «Locinfra» в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации в г. Алматы, для совместной обработки данных трех инфразвуковых станций – Актюбинск IS31, Курчатов, Залесово-146.

ВВЕДЕНИЕ

С марта 2005 года в ЦСОССИ на постоянной основе, ежедневно рассчитываются бюллетени инфразвуковых детектирований. Для составления бюллетеней используется информация станции IS31 Актюбинск. Эта станция установлена на северо-западе Казахстана, она была введена в эксплуатацию в 2001 г.

В декабре 2010 года была начата эксплуатация новой инфразвуковой группы в г. Курчатов на северо-востоке Казахстана. С мая 2011 года на постоянной основе составляются бюллетени инфразвуковых детектирований сигналов по всем поступающим от этой станции данным. Тем самым, уже в течение более двух лет данные двух казахстанских инфразвуковых групп обрабатываются независимо, но совместной обработки их нет. Наличие инфразвуковых бюллетеней детектирований по двум пунктам регистрации создает условия для локализации источников инфразвука, детектируемых казахстанскими группами IS31 и Курчатов.

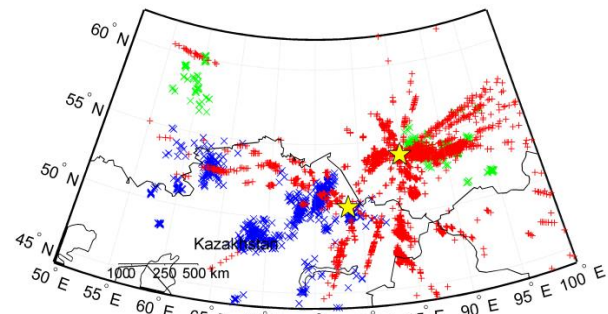
Отметим, что с марта 2012 года на постоянной основе в ЦСОССИ составляются бюллетени инфразвуковых детектирований по данным российской инфразвуковой станции IS46 Залесово, расположенной вблизи границы с Казахстаном на юге Западной Сибири. Данные этой инфразвуковой группы поступают в ЦСОССИ в режиме реального времени. Таким образом, имеются бюллетени по трем пунктам регистрации инфразвуковых событий. Резонно предположить, что в этих бюллетенях имеют место сигналы от единых событий, зарегистрированных двумя или тремя станциями. Задачей являлась разработка методов локализации таких источников по данным сети станций.

У инфразвуковых групп есть одно важное отличие от сейсмических. По данным одиночной сейсмической группы можно локализовать источник сигнала, определив азимут на источник по разности времен вступления на различных элементах группы и эпицентрального расстояние, например, по разности времен прихода различных фаз. По данным одиночной инфразвуковой группы также можно детектировать сигналы и определять их азимуты прихода. Однако, в силу сильной, быстрой и практически непредсказуемой изменчивости скоростной структуры

атмосферы по данным одиночной инфразвуковой группы нельзя определить эпицентрального расстояние. Для локализации эпицентра инфразвуковых сигналов необходимо как минимум две группы. При наличии двух и более групп азимут определяется по перекрестному пеленгу.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПМО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЕТЕВОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ И СОСТАВЛЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВЫХ БЮЛЛЕТЕНЕЙ СОБЫТИЙ

Уже первые опыты перекрестного пеленга по бюллетеням станций IS46 и Курчатов показали, что решение задачи локализации эпицентров осложнено большим количеством ложных решений. Даже при соблюдении условия физической реализуемости эпицентра количество решений слишком велико (рисунок 1).



Эпицентры событий, локализованных по данным сейсмической сети, показаны синими крестиками, по данным российской сейсмической сети – зелеными крестиками, по данным инфразвуковых групп – красными крестиками. Желтыми звездами показаны инфразвуковые группы. Приведены только физически реализуемые эпицентры. Очевидно наличие большого количества ложных решений.

Рисунок 1. Результаты перекрестного пеленга по бюллетеням станций IS46 и Курчатов

О возможности локализации инфразвуковых источников, появившейся после пуска инфразвуковой группы Курчатов, было доложено на Конгрессе по инфразвуковым технологиям 2012 г. в Корее [1]. Национальный центр данных (НЦД) Франции предложил оказать помощь в решении задачи локализации в рамках Договора о научном сотрудничестве между Комиссариатом по атомной энергии Франции и Национальным ядерным центром Казахстана. После

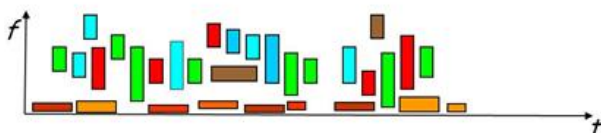
длительной подготовительной работы, прохождения стажировки специалистом из Казахстанского центра данных во Франции в конце 2013 г. в ЦСОССИ была передана адаптированная версия ПМО «Locinfra», используемого для локализации инфразвуковых событий во французском НЦД.

Методология обработки данных сети инфразвуковых станций описана в [2]. Весь процесс можно условно разделить на два основных этапа:

- 1) очистка бюллетеней детектирований от ложных решений;
- 2) прелокализация и перекрестный пеленг.

Целью первого этапа является уменьшение количества ложных решений. Задача решается последовательно в несколько этапов [3]. Первым делом, удаляются детектирования от местных источников. Затем объединяются в кластеры детектирования от одних и тех же источников и удаляются кластеры, соответствующие длительно действующим источникам.

Графически процесс представлен на рисунках 2 – 7. На рисунке 2 представлен бюллетень детектирований до процесса очистки.



По оси X отложено время прихода сигналов на станцию, по оси Y – средняя частота в семействах детектирований. Цветом на рисунке показана кажущаяся скорость детектирований от низкой – темно красной до высокой – фиолетовой

Рисунок 2. Бюллетень детектирований до процесса очистки.

На рисунке 3 показан тот же бюллетень, но после удаления всех детектирований, чья частота выше 1,5 Гц и кажущаяся скорость находится вне диапазона 0,32 км/с – 0,45 км/с. Таким образом, из бюллетеня удаляются детектирования от местных источников, которые не могут детектироваться другими станциями сети.

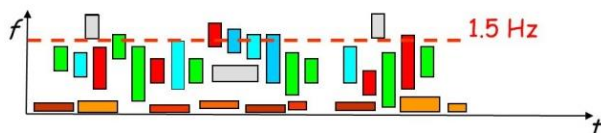


Рисунок 3. Бюллетень детектирований после удаления детектирований местных источников, чья частота выше 1,5 Гц и кажущаяся скорость находится вне диапазона 0,32 км/с – 0,45 км/с

Затем производится объединение в кластеры событий от одних и тех же источников. Сначала объединяются детектирования, имеющие близкие азимуты прихода. На рисунке 4 показан бюллетень после удаления всех детектирований, чей азимут прихода

отличается от среднего азимута в кластере более чем на 10° .

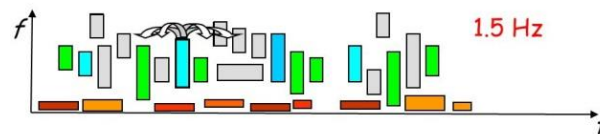


Рисунок 4. Бюллетень детектирований после удаления всех детектирований, чей азимут прихода отличается от среднего азимута в кластере более чем на 10°

Затем удаляются детектирования, имеющие существенно отличающуюся частоту. На рисунке 5 показан бюллетень после удаления всех детектирований, чья частота отличается от средней в кластере более чем на 1 Гц.

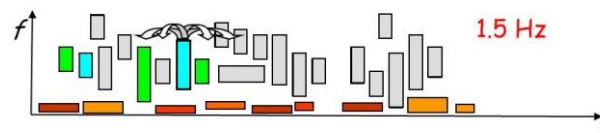


Рисунок 5. Бюллетень детектирований после удаления всех детектирований, чья частота отличается от средней в кластере более чем на 1 Гц

На рисунке 6 лиловыми рамками обведены детектирования двух кластеров, выделенных в результате вышеописанной фильтрации.

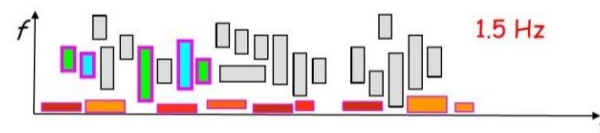
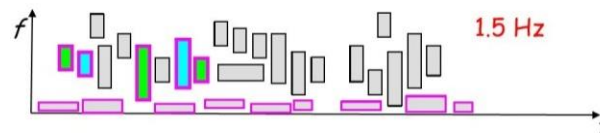


Рисунок 6. Результат объединения детектирований в кластеры. Детектирования двух кластеров обведены лиловыми рамками

На последнем этапе проверяется общая длительность полученных кластеров. Если она превышает 1800 с, такие кластеры исключаются, т.к. они соответствуют длительно действующим источникам. На рисунке 7 показан один оставшийся кластер из двух ранее выделенных. Удаленный кластер имел большую длительность, это детектирования микробаром.



Удалены детектирования микробаром. Детектирования кластера, который будет использован в локализации, выделены цветной заливкой

Рисунок 7. Результат удаления кластера, имеющего большую длительность

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПМО «LOCINFRA»

Ниже приведен пример применения процедуры очистки бюллетеней на данных станции IS31 Актюбинск. На рисунке 8 показан недельный бюллетень детектирований станции. Всего сделано 4744 детектирования, в среднем 28 в час.

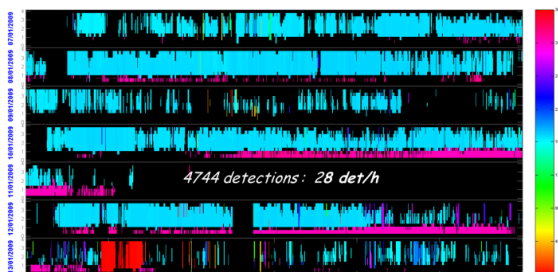


Рисунок 8. Типичный недельный бюллетень детектирований станции IS31 Актюбинск. Всего сделано 4744 детектирования, в среднем 28 в час

На рисунке 9 показаны два кластера детектирований, отсеянных процедурой очистки из-за высокой частоты и превышения пороговой длительности. Это детектирования сигналов от факелов месторождения Жанажол. Всего отфильтровано 2663 таких детектирования, что составляет 56% от общего количества.

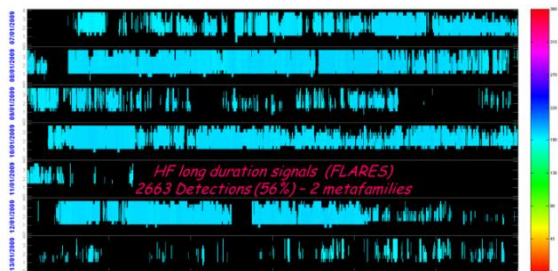


Рисунок 9. Детектирования сигналов от факелов месторождения Жанажол

На рисунке 10 показаны 10 кластеров детектирований, отсеянных процедурой очистки из-за превышения пороговой длительности. Это детектирования микробаром. Всего отфильтровано 1761 таких детектирований, что составляет 37% от общего количества.

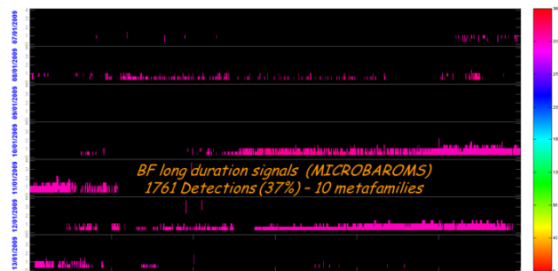


Рисунок 10. Детектирования микробаром. Детектирования отсеяны процедурой очистки из-за превышения пороговой длительности

В итоге в дальнейшую обработку поступает гораздо меньшее количество детектирований. На рисунке 11 показаны 68 кластеров детектирований (метасемейств), прошедших процедуру очистки бюллетеней. В результате осталось менее одного метасемейства в час.

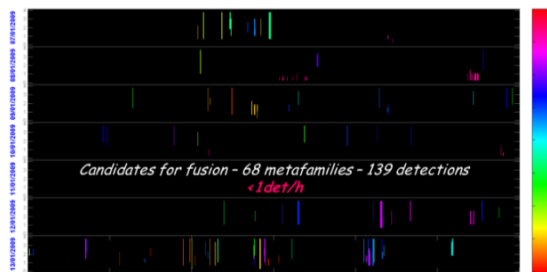


Рисунок 11. 168 метасемейств прошедших процедуру очистки бюллетеней. Итоговая плотность детектирований менее 1 кластера в час

Следующим этапом обработки являются прелокализация и перекрестный пеленг. На этом этапе принимаются некоторые допущения: точечный источник может генерировать только одно метасемейство для каждой станции, атмосфера однородна, фазовая скорость в ней равна 0,3 км/с и отклонений азимута нет. Сначала производится перекрестный пеленг для всех возможных пар баказимутов (рисунок 12).

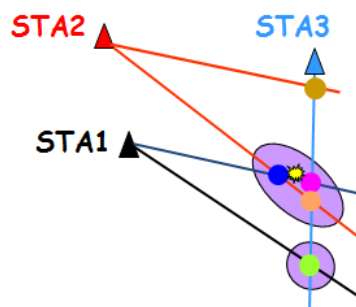


Рисунок 12. Схема перекрестного пеленга и прелокализации

Затем для каждого полученного решения рассчитываются оценочные показатели $S_{geo}(t_i, \beta_i)$ и $S_{sig}(f, Arms)$ по формулам (1) и (2): соответственно. После этого оставляются только те решения, оценочные показатели для которых не превышают некоторого порогового значения $S_{thresold}$. Затем группируются «соседние решения». Затем производится выбор оптимального решения. Основными критериями выбора являются количество станций, использованных для решения и оба оценочных показателя $S_{geo}(t_i, \beta_i)$ и $S_{sig}(f, Arms)$.

$$S_{geo} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left| \frac{dk_j - CEL}{f_j - t_0} \right| \quad (1)$$

$$S_{sig} = \sqrt{(\sigma_{frq} \cdot \alpha_{frq})^2 + (\sigma_{rms} \cdot \alpha_{rms})^2} \quad (2)$$

Прелокализация выполняется методом итеративной среднеквадратичной инверсии, для инверсии используются те же допущения – фазовая скорость равна 0,3 км/с и отклонений азимута нет.

Начиная с середины марта 2014 г. бюллетени инфразвуковых событий рассчитываются на регулярной основе. Данные инфразвуковых групп IS31 Актюбинск и Курчатова в режиме реального времени поступают в КНЦД. Расчет бюллетеней детектированных для двух станций производится в автоматическом режиме. Затем в интерактивном режиме рассчитываются бюллетени инфразвуковых событий. В ближайшее время эта стадия процесса также будет автоматизирована.

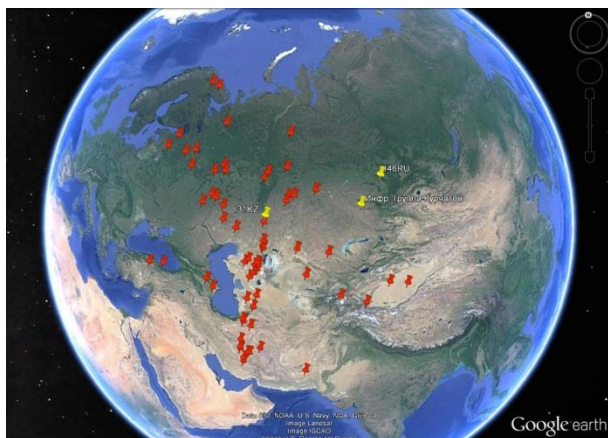


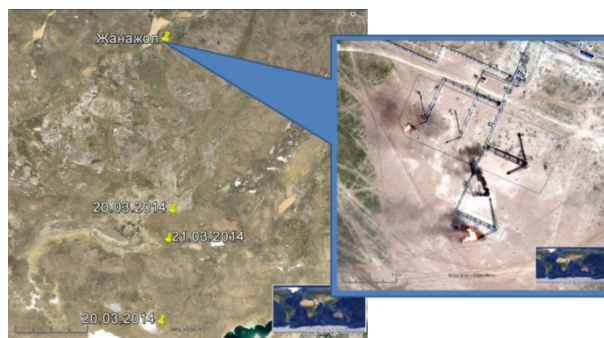
Рисунок 13. Карта размещения эпицентров источников инфразвука, локализованных по данным станций ИГИ за месяц наблюдений. Желтыми значками указаны инфразвуковые группы, красными – локализованные эпицентры

За период с 15 марта по 8 апреля были локализованы 29 эпицентров источников инфразвука. Карта размещения эпицентров представлена на рисунке 13. Желтыми значками указаны инфразвуковые группы, красными – локализованные эпицентры. Размер области, «видимой станциями» очень велик, от Кольского полуострова на севере до Ирана на юге.



Эпицентр показан желтым значком. На выноске увеличенная спутниковая фотография карьера.

Рисунок 14. Эпицентр карьерного взрыва 17 марта 2014 г. на снимках GoogleEarth



Сигналы детектированы 20 и 21 марта 2014 г. Эпицентры показаны желтыми значками. На выноске увеличенная спутниковая фотография факелов сжигания попутного газа.

Рисунок 15. Результаты локализации источников инфразвука на месторождении Жанажол

Природу некоторых событий из числа локализованных можно легко определить, например, это карьерные взрывы (рисунок 14), землетрясения, эпицентры событий 29 и 30 марта, 1 и 2 апреля на территории Ирана и газовые факелы (рисунок 15). Для ряда других событий природа будет определена в ходе будущих исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, поступившее в распоряжение ЦСОССИ ПМО «Locinfra» отвечает требованиям задачи и может использоваться для локализации источников инфразвуковых событий по данным сети инфразвуковых станций. Процедура очистки бюллетеней позволяет отфильтровать детектирования сигналов от таких источников, которые априори не могут быть зарегистрированы более чем одной станцией. Это позволяет успешно решать задачу локализации по данным сети инфразвуковых станций. Более того, очищенные бюллетени можно использовать при локализации посредством двух технологий – сейсмической и инфразвуковой. Входными данными для ПМО являются РМСС бюллетени, расчет таких бюллетеней уже налажен в ЦСОССИ. Организован расчет на постоянной основе бюллетеня инфразвуковых событий по данным станций IS31 Актюбинск и Курчатова. Уже первый месяц наблюдений показал, что по данным казахстанских инфразвуковых станций можно регистрировать источники инфразвука от севера до юга Евразии. Природу некоторых источников можно легко определить. Для ряда других событий природа является объектом будущих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smirnov A., Dubrovin V. First results of detection and location of infrasound events in Central Eurasia using data of IS46 Zalesovo station along with data from the new Kurchatov infrasound array in the northeast Kazakhstan in Infrasound Technology Workshop 2012, KIGAM, Yuseong-gu, Dajeon, Republic of Korea.
2. Le Pichon A., Vergoz J., Blanc E., Guilbert J., Ceranna L., Evers L., and Brachet N. (2009), Assessing the performance of the International Monitoring System's infrasound network: Geographical coverage and temporal variabilities, J. Geophys. Res., 114, D08112, doi:10.1029/2008JD010907.
3. Nicolas Brachet, Pierrick Mialle, David Brown and John Coyne, Preparing the Return of Infrasound Data Processing into IDC Operations, in Infrasound Technology Workshop 2006, in Bermuda 3-7 November 2008.

ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР ИНСТИТУТЫ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ИНФРАДЫБЫСТЫҚ СИГНАЛДАРДЫҢ КӨЗДЕРІН ІЗДЕУ

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

Қазақстан, Курчатов қ., Геофизикалық зерттеулер институты

Үш инфрадыбстық станциялардың – Ақтөбе IS31, Курчатов, Залесово-I46 – деректерін бірлесітіріп өңдеу үшін Арнаулы сейсмикалық апаратын жинау және өңдеу орталығында (Алматы қ.) жаңа “Locinfra” программалық жасауын пайдалану нәтижелері келтірілген.

SEARCH FOR INFRASOUND SIGNAL SOURCES BASED ON THE INSTITUTE OF GEOPHYSICAL RESEARCH STATIONS DATA

V.I. Dubrovin, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of a new “Locinfra” software use in the Center for Acquisition and Processing of Special and Seismic Information in Almaty city for a joint data processing of three infrasound arrays – Aktyubinsk IS31, Kurchatov, Zalesovo-I46.