

УДК 550.34.064

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Описана методика локализации эпицентров событий при совместном использовании инфразвуковых и сейсмических данных. Приводятся примеры применения этой методики на данных по взрывам в карьерах Хромтау, Коктау и Теренсай.

Многолетний опыт изучения сейсмических сигналов от взрывов в карьерах на северо-западе Казахстана показал, что фактическая точность локализации источника по сейсмическим данным, с одной стороны, и большая плотность карьеров в этом районе, с другой стороны, не позволяют точно идентифицировать карьерный взрыв - погрешность локализации часто соизмерима с расстоянием между карьерами. На рисунке 1 показаны результаты лока-

лизации взрывов, произведенных в январе 2008 г., по данным сейсмических станций НЯЦ РК, иллюстрирующей практически равномерное покрытие изучаемой площади.

Для повышения точности локализации предлагается использовать дополнительные источники информации, а именно, записи инфразвуковой группы IS31- Актюбинск.

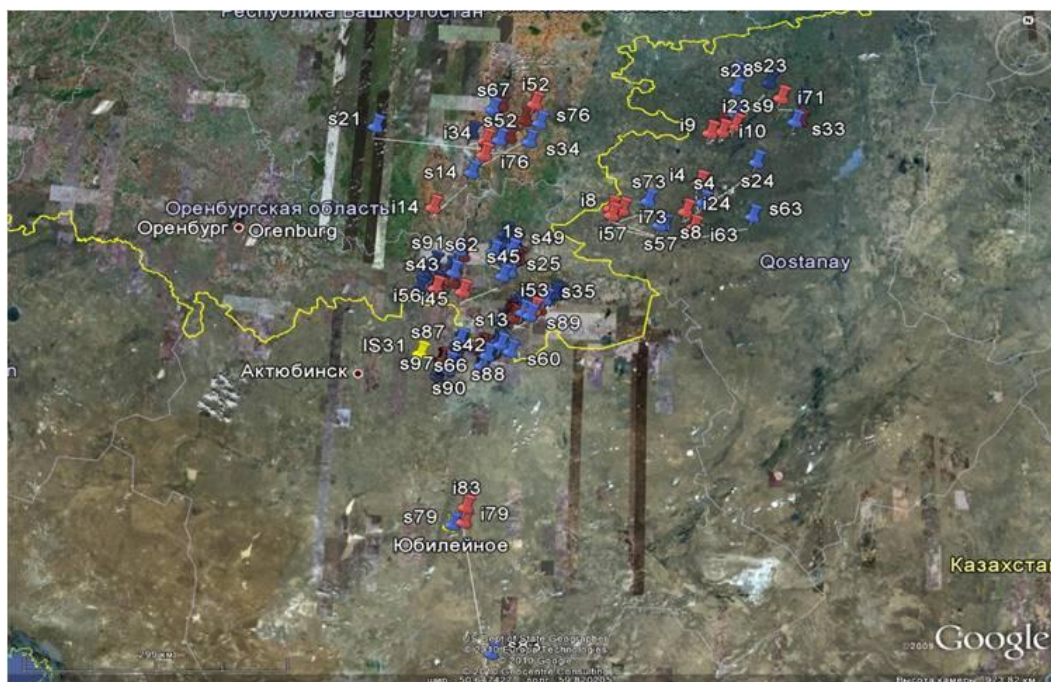


Рисунок 1. Эпицентры карьерных взрывов по данным сейсмических станций – синие значки, и по совместным сейсмическим и инфразвуковым данным – красные значки

МЕТОДИКА

В [1] показано, что с помощью инфразвуковой группы можно достаточно точно определять азимут на источник. Однако для локализации источника события, необходимо определить и расстояние. Горизонтальная скорость распространения инфразвуковой волны, необходимая для определения расстояния, зависит от множества факторов, но ее значение обычно близко к 0,3 км/с. Используя это значение скорости, время вступления инфразвуковых волн и время в источнике по сейсмическим волнам, можно локализовать источник инфразвуко-

вого сигнала в первом приближении (первичная локализация). Далее результаты этой оценки можно использовать для моделирования пути распространения инфразвука методом tau-p [2] и получить уточненные азимут и горизонтальную скорость. Практическая реализация методики первичной локализации включала следующие шаги:

1. Отбор из интерактивного сейсмологического бюллетеня КНЦД [3] всех взрывов, произведенных в январе 2008 г. на северо – западе Казахстана (информация собрана геологом КНДС А.Е. Великановым).

2. Определение расстояния от эпицентров событий до инфразвуковой группы IS31-Актюбинск, азимуты от станции на эпицентры, времена пробега и ожидаемые времена прихода инфразвуковых волн.

3. Отбор из автоматических инфразвуковых бюллетеней РМСС [4] детектирований, соответствующих отобраным сейсмическим событиям (по значениям азимутов и времен прихода, близким к ожидаемым). Всего отобрано 125 событий из сейсмических бюллетеней и 97 соответствий в автоматических инфразвуковых бюллетенях).

4. Первичная локализация по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных по наблюдаемым азимутам на источники и временам прихода

инфразвуковых волн, а также по временам в источниках, полученным по сейсмическим данным.

5. Вынесение результатов первичной локализации на спутниковые снимки Google Earth: (рисунки 1 – 4, синие значки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВИЧНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Анализ пространственного распределения эпицентров событий по сейсмической и первичной комплексной локализации (рисунок 1) показал, что можно выделить несколько подмножеств событий. Каждому подмножеству соответствует карьер, дешифрируемый по космическим снимкам. В данном случае изучались Хромтау (ближайшее к станции IS31 облако точек на рисунке 2), Коктау (облако точек на рисунке 3) и Теренсай (облако точек на рисунке 4).



Значки: синий – результат по сейсмическим данным; красный – по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных
Выноска - карьер Хромтау

Рисунок 2. Места проведения взрывов в карьерах Хромтау по данным сейсмических станций сети НЯЦ РК

Эпицентры взрывов по комплексу данных расположены гораздо более плотно, чем результаты локализации только по сейсмическим данным. Однако имеется систематическая ошибка локализации, очевидно, вызванная использованием приближенного значения горизонтальной скорости. Азимутальные ошибки на таких расстояниях существенно не влияют на результаты локализации. В каждую группу входит 13 пар эпицентров взрывов – карьер Хромтау, 11 пар эпицентров – карьер Коктау, 11 пар эпицентров – карьер Теренсай на расстоянии порядка 160 км. Всего реализация первой части предлагаемой методики позволила найти соответствующие карьеры для 74 событий из 125 проверенных. Для рудников Хромтау, Коктау и Теренсай, точно установлено, что взрыв произведен в пределах территории этих рудников.

РЕЗУЛЬТАТЫ УТОЧНЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Карьер Хромтау Донского ГОКа имеет несколько близко расположенных карьеров, и для большей



Значки: синий – результат по сейсмическим данным; красный – по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных
Выноска - карьер Коктау

Рисунок 3. Места проведения взрывов в карьерах Коктау по данным сейсмических станций сети НЯЦ РК

определенности были перелокализованы взрывы, произведенные только в карьере Южный, где в 2008 г. они производились наиболее часто. Карьер Южный расположен на расстоянии 31,2 км к востоку от станции IS31 (рисунок 5). Моделирование хода инфразвуковых лучей произведено с помощью программного обеспечения Tau-p/WASP[2]. Параметры профилей ветра и температуры взяты из моделей ARPEGE и HWM93 и MSIS90 [5].

На рисунке 6 показана картина хода лучей, рассчитанная для взрыва, произведенного 3 января 2008 г. в карьере Южный. Как видно из рисунка 6, на станции ожидается приход лучей, распространяющихся на самой малой высоте – в приповерхностном слое. Такая картина типична для эпицентрального расстояния порядка 30 км.

На рисунке 7 приведены отклонения наблюдаемых баказимутов от истинного и предсказанные поправки к баказимутам.



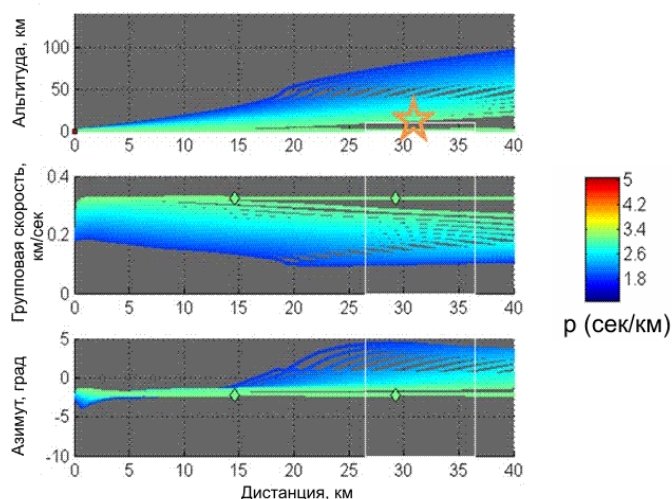
Значки: синий – результат по сейсмическим данным; красный – по комплексу сейсмических и инфразвуковых данных. Выноска – карьер Теренсай

Рисунок 4. Места проведения взрывов в карьерах Теренсай по данным сейсмических станций сети НЯЦ РК



Кружки: голубой - инфразвуковая группа, красный – сейсмическая группа. Звездочка – карьер. Красная линия – трасса моделирования распространения инфразвука.

Рисунок 5. Схема взаимного расположения сейсмических станций AKTO-AS059, инфразвуковой группы IS31 и карьеров



Сверху вниз: зависимость от расстояния: высоты поворота лучей к земле, групповой скорости, отклонения азимута

Рисунок 6. Результаты моделирования хода лучей для взрыва, произведенного 3 января 2008 г. в карьере Южный (Хромтау)

Рисунок 7 показывает, что моделирование хорошо предсказывает тенденцию развития девиаций азимутов, вызываемых сезонными изменениями атмосферы. Однако абсолютные значения поправок могут иметь расхождения, превышающие 2° . Аналогичные результаты получены также для карьеров Коктау и Теренсай.

На рисунке 8 приведены результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере Южный Донского ГОК (Хромтау). Средняя ошибка локализации по сейсмическим данным составляет около 12.3 км, «грубой» локализации по комплексу ин-

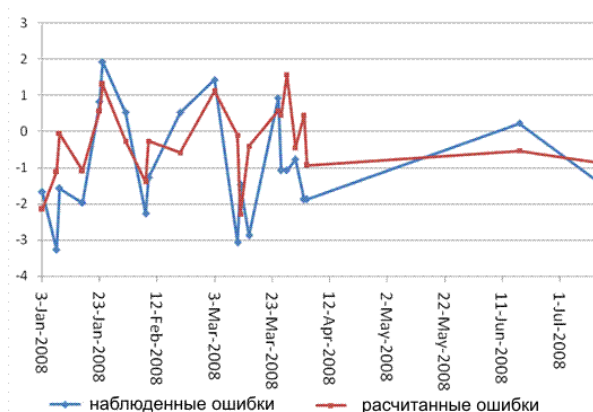
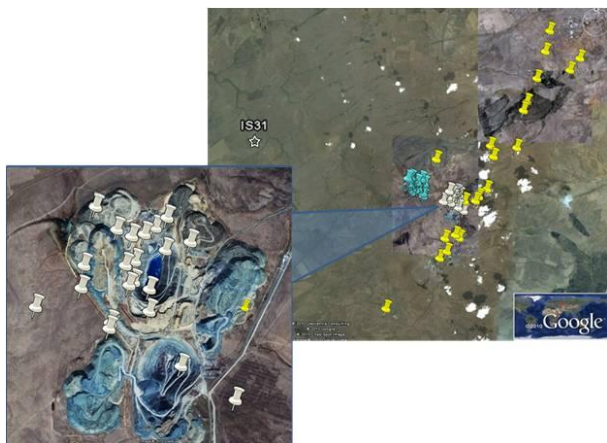


Рисунок 7. Отклонения азимутов на источник для взрывов, произведенных в карьере Южный (Хромтау) в первой половине 2008 г.

инфразвуковых и сейсмических данных – 6.3 км и локализации по комплексу данных с уточненными параметрами около 0.9 км. Применение предложенной выше схемы позволило увеличить точность более, чем на порядок.

На рисунке 9 показаны результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере Коктау (50 лет Октября) в первой половине 2008 г.: средняя ошибка локализации по сейсмическим данным составила 10,4 км, а локализации по комплексу данных с уточненными параметрами - около 2 км.



Значки: желтый – локализация по сейсмологическим данным; зеленый – предварительная локализация по сейсмическим и инфразвуковым данным; белый – локализация с уточненными в результате моделирования значениями баказимутов и групповых скоростей и уточненных времен про бега

Рисунок 8. Результаты локализации взрывов, произведенных в карьере Южный (Хромтау) в первой половине 2008 г.

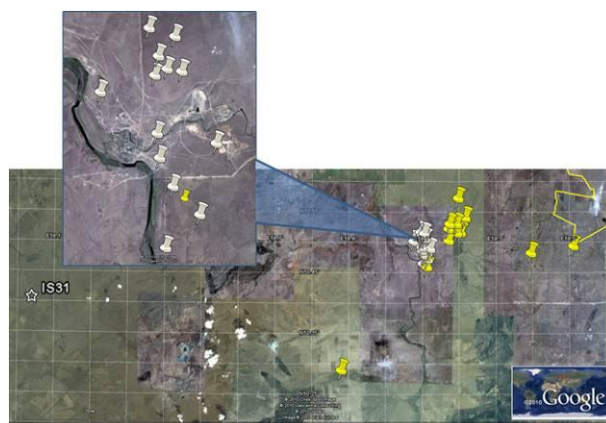


Рисунок 9. Результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере 50 лет Октября (Коктау) в первой половине 2008 г.

Карьер Теренсай находится в 162 км к северо-востоку от станции IS31 (рисунок 5). Из списка событий сейсмического бюллетеня КНИЦД отобраны 16 событий, произведенных в карьере Теренсай (Джусинское) в 2008 г., для которых удалось найти соответствующие детектирования в инфразвуковых бюллетенях, рассчитать траектории хода инфразвуковых волн от источника до станции и переснять времена вступления инфразвука. На рисунке 10 приведены результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в этом карьере: средняя ошибка локализации по сейсмическим данным составила около 16,7 км, а локализации по комплексу данных с уточненными параметрами около 2,3 км.

Таким образом, совместное использование инфразвуковых и сейсмических данных для трех изученных карьеров, показало существенное повышение точности определения эпицентров источника. Дальнейшее совершенствование методики связано с использованием более точных атмосферных моделей.



Условные обозначения те же, что на рисунке 8.

Рисунок 10. Результаты локализации карьерных взрывов, произведенных в карьере Теренсай (Джусинское) в 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асминг, В.Э. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками / В.Э. Асминг, З.А. Евтюгина, Ю.А. Виноградов, А.В. Федоров // Вестник МГТУ, 2009. – т. 12, № 2 – С. 300 - 307.
2. Garces, M. A. Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere / M. A. Garces, R. A. Hansen, K. G. Lindquist // Geoph. J. Int., 1998. – P. 135, 255 – 263.
3. Интерактивный сейсмологический бюллетень КНИЦД [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://kndc.kz/rus/index.php?p=0&f=data.html>.
4. Cansi, Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The PMCC method / Y. Cansi // Geophys. Res. Lett., 1995. – 22. – P. 1021 – 1024.
5. Déqué, M. The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modeling / M. Déqué, A. Dreveton, A. Braun, D. Cariolle // Climate Dynamics, 1994. – P. 10, 249 - 266.

**ОҚШАУЛАУ ДӘЛДІГІН ЖОҒАРЫЛАТУ ҮШІН ИНФРАДЫБЫСТЫҚ
ЖӘНЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ БІРЛЕСТІРІП ПАЙДАЛАҢУ**

Дубровин В.И., Смирнов А.А.

ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Оқиғалардың эпиорталықтарын инфрадыбыстық және сейсмикалық деректерді бірлестіріп пайдалану кезінде оқшаулау әдістемесі сипатталған. Хромтау, Көктау және Теренсай карьерлерінің жарылыстары бойынша деректерде осы әдісті пайдалану үлгілері көрсетілген.

COMBINING INFRASOUND AND SEISMIC DATA TO IMPROVE IN LOCATING EVENTS

V.I. Dubrovin, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Epicenter locating method with combining seismic and infrasound data has been described. The examples of this method application to the data from quarry blasts in Khromtau, Koktau and Terensai are given.