

УДК 550.34.034

ВКЛАД КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ В ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ

Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Обобщены данные, дающие представление о вкладе станций Казахстана в сравнении с другими станциями Международной системы мониторинга (МСМ) в бюллетень REB (Обзорный бюллетень событий) Международного центра данных (МЦД) по количеству обнаруженных и ассоциированных фаз. Показано, что все станции Казахстана, как сейсмические, так и инфразвуковые, достаточно эффективны в мониторинге и занимают одни из первых мест. Это подтверждено результатами картирования эпицентров событий мира, а также такими параметрами, как минимальная магнитуда и соотношение количества событий, выявленных с участием казахстанских станций, к общему количеству событий в бюллетене REB. Детально рассмотрен регион Центральной Азии (ЦА) в результатах REB и бюллетенях казахстанского национального центра данных (KNDC) – сейсмическом и инфразвуковом, – с примерами оценки реальной точности локализаций. Инфразвуковой бюллетень событий KNDC по ЦА сравнен с REB. В бюллетене KNDC локализация проведена по данным четырех инфразвуковых станций, включая одну российскую станцию Залесово. Отмечено большее количество событий в бюллетене KNDC по сравнению с REB.

ВВЕДЕНИЕ

Казахстанский сегмент Международной системы мониторинга (МСМ) ОДВЗЯИ (Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний) представлен пятью станциями – четырьмя сейсмическими и одной инфразвуковой. В числе сейсмических станций – одна станция первичной системы мониторинга (Маканчи PS-23) и три вспомогательных (Боровое AS-57, Курчатов AS-58, Актюбинск

AS-59). Инфразвуковая станция мониторинга – это станция Актюбинск IS-31. Данные всех станций используются в Международном центре данных (МЦД) при составлении сейсмических бюллетеней различной оперативности, в том числе обзорного бюллетеня событий REB. На рисунке 1 показана сводная карта расположения всех станций, входящих в систему МСМ, на рисунке 2 – казахстанские станции системы МСМ.

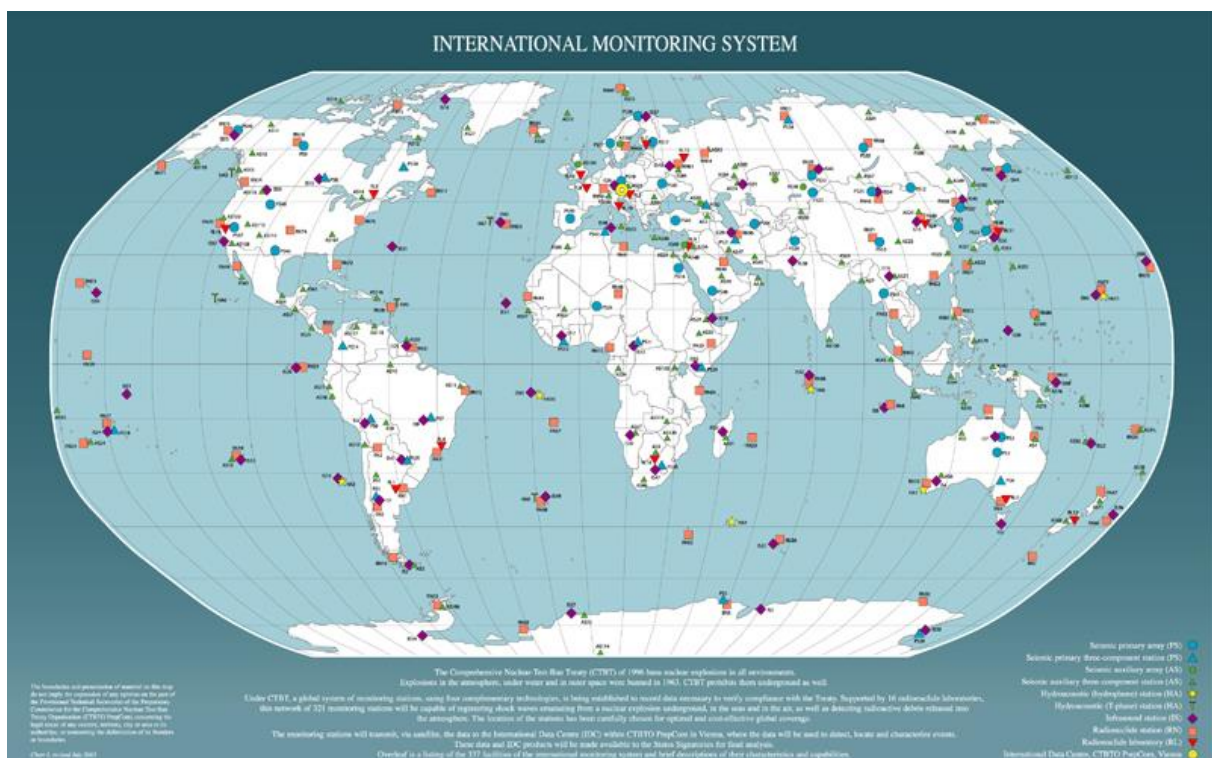
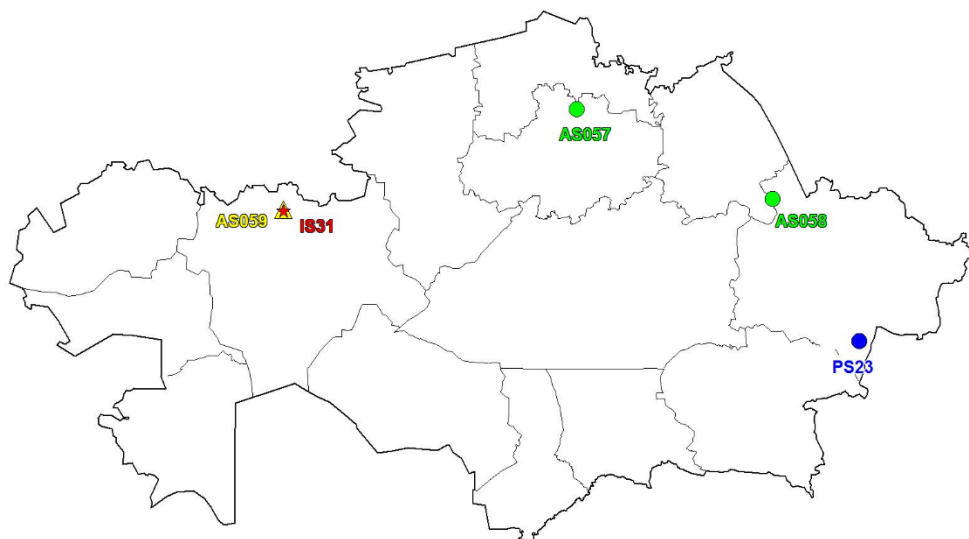


Рисунок 1. Карта расположения всех станций МСМ



Станции: PS23- первичная сейсмическая группа (СГ) Маканчи; AS058 - вспомогательная СГ Курчатов-Крест; AS057 - вспомогательная СГ Боровое; AS059 - вспомогательная 3-х компонентная станция Актюбинск; IS31-инфразвуковая станция Актюбинск

Рисунок 2. Расположение казахстанских станций, входящих в систему МСМ

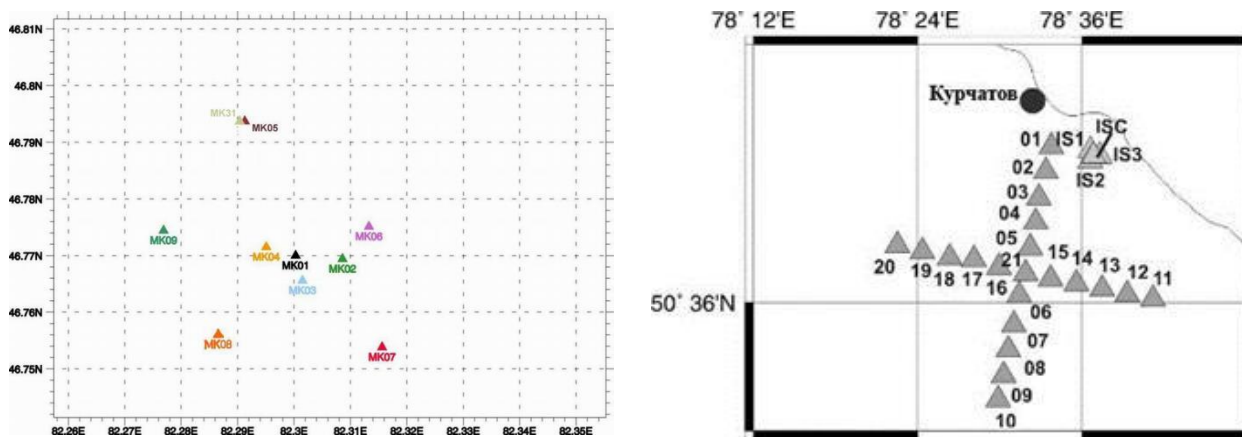


Рисунок 3. Конфигурация первичной сейсмической группы Маканчи (слева) и вспомогательной сейсмической группы Курчатов-Крест (справа)

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Сейсмические группы в Казахстане представлены станциями разной конфигурации, апертурой с разным количеством элементов в группе. На рисунке 3 приведены примеры конфигураций двух сейсмических групп: Маканчи (MKAR) и Курчатов-Крест (KURK). Группа Маканчи имеет аперттуру 4 км, состоит из 9 однокомпонентных станций с вертикальными сейсмометрами и одним трехкомпонентным сейсмометром. Все элементы группы расположены условно по двум окружностям разного диаметра. Группа Курчатов-Крест имеет аперттуру 21 км, состоит из 21 вертикального сейсмометра и одного трехкомпонентного сейсмометра в центре группы. Сейсмометры расположены вдоль двух взаимно перпендикулярных профилей.

В состав сети сейсмического мониторинга, находящейся под оперативным управлением Института

геофизических исследований (рисунок 4), кроме станций МСМ, входят станции, интегрированные в другие глобальные сети: Каратау (KKAR) на юге Казахстана, Акбулак (ABKAR) на западе Казахстана, - созданные совместно с AFTAC (США) и входящие в сеть мониторинга AFTAC. Эти станции также являются сейсмическими группами и имеют конфигурацию, аналогичную конфигурации группы Маканчи. В состав сети мониторинга входят три трехкомпонентные станции сети GSN (Global Seismographic Network), созданной консорциумом IRIS (Incorporated Research Institutions Seismology): Маканчи (MAKZ), Боровое (BRVK) и Курчатов (KURK). Кроме станций мировых сетей имеются станции, поддерживаемые только Институтом геофизических исследований: KNDC, Подгорное – PDGK и Ортау - OTUK (рисунок 4).

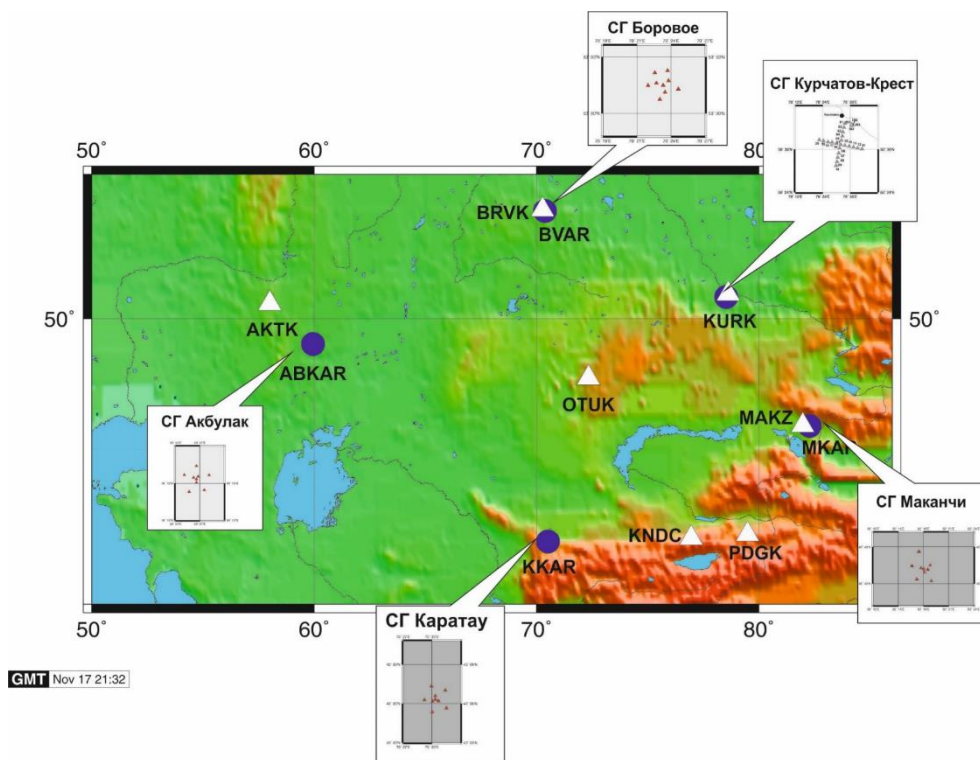


Рисунок 4. Сеть сейсмических станций сети мониторинга, работающая под управлением Института геофизических исследований на территории РК

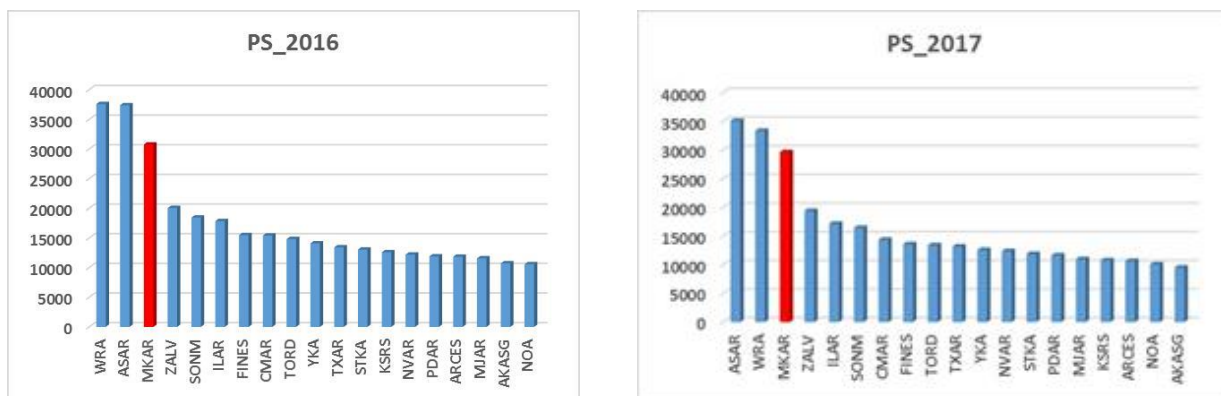


Рисунок 5. Распределение первичных станций МСМ по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB за 2016 (слева) и 2017 (справа) годы

Данные станций сейсмического мониторинга в режиме реального времени поступают в Центр данных в г. Алматы, являющийся Казахстанским национальным центром данных в системе МСМ. В Международном центре (МЦД) в г. Вена данные станций Казахстана используются при обработке сейсмических событий, происходящих на земном шаре. Эффективность казахстанских станций в этой деятельности МЦД может быть оценена по их участию в бюллетене событий REB (Reviewed Event Bulletin) [1, 2] – рисунок 5. По числу ассоциированных фаз в бюллетене REB 2016 и 2017 гг. сейсмическая группа Маканчи занимает третье место среди 50 первичных станций МСМ.

Во вспомогательную сеть станций МСМ входят 120 станций как сейсмических групп, так и трехкомпонентных станций. На рисунке 6 показано распределение вспомогательных станций по их вкладу в бюллетень REB в 2016 и 2017 гг. Сейсмическая группа AS058-Курчатов-Крест (KURK) занимает первое место, сейсмическая группа AS057-Боровое (BVAR) также в числе лучших в 2017 г. (в 2016 г. проведены ремонт и замена трехкомпонентного сейсмометра, что сказалось на эффективности ее работы). Трехкомпонентная станция AS059-Актюбинск (AKTO) также весьма полезна в мониторинге и находится в числе 10–12 лучших из 120.

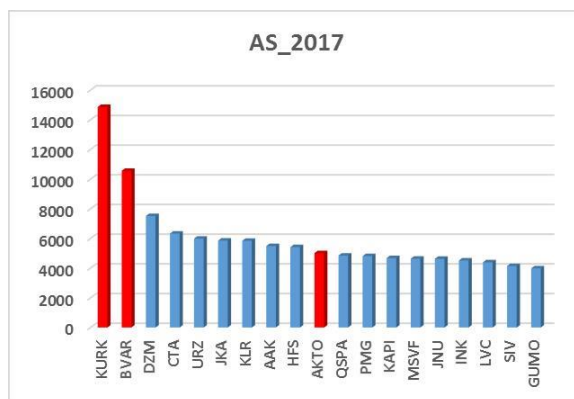
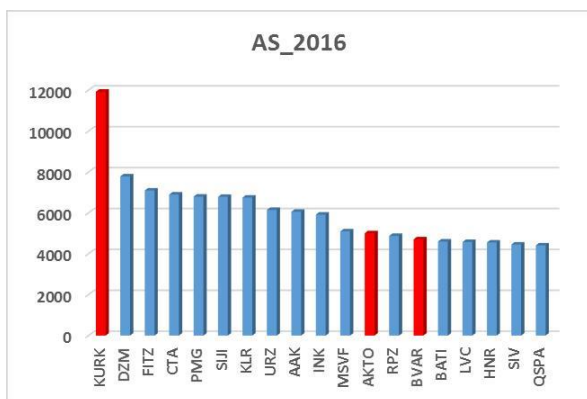
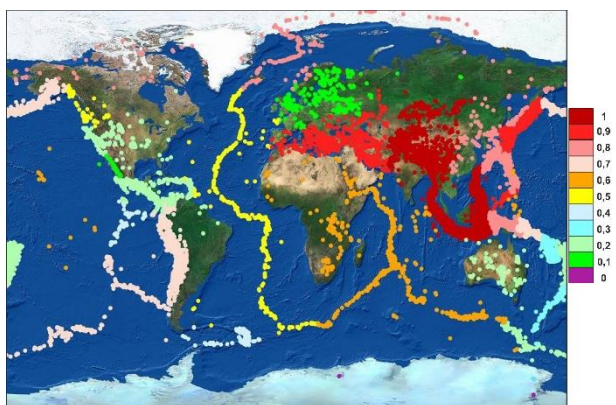


Рисунок 6. Распределение вспомогательных станций МСМ по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB за 2016 (слева) и 2017 (справа) годы

Станции Казахстана участвуют в обнаружении и обработке записей событий, происходящих на всем земном шаре, но при этом события с разными азимутами и расстояниями имеют нижний порог по магнитуде, начиная с которого более слабые события станцией не регистрируются [3]. Поэтому разные регионы мира по-разному отражаются в данных каждой станции. В качестве примера ниже рассмотрена станция Маканчи. В 2017 г. эта станция зарегистрировала всего 21 979 событий. За этот же период бюллетень REB включал 34 658 событий. На рисунке 7 цветовой шкалой показано отношение количества событий с участием данной станции Маканчи к общему количеству событий, вошедших в бюллетень REB для данного региона. Как видно из рисунка 7, данные станции Маканчи участвовали в характеристике практически во всех событиях альпийского пояса, Центральной и Восточной Азии, большей части тихоокеанского пояса. Здесь доля ее участия составляла 0,8–1,0 (красные, бордовые и розовые эпицентры).



Цветовая шкала определяет долю событий, зарегистрированных ст. Маканчи, от общего количества событий в данном регионе из REB

Рисунок 7. Карта эпицентров сейсмических событий из бюллетеня REB за 2017 г., в обработке которых участвовали данные сейсмической группы Маканчи

На рисунке 8 представлена карта минимальных магнитуд m_b сейсмических событий из разных реги-

онов, регистрируемых сейсмической группой Маканчи, из которой следует, что территория Центральной Азии характеризуется минимальной магнитудой на уровне 3.5–4. Эффективность сейсмической группы относительно событий в удаленных районах южного полушария и в некоторых районах вдоль побережья Северной и Южной Америки недостаточно высока.

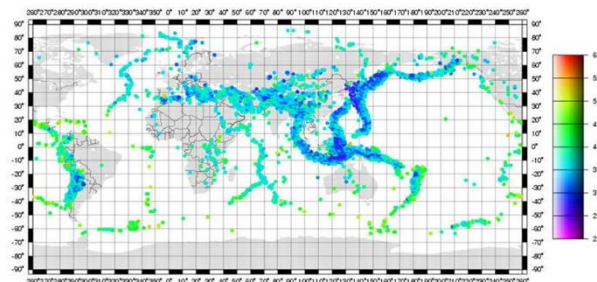
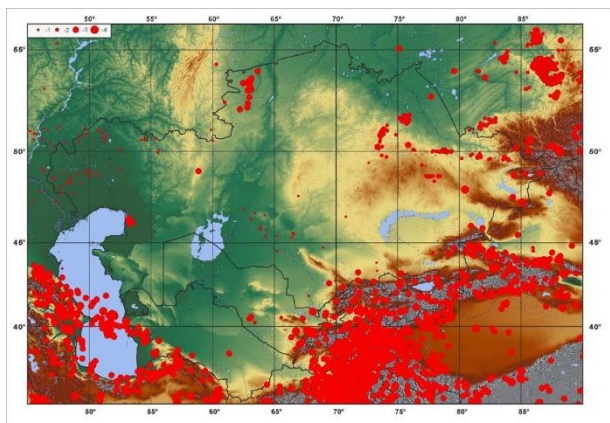


Рисунок 8. Карта минимальных магнитуд сейсмических событий, регистрируемых сейсмической группой Маканчи

Детально рассмотрен регион Центральной Азии (ЦА) по результатам двух центров обработки: МЦД (бюллетень REB) и KNDC (бюллетень KNDC), – в сейсмическом и инфразвуковом мониторинге. Количество событий в бюллетене KNDC (рисунок 9) больше, чем в REB (рисунок 10), так как KNDC-бюллетень составляется по большему количеству станций региональной сети.

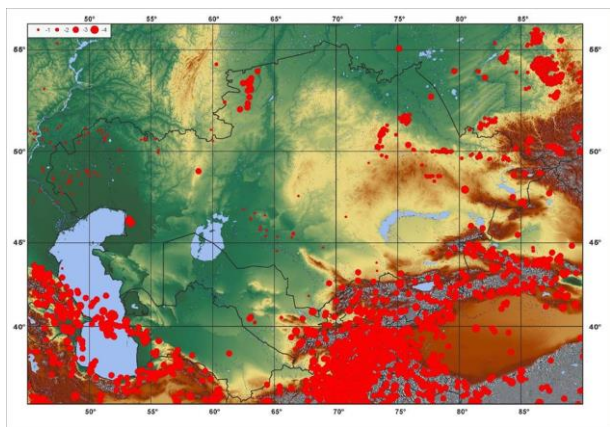
В бюллетене REB за 2016–2017 гг. имеется 398 сейсмических событий на территории ЦА, представительная магнитуда которых – 3,7, минимальная зарегистрированная магнитуда – 2,8. В бюллетене KNDC сейсмических событий для этой же территории – 13 839, представительная магнитуда – 3,0, минимальная зарегистрированная магнитуда – 0,3. Следует отметить, что в двух центрах (МЦД и КНЦД) для классификации землетрясений используются близкие по смыслу, но все-таки отличающиеся по используемым калибровочным функциям и методикам определения магнитуды: в REB – магнитуда определяется по объемным Р-волнам по калибровочной

кривой Вейта-Клауссона m_b , в KNDC – магнитуда определяется по объемным Р-волнам по региональной калибровочной кривой Михайловой, Неверовой m_{pv} . По зарегистрированным и обработанным в обоих центрах пересекающимся событиям была построена эмпирическая зависимость между двумя типами магнитуд m_b и m_{pv} (рисунок 11), из которой следует, что значения магнитуды для одних и тех же событий, определенные в двух Центрах, не совпадают. Имеется систематическое занижение примерно на 0,7 магнитуды событий в REB по сравнению с KNDC.



- $m_{pv} < 2$; $2 \leq m_{pv} < 4$; $4 \leq m_{pv} < 6$; $6 \leq m_{pv}$

Рисунок 9. Центральная Азия. Эпицентры событий из бюллетеня KNDC за 2016–2017 гг



1 - 4 – $m_b < 2$; $2 \leq m_b < 4$; $4 \leq m_b < 6$; $6 \leq m_b$

Рисунок 10. Центральная Азия. Эпицентры событий из бюллетеня REB за 2016–2017 гг.

Если выделить события, которые имеют магнитуду выше представительной и поэтому должны быть зарегистрированы обеими сетями и включены в бюллетень, то выясняется, что пропущенные события есть в обоих каталогах. В бюллетене REB по сравнению с KNDC пропущено (рисунок 12, сиреневые кружки) около 50 событий, в бюллетене KNDC (рисунок 12, зеленые кружки) – пропущено 17 событий.

Оценка реальной точности локализации эпицентров в REB, которая возможна только по эталонным событиям, проведена для трех регионов: Западного

Казахстана - при сопоставлении данных специальной локальной сети мониторинга и данных REB, Северного Тянь-Шаня, где существует плотная сеть станций СОМЭ МОН РК (Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства образования РК) и РГП ИГИ, а также северо-востока Казахстана по взрывам в карьере Каражыра на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне (рисунок 13).

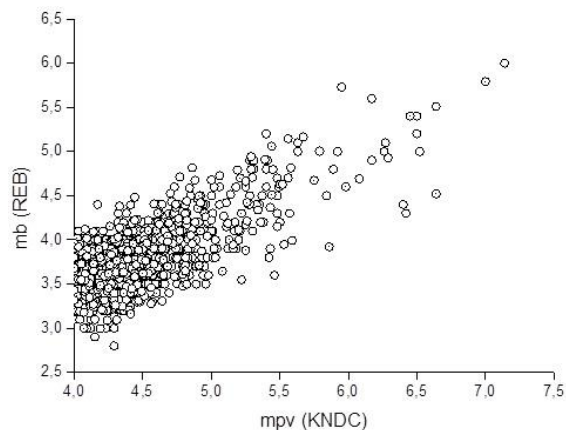


Рисунок 11. Центральная Азия. Соотношение между m_b REB и m_{pv} KNDC

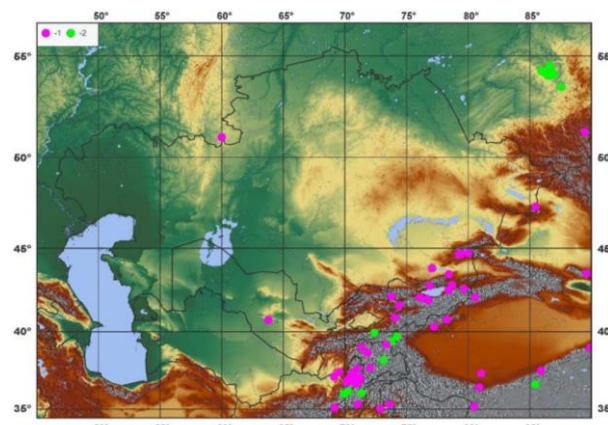


Рисунок 12. Центральная Азия. Карта эпицентров сейсмических событий, пропущенны в каталогах REB (●) и KNDC (●)

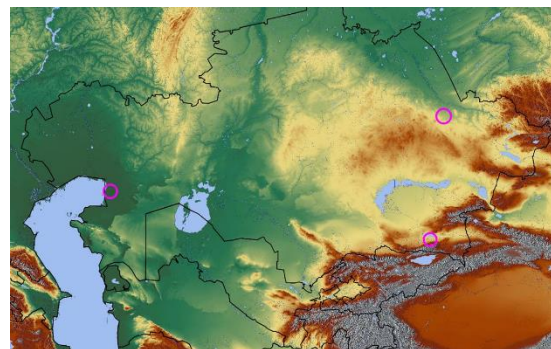


Рисунок 13. Три района с эталонными событиями для оценки реальной точности определения координат эпицентра событий в REB (○)

Для Западного Казахстана среднее отклонение по данным об 11 событиях бюллетеня REB составляет 7 км (рисунок 14). Это является хорошим результатом, который объясняется достаточно хорошим окружением данного региона станциями MCM (рисунок 15).

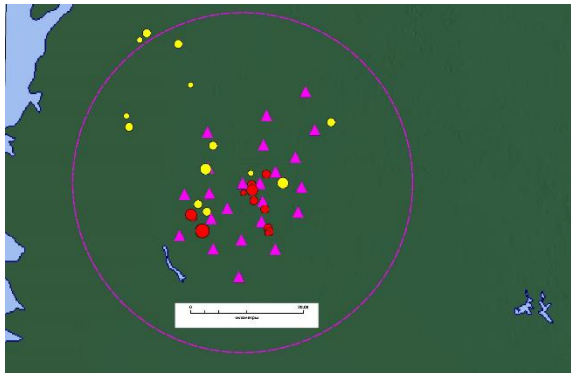


Рисунок 14. Расположение эпицентров эталонных событий в Западной Казахстане (●) и их эпицентров в бюллетене REB. Радиус круга 20 км



Рисунок 15. Расположение станций MCM (▲) относительно эпицентральной зоны в Западной Казахстане (●)

Для Северного Тянь-Шаня расхождение между реальным эпицентром эталонного события (Капчагайское землетрясение 1.05.2011 в 02.31.29 с $M_s=4,6$) и решением МЦД составило 3,9 км. Для северо-востока Казахстана среднее расхождение между эпицентрами 100 событий и эталонного взрыва в карьере Каражыра составило 5 км.

ИНФРАЗВУКОВОЙ МОНИТОРИНГ

В глобальный бюллетень REB включаются данные одной инфразвуковой казахстанской станции – IS31-Актюбинск, входящей в состав MCM. Ее конфигурация показана на рисунке 16, система шумоподавления – на рисунке 17.

Всего в MCM функционируют 60 инфразвуковых станций. На рисунке 18 приведено распределение инфразвуковых станций MCM по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB за 2016–2017 гг., из которого следует, что по этому показателю казахстанская станция IS31KZ (IS31-Актюбинск) находится на третьем месте как в 2016 г., так и в 2017 г.

Региональный бюллетень KNDC составляется с использованием данных четырех инфразвуковых станций: трех – на территории Казахстана (IS31-Актюбинск, Курчатова, Маканчи) и одной станции России - IS46-Залесово (рисунок 19).

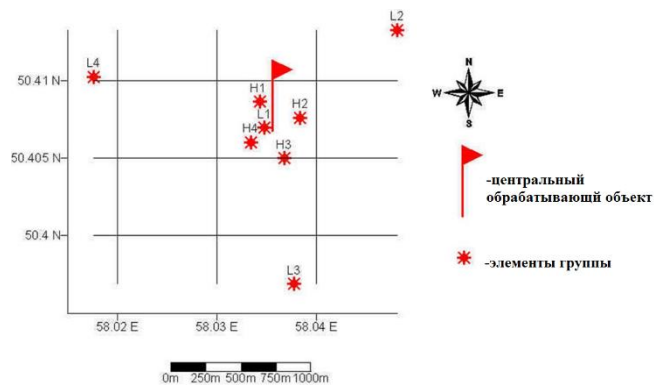


Рисунок 16. Конфигурация инфразвуковой станции IS31-Актюбинск

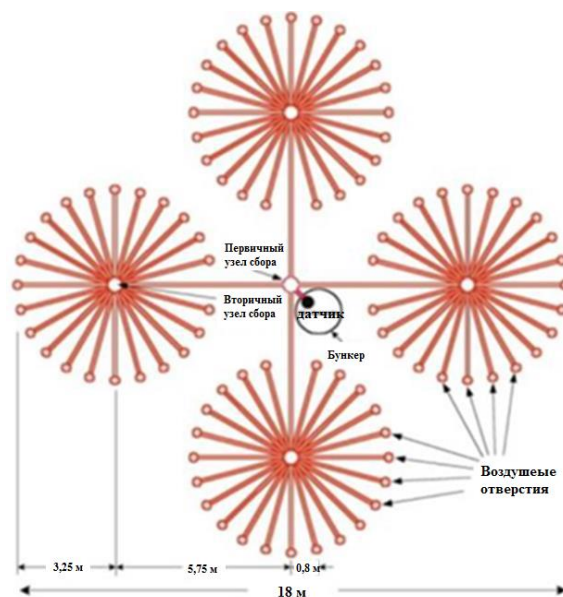


Рисунок 17. Конфигурация системы шумоподавления на инфразвуковой станции IS31-Актюбинск

Проведено сравнение событий из инфразвуковых бюллетеней REB и KNDC для территории Центральной Азии.

Результаты локализации эпицентров инфразвуковых событий по четырем станциям за 2017 г. показаны на рисунке 20. Сеть регистрируется и обнаруживается большое количество карьерных взрывов на территории Казахстана, на пограничной территории России и Китая, а также события, связанные с запусками ракет-носителей с космодрома Байконур [4, 5]. Из бюллетеня REB для территории Центральной Азии за 2017 г. (рисунок 21) выбраны те события, которые зафиксированы до 9 инфразвуковыми станциями (рисунок 22), включая и две станции, данные которых входят в бюллетень KNDC (IS31, IS46). Сравнивая рисунки 20 и 21, можно отметить, что количество событий в бюллетене REB в целом меньше, чем в бюллетене KNDC, но зафиксировано больше событий в районе космодрома Байконур и меньше карьерных взрывов.

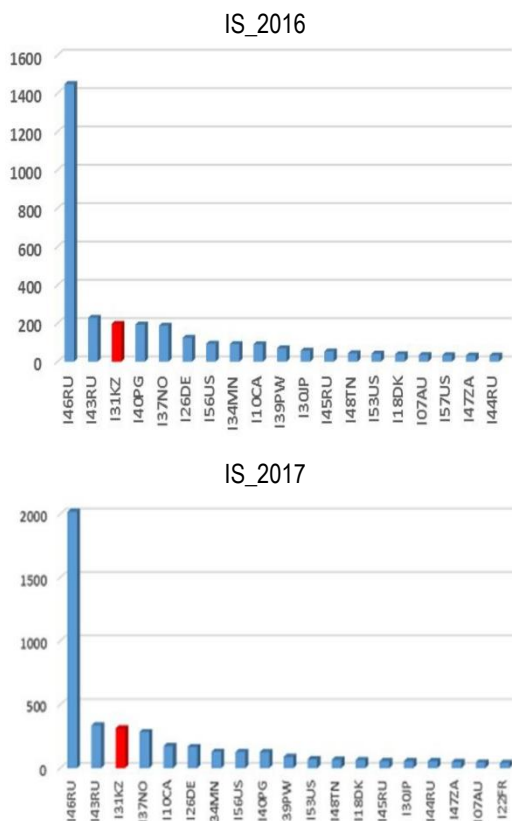
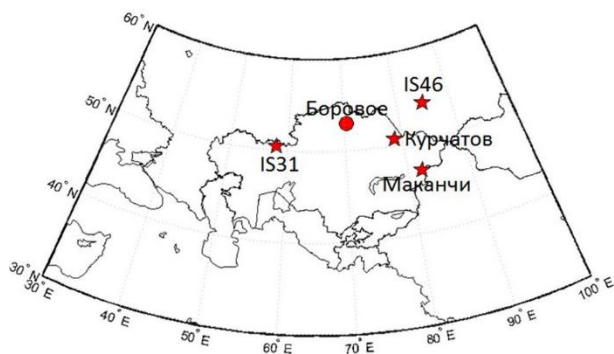


Рисунок 18. Распределение инфразвуковых станций системы МСМ по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB



★ – инфразвуковая станция, данные которой поступают в центр данных в реальном времени; ● – инфразвуковая станция Боровое, находящаяся на модернизации. Казахская станция IS31 и российская IS46 входят в состав МСМ

Рисунок 19. Сеть инфразвуковых станций, по которым составляется бюллетень KNDC

Таким образом, два бюллетеня – региональный KNDC и глобальный REB, – для территории Центральной Азии дополняют друг друга данными по инфразвуковым событиям. Предоставляемая странам – участникам ДВЗЯИ возможность доступа к продуктам МЦД – это возможность исследователям в регионах расширить представление о картине происходящих событий.

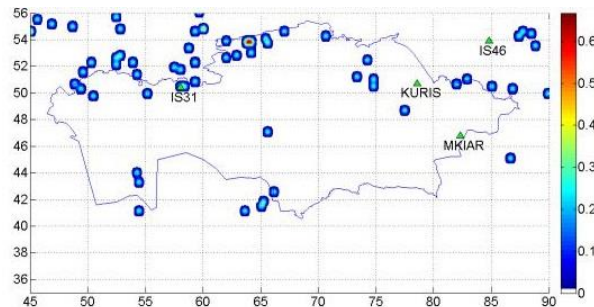


Рисунок 20. Карта плотности инфразвуковых событий из бюллетеня KNDC. 2017 г.

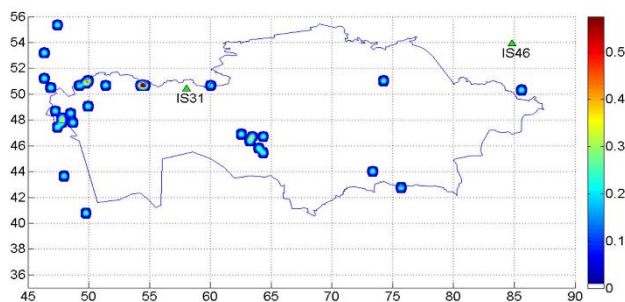


Рисунок 21. Карта плотности инфразвуковых событий из бюллетеня REB. 2017 г.



Рисунок 22. Сеть инфразвуковых станций МСМ, по данным которых отобраны события в бюллетене REB для территории Центральной Азии

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ СОБЫТИЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ КАЗАХСТАНСКИМИ СТАНЦИЯМИ СЕЙСМИЧЕСКОГО И ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА В ПОДДЕРЖКУ ДВЗЯИ

Сейсмическими станциями мониторинга Казахстана зарегистрированы шесть ядерных испытаний, проведенных в последние годы Северной Кореей - в 2006, 2009, 2013, 2016 (два взрыва) и в 2017 гг. Несмотря на то, что станции РГП ИГИ находятся на телесеismicких расстояниях от северокорейского ядерного полигона Пунгери (в диапазоне 3725 - 5350 км) и в узком створе азимутов, все взрывы были обнаружены, локализованы. Проведена оценка магнитуды и эквивалентной мощности этих взрывов. Данные казахстанских станций были использованы различными сейсмологическими агентствами при определении параметров взрывов. Наиболее сильным был

взрыв 03.09.2017 г. с магнитудой $m_b=6.3$. На рисунке 23 показана сеть станций РГП ИГИ относительно полигона Пунгери и записи вертикальной компоненты взрыва 03.09.2017 г.

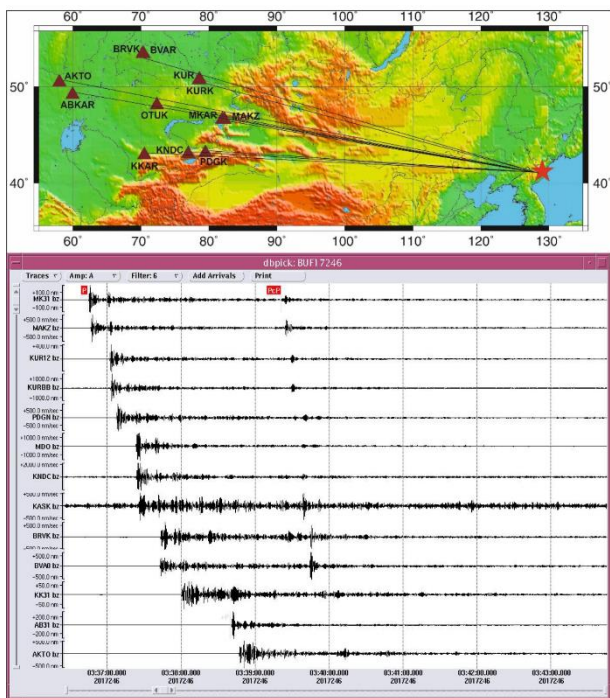


Рисунок 23. Сеть станций и записи ядерного испытания в Северной Корее 3.09.2017 г.

Из событий, зарегистрированных инфразвуковой сетью станций, сильнейшим был взрыв болида вблизи Челябинска. Как отмечено в пресс-релизе ОДВЗЯИ, «...болид, упавший на территории России

15.02.2013 г, является самым большим событием, когда-либо зарегистрированным инфразвуковыми датчиками ОДВЗЯИ». Наиболее интенсивные инфразвуковые сигналы зарегистрированы казахстанской станцией IS31-Актюбинск (рисунок 24).

Выводы

1. Все четыре сейсмические станции РГП ИГИ, входящие в систему сейсмического мониторинга МСМ (Маканчи PS-23, Боровое AS-57, Курчатов AS-58, Актюбинск AS-59) являются очень эффективными при обнаружении, обработке событий и составлении бюллетеня Международного центра данных РЕВ.
2. Анализ бюллетеней по территории Центральной Азии демонстрирует представительность бюллетеня РЕВ по магнитуде $m_b=3.7$ и достаточно хорошую точность при локализации событий. Сравнение значений m_b и m_{rv} для одних и тех же событий из двух бюллетеней показывает систематическое занижение объемных магнитуд в глобальном бюллетене по сравнению с региональным.
3. По данным 2016 г. и 2017 г. имеются пропуски событий с магнитудой выше представительной как в одном, так и в другом бюллетенях. Оба бюллетеня хорошо дополняют друг друга.
4. Инфразвуковая станция Актюбинск IS-31 показала высокую эффективность участия в бюллетене РЕВ среди 60 станций МСМ по количеству ассоциированных сигналов.
5. Казахские станции мониторинга успешно зарегистрировали все шесть проведенных в Северной Корее ядерных испытаний, их данные использовались в различных агентствах и международных центрах данных.

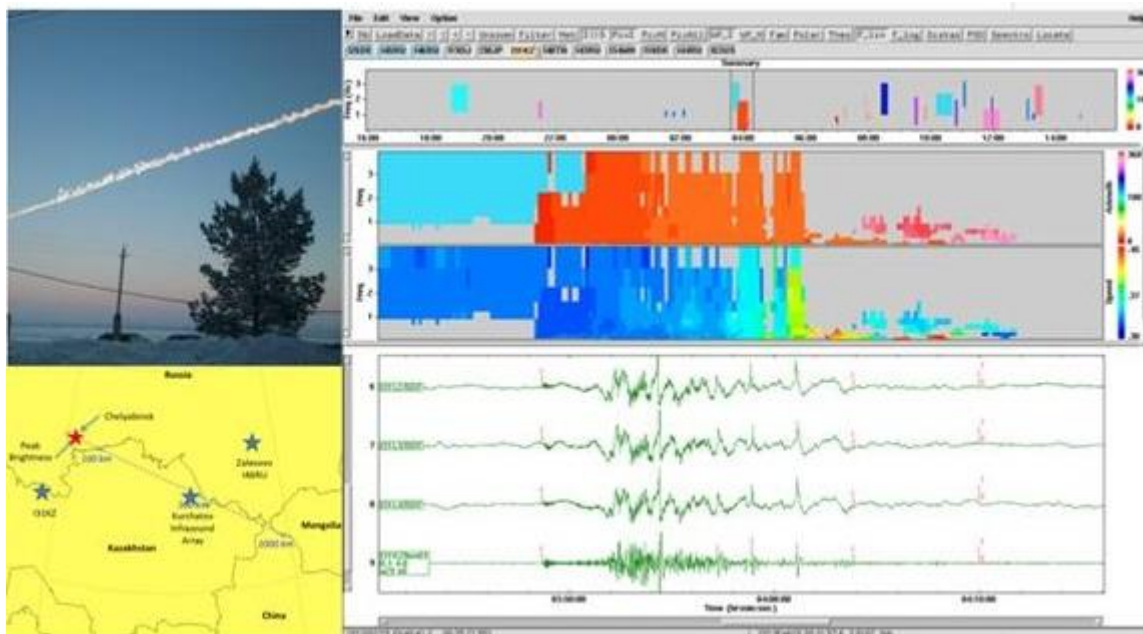


Рисунок 24. К регистрации взрыва Челябинского болида 15.02.2013 г. станцией IS31-Актюбинск

ЛИТЕРАТУРА

1. Синёва, З.И. Оценка эффективности казахстанских станций ядерного мониторинга / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 12–17.
2. Синёва, З.И. Участие казахстанского национального центра данных в оценке эффективности сейсмического мониторинга в рамках ОДВЗЯИ / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 1. – С. 10–15.
3. Синёва, З.И., Михайлова Н.Н. Сравнительный анализ времен вступлений и амплитуд региональных сейсмических фаз по данным бюллетеней REB и KNDC / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. С. 64–71.
4. 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.
5. Дубровин, В.И. Первые результаты инфразвукового мониторинга центральноазиатской сетью станций / В.И. Дубровин, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 3. – С. 78–81.

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ
ЖАҒАНДЫҚ ЖӘНЕ АЙМАҚТЫҚ МОНИТОРИНГІНЕ ҮЛЕСІ**

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев, А.А. Смирнов

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова, Қазақстан

Халықаралық деректер орталығының REB бюллетеніне (тексерілген оқиғалар бюллетені) байланыстырылған фазалар саны бойынша Халықаралық мониторингі жүйесінің (ХМЖ) басқа станцияларымен салыстырғанда Қазақстан станцияларының үлесі қорытындалған. Қазақстанның барлық станциялары, сейсмикалық пен инфрадыбыстық, мониторингте жеткілікті тиімді болуы және бірінші орындарын алатыны көрсетілген. Бұл, әлемдегі оқиғалардың эпиорталықтарын карталау нәтижелерімен, сондай-ақ минималь магнитуда және, қазақстандық станциялары қатысумен айқындалған оқиғалардың саны REB бюллетеніндегі оқиғалардың жалпы санына қатынасы параметрлерімен расталады. REB нәтижелері мен қазақстандық ұлттық деректер орталығының бюллетендерінде – сейсмикалық және инфрадыбыстық – Орталық Азияның (ОА) аймағы түбегейлі қарастырылған, жергіліктеудің нақты дәлдігін бағалау үлгілерімен.

ОА бойынша KNDC-тің инфрадыбыстық бюллетені REB бюллетенімен салыстырылған. KNDC бюллетенінде жергіліктеуі төрт инфрадыбыстық станцияларының, бір ресейлік Залесово станциясын қоса, деректері бойынша жүргізілген. KNDC бюллетенінде REB бюллетенімен салыстырғанда оқиғалар саны көбірек болуы белгіленген.

**CONTRIBUTION OF KAZAKHSTAN STATIONS OF THE INTERNATIONAL SYSTEM
INTO GLOBAL AND REGIONAL MONITORING**

N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan

The contribution of Kazakhstani stations has been summarized in comparison with other stations of the International Monitoring System (IMS) in a number of associated phases into the REB bulletin (Reveiwed Events Bulletin) of the International Data Center (IDC). It has been demonstrated that all stations of Kazakhstan, both seismic and infrasound ones, are quite effective in monitoring and take one of the first places. This is confirmed by the results of mapping of the epicenters of the events of the world as well as such parameters as minimum amplitude and proportion of a number of events detected with participation of Kazakhstani stations to the general number of events in REB. The region of Central Asia (CA) has been considered in detail in the REB results as well as bulletins of Kazakhstan National Data Center (KNDC) – seismic and infrasound – with examples of estimate of real-time accuracy of locations.

Infrasound bulletin of events of KNDC on CA has been compared with REB. In KNDC bulletin the location has been implemented as per data of four infrasound stations, including one Russian station Zalesovo. A larger number of events has been noted in KNDC bulletin in comparison with the REB one.