

УДК 550.344

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКОЙ СЕТЬЮ СТАНЦИЙ

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Институт геофизических исследований проводит непрерывный инфразвуковой мониторинг. Производится локализация событий, классификация значимых источников инфразвука на территории Казахстана и прилегающих областей Центральной Азии. Используется программное обеспечение «Locinfra», предоставленное Комиссариатом атомной энергии Франции. Приведены первые результаты совместной обработки данных разных инфразвуковых станций и внедрения в практику текущего инфразвукового мониторинга методики автоматизированной локализации инфразвуковых событий, с использованием данных нескольких инфразвуковых станций, составляющих сеть инфразвуковых станций в Центральной Азии.

### ВВЕДЕНИЕ

На протяжении почти десяти лет в ЦСОССИ на постоянной основе, ежедневно рассчитываются бюллетени инфразвуковых детектирований по станционным данным. Для составления бюллетеней используется информация станций IS31 Актюбинск, инфразвуковой группы Курчатов и российской инфразвуковой станции IS46 Залесово.

Инфразвуковая станция IS31 Актюбинск входит в состав Международной системы мониторинга (МСМ). Группа состоит из 8 элементов, оснащенных микробарометрами MB2000, апертура группы 2 км. Установлена на северо-западе Казахстана и была введена в эксплуатацию в 2001 г.

Инфразвуковая станция Курчатов «KURIS» располагается на северо-востоке Казахстана, на территории г. Курчатов. Эксплуатация начата в декабре 2010 года. Состоит из 4 элементов, использованы микробарометры MB2005. С мая 2011 года на постоянной основе составляются бюллетени инфразвуковых детектирований сигналов по всем поступающим от этой станции данным.

Инфразвуковая станция IS46 Залесово входит в состав МСМ, состоит из 4 элементов. Расположена вблизи границы с Казахстаном, на юге Западной Сибири. Данные этой инфразвуковой группы поступают в ЦСОССИ в режиме реального времени. С марта 2012 года, на постоянной основе в ЦСОССИ по ее данным составляются бюллетени инфразвуковых детектирований. Все инфразвуковые станции являются группами, варьируется только количество элементов. Расположение инфразвуковых групп показано на рисунке 1.

На рисунке 2 показаны азимутальные гистограммы детектирований инфразвуковых сигналов по каждой из трех станций за 1 месяц (январь 2015 г.). Количество детектирований варьирует от станции к станции. По IS31 фиксировано до 10000 сигналов, по IS46 – лишь несколько сотен.

Тем самым, в ЦСОССИ в течении последних трех лет имеются бюллетени детектирований трех инфразвуковых групп. Резонно предположить, что в

этих бюллетенях имеют место сигналы от единичных событий, зарегистрированных двумя или тремя станциями. Задачей работы является оптимизация параметров локализации событий, классификация значимых источников инфразвука на территории Казахстана и прилегающих областей.

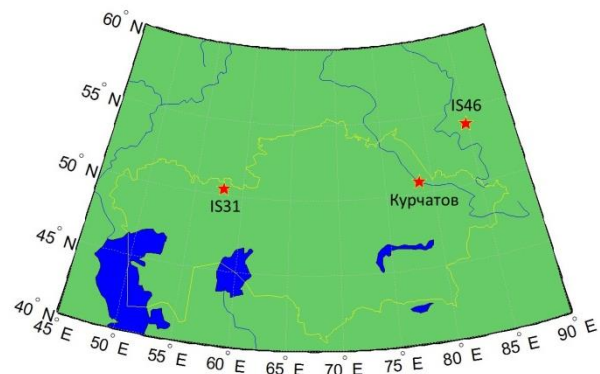


Рисунок 1. Расположение инфразвуковых станций IS31-Актюбинск, IS46-Залесово и Курчатов



Рисунок 2. Гистограммы азимутального распределения детектирований инфразвуковых групп за январь 2015 г.

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 вступлений 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 не-

предсказуемой 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 источник определяется по перекрестному пеленгу.

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СЕТЕВОЙ  
ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИНФРАЗВУКОВЫХ  
СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПМО «LOCKINFRA»**

В конце 2013 г. Национальный центр данных (НЦД) передал в ЦСОСИ адаптированную версию ПМО «Locinfra» [1], 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. Это: 1) очистка бюллетеней детектирований от ложных решений и 2) прелокализация и перекрестный пеленг.

Алгоритм обработки включает:

- ассоциирование детектирований, имеющих сходные характеристики. Учитываются такие параметры, как азимут, фазовая скорость, частота и время. Пороговые значения подбираются с учетом чувствительности каждой отдельной группы к этим параметрам.

- фильтрацию, при которой удаляются два типа детектирований: 1) местных источников при которой исключаются те, у которых доминантная частота выше 1,5 Гц и кажущаяся скорость выходит за пределы диапазона 0,32 – 0,45 км/с; 2) постоянно действующих источников, при которой выявляются кластеры детектирований, имеющие большую длительность, обычно превышающую 1800 с. В результате из бюллетеней отфильтровываются от 85 % до 95 % детектирований, главным образом, микробаром и местных промышленных сигналов. Входными данными для ПМО «Locinfra» являются РМСС-бюллетени по каждой станции.

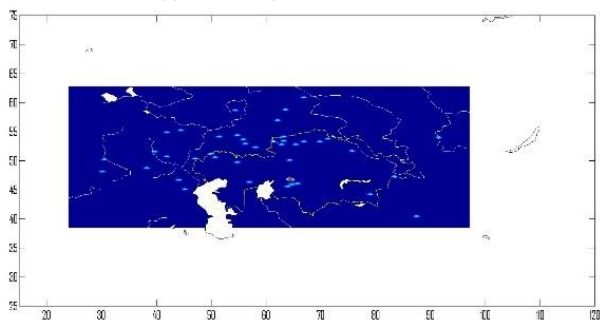


Рисунок 3. Карта плотности эпицентров инфразвуковых событий по данным трех инфразвуковых станций за 2013-2015 гг.

Автоматический расчёт бюллетеней инфразвуковых детектирований по станциям производится ежедневно. Получаемые данные позволяют делать об-

зор и проводить исследования для классификации источников событий. На рисунке 3 приведена обзорная карта плотности эпицентров событий, локализованных по данным трех станций, за период с января 2013 г. по март 2015 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИНФРАЗВУКОВЫХ  
ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА  
И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Уже первые результаты внедрения методики позволили локализовать на территории Казахстана и в прилегающих районах эпицентры как ранее известных (микробаромы, факелы сгорания, карьерные взрывы и др.), так и никогда ранее не детектировавшихся источников. [3].

Как видно из рисунка 3, тремя инфразвуковыми станциями удалось локализовать источники на достаточно большой территории Евразии - на территории Казахстана, части территорий России и Китая. Самое яркое по плотности эпицентров «пятно» относится к территории космодрома Байконур. Инфразвуковые сигналы от запусков ракет-носителей имеют большую интенсивность и уверенно регистрируются всей сетью инфразвуковых станций [4].

Далее из известных нам источников хорошо локализируются активные карьеры, где производятся взрывы для добычи полезных ископаемых. Такие карьеры отмечены по инфразвуковым данным на севере и западе Казахстана, на российской территории в Кузбассе в ряде других мест. Следует заметить, что ряд зарегистрированных источников не находит пока объяснения о природе их возникновения.

Для оценки изменчивости картины локализуемых инфразвуковых событий во всем регионе были построены карты плотности эпицентров за каждый квартал с 2013 по 2015 год. При этом анализировались события, локализованные как по трем, так и по двум инфразвуковым станциям. На рисунках 4, 5, 6 представлены некоторые поквартальные карты плотности эпицентров.

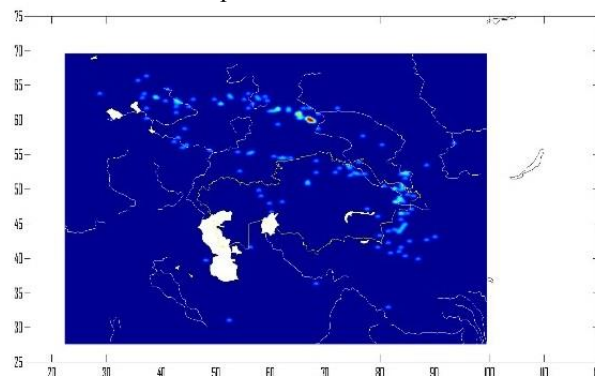


Рисунок 4. Карта плотности эпицентров инфразвуковых событий за I квартал 2013 года

На рисунке 4 представлена карта за 1 квартал 2013 года. На этой карте наиболее яркое «пятно» находится на территории России в районе нефтегазо-

добывающих районов Западной Сибири. Также на карте прослеживается ряд карьеров, где проводились взрывы. Можно отметить большое количество дополнительных инфразвуковых источников непонятной природы.

На карте за III квартал 2013 года самое яркое «пятно» плотности эпицентров находится в Восточном Казахстане. Оно наблюдалось и в другие кварталы 2013 года, но практически исчезло в первые три квартала 2014 года. Этот источник пока неизвестной природы будет исследоваться нами дополнительно. Большие надежды при этом возлагаются на открытие новой инфразвуковой станции Маканчи, которая уже начата сооружаться близ сейсмической группы Маканчи в сотрудничестве с AFTAC.

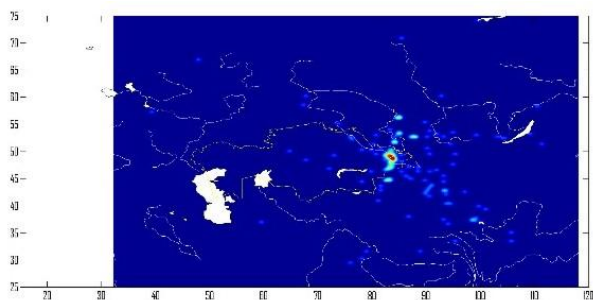


Рисунок 5. Карта плотности эпицентров инфразвуковых событий за III квартал 2013 года

На рисунке 6 за IV квартал 2014 года обращает на себя внимание значительно возросшее количество событий на всей исследуемой территории. Это может быть связано с тем, что в предыдущее время на одной из станций инфразвуковой сети - станции Залесово - работали не все элементы, что не позволяло по ее данным проводить надежное детектирование сигналов. В 2014 году станция была реконструирована и заработала в полном объеме. Количество локализованных событий увеличилось, что нашло отражение на картах. Очень четко проявляются взрывные районы в Кузбассе, карьеры в северном Казахстане. Много источников требуют дополнительных исследований их природы.

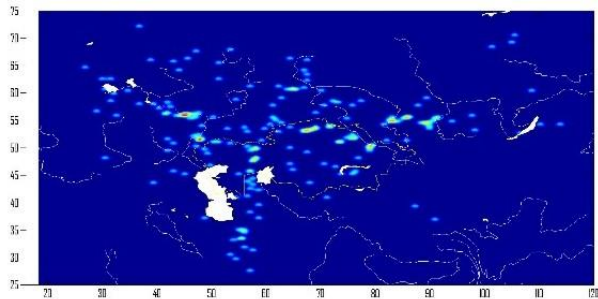


Рисунок 6. Карта эпицентров инфразвуковых событий за IV квартал 2014 года

Итак, анализируя карты плотности эпицентров инфразвуковых событий за разные отрезки времени, можно утверждать, что вариациям подвержено как количество событий, так и их пространственное распределение. Имеются как источники, наблюдающиеся практически во всех временных отрезках, так и те, которые действуют только в короткое время. При этом заметим, что на первом этапе работы с ПМО «Locinfra» уже были исключены из рассмотрения такие мощные постояннодействующие источники, как факелы сжигания попутного газа на месторождениях и микробаромы.

Рассмотрим вариации количества событий, в локализации которых участвовали отдельные станции сети. На рисунке 7 показано общее количество локализованных инфразвуковых событий, а также число локализаций, в которых участвовали конкретные станции инфразвуковой сети.

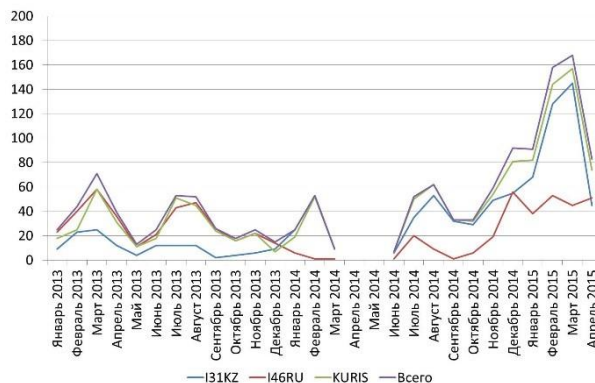


Рисунок 7. Вариации количества локализованных инфразвуковых событий по всей сети и по отдельным станциям

На графиках видны вариации, которые отражают как объективный факт связи обнаруживаемых событий с атмосферными вариациями, так и субъективные факты влияния состояния работоспособности станций. На общем графике (сиреневая линия) отмечаются полугодовые вариации, связанные со сменой направления ветров в атмосфере. Чередуются периоды высокой «детектируемости» сигналов с почти полным отсутствием обнаружений, как например в апреле-мае 2014 года. До 2014 года количество локализаций максимально доходило до 150 в месяц. С конца 2014 года количество инфразвуковых событий резко возросло (более, чем в два раза). Это объективный факт, поскольку видно, что, как по станции IS31 Актюбинск, так и по станции «KURIS» число событий также резко возросло в этот период. Станция Залесово (красная линия) с 2014 года наладила свою работу, по ней тоже заметно возрастание количества событий.

Предстоит выяснить, с какими процессами связано это увеличение, какие источники определяют столь значительный рост количества событий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2014 г. осуществлено тестирование и внедрение в практику текущего инфразвукового мониторинга методики автоматизированной локализации инфразвуковых событий с использованием данных нескольких инфразвуковых станций, составляющих сеть инфразвуковых станций в Центральной Азии. Методика применяется в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации ИГИ РК, результатом чего являются бюллетени инфразвуковых событий, полученные при автоматизированной обработке данных трех станций: IS31-Актюбинск, IS46-Залесово и Курчатов. Методика использует четвертое поколение программного детектора РМСС (Комиссариат атомной энергии Франции) и программу локализации «Locinfra».

1. Проведено картирование локализованных инфразвуковых источников. Только по инфразвуковым

данным локализованы на территории Казахстана и в прилегающих районах эпицентры как ранее известных (запуски ракет-носителей с космодрома Байконур, карьерные взрывы, взрыв болида в атмосфере и др.), так и никогда ранее не детектировавшихся источников. Дальнейшее использование метода при обработке данных сети станций позволит решить несколько новых задач: оптимизировать параметры локализации событий, найти и классифицировать значимые источники инфразвука на территории Казахстана.

2. Первые результаты имеют методическое и практическое значение для Международной системы мониторинга. Они демонстрируют возможности систем по детектированию событий, отражают сильную зависимость возможности детектирования от состояния атмосферы, а также от работы станций, составляющих систему наблюдений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Le Pichon, A. Analyzing the detection capability of infrasound arrays in Central Europe / A. Le Pichon, J. Vergoz, P. Herry, L. // Ceranna urnal of Geophysical Research, 2008. - vol. 113, D12115, doi:10.1029/2007JD009509.
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. Дубровин, В.И. Поиск источников инфразвуковых сигналов по данным станций института геофизических исследований / В.И. Дубровин, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК, 2014. - Вып. 4. – С. 60-64.
4. Gopalaswamy, B. Infrasound detection of rocket launches / B. Gopalaswamy, A.A. Smirnov / Comprehensive nuclear-test-ban treaty: ISS 09. Book of Abstracts, Vienna, 10-12 June 2009.

## ОРТААЗИЯЛЫҚ СТАНЦИЯЛАР ЖЕЛІСІМЕН ИНФРАДЫБЫСТЫ МОНИТОРИНГТІҢ БІРІНШІ НӘТИЖЕЛЕРІ

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Геофизикалық зерттеулер институты үздіксіз инфрадыбыстық мониторинг жүргізуде. Қазақстан аумағы мен Орта Азияның жанасқан аумақтарындағы оқиғаларды жергіліктеуі, инфрадыбыстың маңызды көздерін түрлендіруі жүргізіледі. Францияның Атом энергиясы комиссариатымен берілген «Locinfra» программалық жасауы пайдаланылады. Әр инфрадыбысты станциялардың деректерін бірлестіре өңдеудің және ағымдағы инфрадыбыстық мониторингі қызметіне, Орта Азияда инфрадыбыстық станциялар желісін құрайтын бір неше инфрадыбыстық станциялардың деректерін пайдаланып, инфрадыбысты оқиғаларды автоматты жергіліктеу әдістемесін енгізудің бірінші нәтижелері келтірілген.

## FIRST RESULTS OF INFRASOUND MONITRING BY CENTRAL ASIA STATIONS NETWORK

V.I. Dubrovin, A.A. Smirnov

*RSE Institute of Geophysical Researches, CAE RK, Almaty, Kazakhstan*

The Institute of Geophysical Researches conducts continuous infrasound monitoring. The events are located, significant infrasound sources on the territory of Kazakhstan and adjacent regions of Central Asia are classified. “Locinfra” software provided by the Commissariat of Atomic Energy of France is applied. The first results of joint processing of data from different infrasound stations and practical adoption of automated location of infrasound events using data of several infrasound stations forming a network of infrasound stations in Central Asia into the practice of current infrasound monitoring are shown.