

УДК 550.344

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И НЕТЕКТОНИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ БЮЛЛЕТЕНЯХ KNDC

Узбеков Р.Б., Рябенко О.В., Сейнасинов Н.А.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Казахстанский национальный центр данных (KNDC) Института геофизических исследований, начиная с 2002 года, проводит мониторинг сейсмических событий разной природы на территории Центральной Азии. В статье приведены характеристики бюллетеней KNDC, различного уровня оперативности, описание работ Центра по распознаванию природы источников, формированию баз данных тектонических и нетектонических событий.

ВВЕДЕНИЕ

Казахстанский национальный центр данных ведет круглосуточную работу по мониторингу сейсмических событий разной природы. Источники событий находятся как на территории Казахстана, так Центральной Азии и мира. На постоянной основе ведется обмен данными с национальными, международными центрами: EMSC (Европейский Средиземноморский центр, Франция); ISC (Международный сейсмологический центр, Англия) ГС (Геофизическая служба) РАН. В число регистрируемых сейсмических событий входят землетрясения, взрывы, а также другие явления природного и техногенного характера.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И ОБЩИЙ ОБЪЕМ СОБЫТИЙ

В KNDC круглосуточно поступают данные со всех сейсмических станций сети Института геофизических исследований (ИГИ) (рисунок 1). Это сейсмические группы и трехкомпонентные станции, введенные в строй за последние 20 лет. Сбор данных производится в реальном времени по спутниковым и радиотелеметрическим каналам. Кроме того, осу-

ществляется сбор данных с ряда станций стран Центральной Азии – Кыргызстана, Туркменистана, Таджикистана, Узбекистана и России (рисунок 2).

В пост-реальном времени через сутки поступают данные с другой сети станций Казахстана – СОМЭ МОН РК. Все данные обрабатываются совместно, результатом чего являются продукты KNDC разной степени оперативности:

- автоматический сейсмический бюллетень. Готовность через 10 – 30 минут;
- интерактивный бюллетень срочных донесений. Готовность 15 – 20 минут;
- интерактивный оперативный сейсмический бюллетень. Готовность через сутки;
- сводный бюллетень сейсмических событий. Готовность через двое суток;
- окончательный полный бюллетень с идентифицированной природой сейсмических событий (землетрясения, взрывы и т.д.); готовность 2-3 месяца от реального времени событий. Данные представляются на веб-сайт центра www.kndc.kz [1].

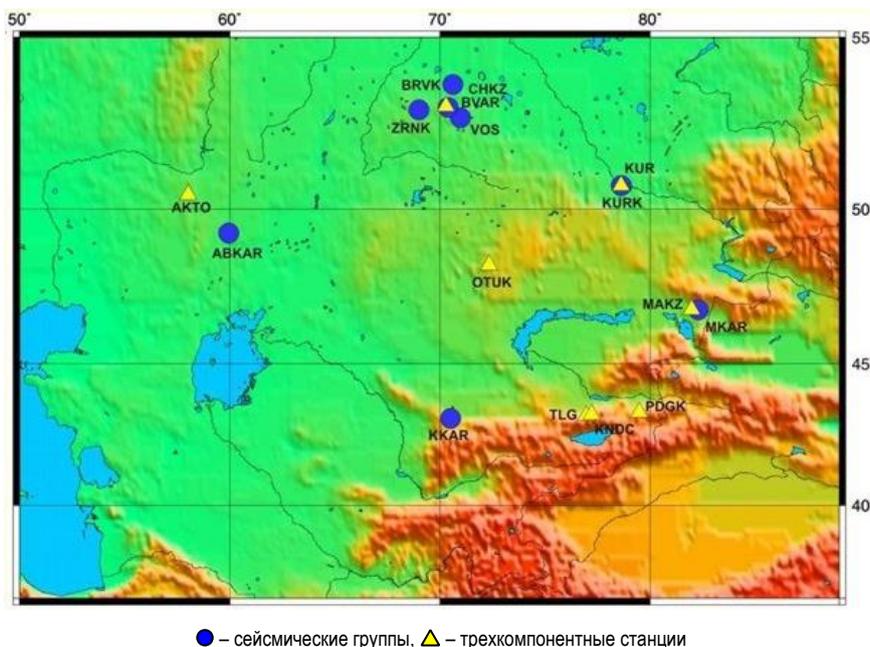


Рисунок 1. Карта расположения сети сейсмических станций ИГИ

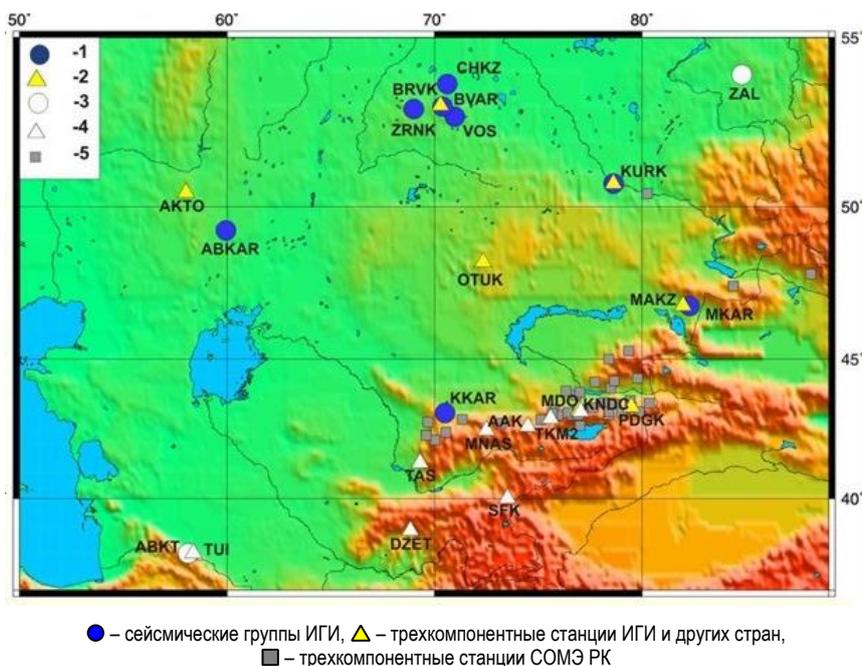


Рисунок 2. Карта расположения сейсмических станций, данные которых используются при составлении бюллетеня ИГИ

Временной диапазон от первого обнаружения сигнала события до составления сводного бюллетеня событий составляет от 10 минут до 2 суток. Распознавание природы событий производится спустя месяцы после регистрации и требует использования различных специальных методик, а также привлечения независимых данных от компаний-разработчиков полезных ископаемых.

Самым первым результатом обнаружения и локализации событий является автоматическая обработка. Для различных событий результат автоматической обработки готов через 10 – 30 минут со времени возникновения события в зависимости от дальности расположения очага от станций регистрации. Обнаружение и локализация в автоматическом режиме происходит по данным четырех сейсмических групп. Эти данные незамедлительно передаются в EMSC [2], где «смешиваются» с другими автоматическими обнаружениями. Затем они уточняются аналитиком при интерактивной срочной обработке. Автоматический бюллетень дает сигнал о произошедшем событии и в первом приближении оценивает, где оно произошло.

Проведено сравнение данных автоматической и интерактивной обработки. За «истинные» координаты эпицентра события принимались данные окончательного сводного бюллетеня. Были созданы выборки для более, чем ста событий, по трем видам бюллетеней разной оперативности. Изучены значения $\delta_1 = (\varphi, \lambda)_{авт} - (\varphi, \lambda)_{св}$ и $\delta_2 = (\varphi, \lambda)_{инт} - (\varphi, \lambda)_{св}$ – ошибок автоматического (авт) и интерактивного срочного бюллетеня (инт) по отношению к сводному (св). На рисунке 3 показаны графики интегральных распределений δ_1 и δ_2 .

Как следует из рисунка 3, этап интерактивной оперативной обработки представляет значительно более точные данные о положении эпицентра, чем автоматический бюллетень. Медиана распределений ошибок составляет почти 80 км для автоматического и 5 км для интерактивного бюллетеня. Эти значения сильно зависят от магнитуды произошедшего события. Более сильное событие регистрируется, как правило, большим количеством станций, что дает возможность более надежной оценки всех параметров.

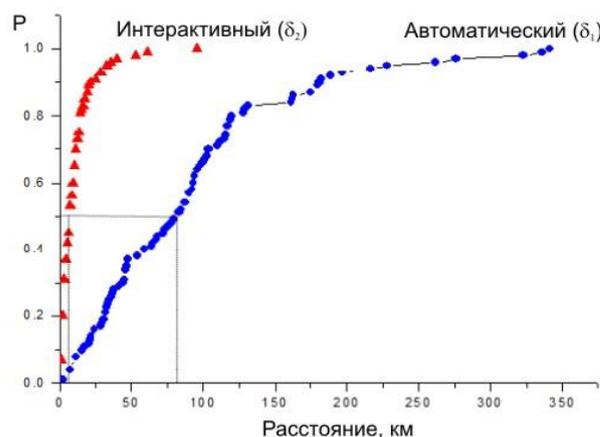


Рисунок 3. Распределение значений ошибок автоматического δ_1 и интерактивного δ_2 бюллетеней KNDC

На рисунке 4 представлена связь значений δ_1 и δ_2 с магнитудой m_b произошедших событий. Для автоматического бюллетеня большинство событий с магнитудой более 5,5 имеют ошибку не более 50 км. Для интерактивного бюллетеня при магниту-

дах более 5,0 ошибка не превышает 15 км, а m_b более 6,0 – не более 5 км. Таким образом, менее оперативный, чем автоматический, интерактивный бюллетень срочных донесений и интерактивный оперативный бюллетень имеют значительно более высокую точность определения параметров очага, которым можно надежно доверять.

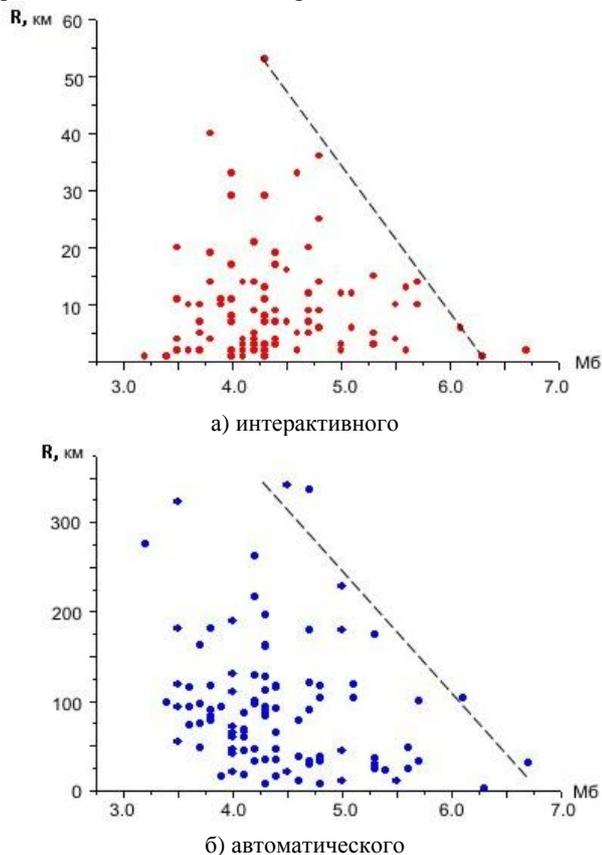


Рисунок 4. Связь значений ошибок бюллетеней с магнитудой событий

Следует отметить, что ошибка в определении координат событий зависит от места, где произошло событие. Например, наиболее плохо определяются события со стороны Алтая, а также в районе Илийской впадины на Северном Тянь-Шане (рисунок 5).

На рисунке 6 представлено общее количество сейсмических событий по данным KNDC с 2004 по 2014 г. Ежегодно регистрируется и обрабатывается от десяти до 20 тысяч событий. Видно, что общее количество событий варьируется год от года, что связано как с изменением количества станций регистрации, так и в большей степени с меняющимся сейсмическим режимом на изучаемой территории.

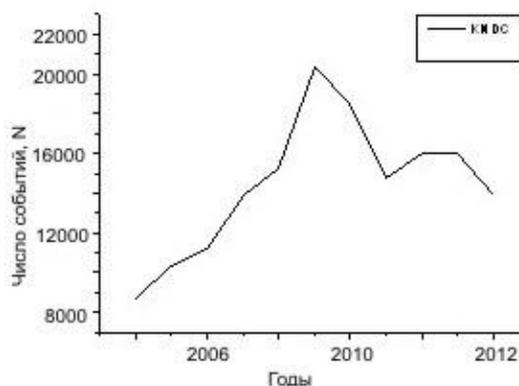


Рисунок 6. Количество зарегистрированных и обработанных событий с 2004 по 2014 гг.

На рисунке 7 показано изменение количества используемых для обработки данных станций в разные годы.

Уменьшение количества станций в последние годы связано с остановкой работы большебазовой группы Боровое с ее подгруппами Зеренда, Восточное, Чкалово, частичным закрытием станций проекта CAREMON в Центральной Азии.

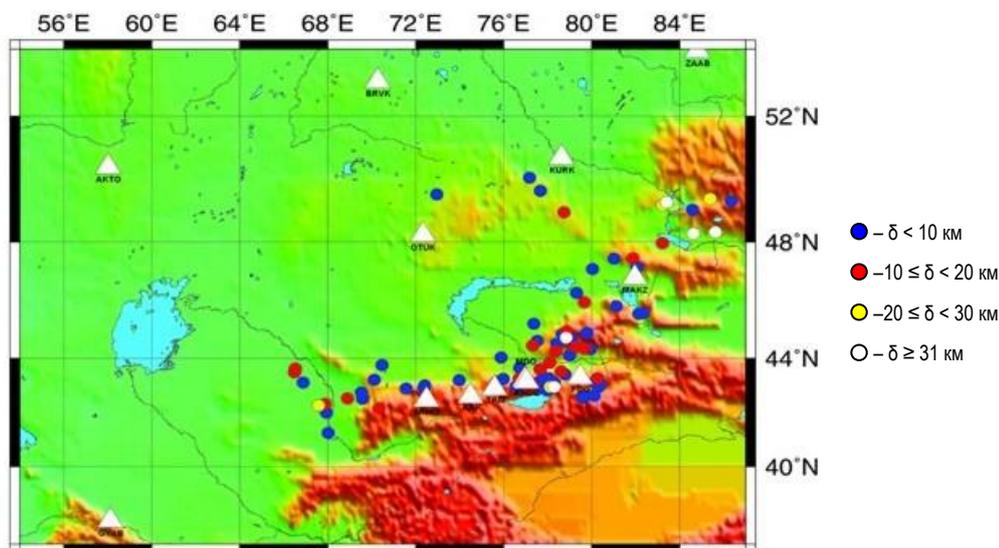


Рисунок 5. Карта эпицентров с указанием ошибок интерактивной срочной обработки

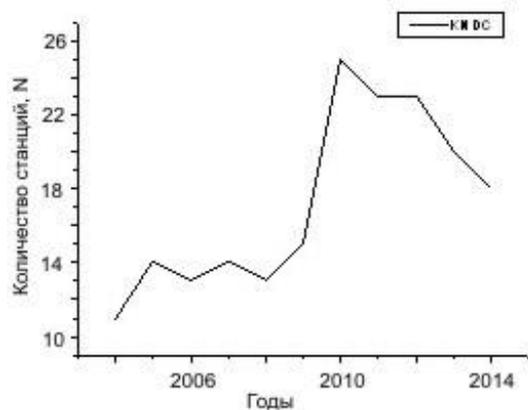


Рисунок 7. Количество используемых станций с 2004 по 2014 гг.

На рисунках 8 и 9 представлены карты эпицентров всех обработанных сейсмических событий. Первая карта (рисунок 5) дает представление о расположении эпицентров наиболее сильных землетрясений с энергетическим классом более 11 (магнитуда примерно более 5) за 11 лет. На второй карте представлены все события, включая слабые, за один наиболее активный год – 2009 г. Даже сравнивая эти две карты, видно, что большая часть Казахстана – западная, центральная, северная – характеризуется почти полным отсутствием сильных землетрясений, в то время как слабые сейсмические события даже за один год составляют несколько тысяч. Эти события не являются тектоническими, а почти полностью представлены карьерными взрывами, производящимися при разработке полезных ископаемых.

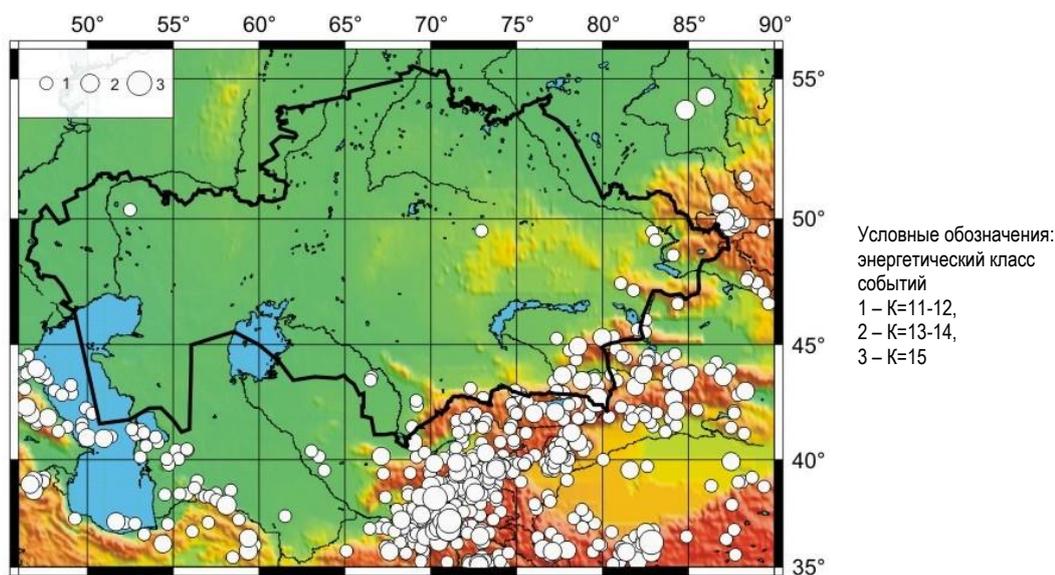


Рисунок 8. Карта расположения эпицентров сильных сейсмических событий с 2004 по 2014 года с K больше 11

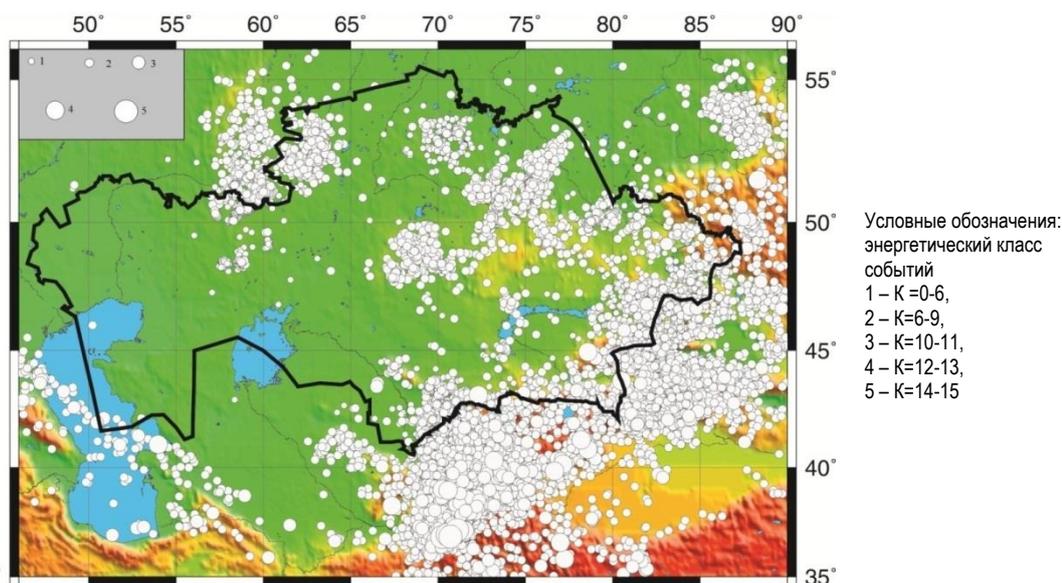


Рисунок 9. Карта расположения эпицентров сейсмических событий 2009 года

РЕГИСТРАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

После проведения работ по распознаванию природы событий в сводный бюллетень вводятся метки, идентифицирующие тип источника. Самыми многочисленными являются тектонические землетрясения и карьерные взрывы. В класс землетрясений входят также нетектонические события – это ледниковые землетрясения [3], техногенные землетрясения, связанные с разработкой полезных ископаемых. На рисунке 10 представлен график общего количества тектонических землетрясений и взрывов в сводном бюллетене по годам.

Как видно из графиков рисунка 10, количество взрывов на всей исследуемой территории может достигать половины количества землетрясений. При этом в некоторых районах Казахстана взрывы составляют почти 100%. На рисунках 11 и 12 показаны карты эпицентров и распределение по магнитудам отдельно для землетрясений и отдельно для взрывов.

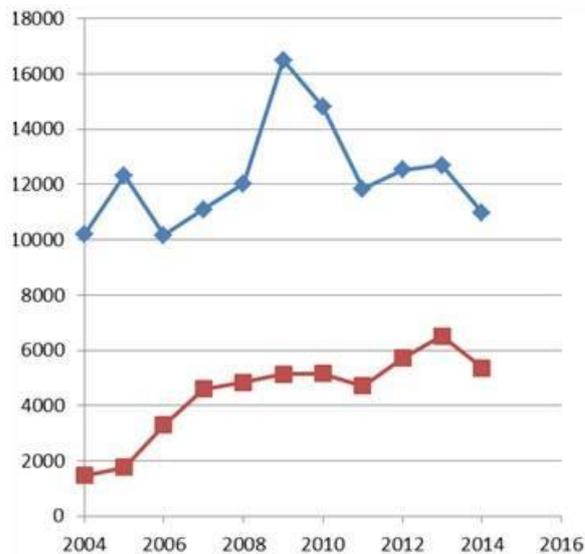
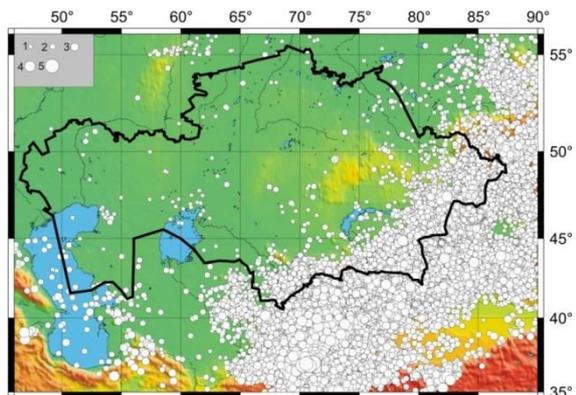
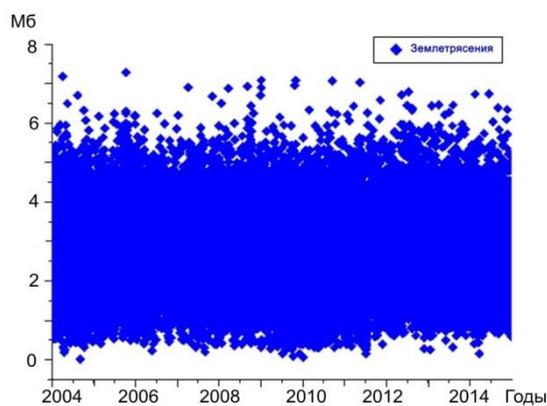


Рисунок 10. Изменение количества землетрясений (синяя линия) и взрывов (красная линия) за 2004 – 2014 гг.

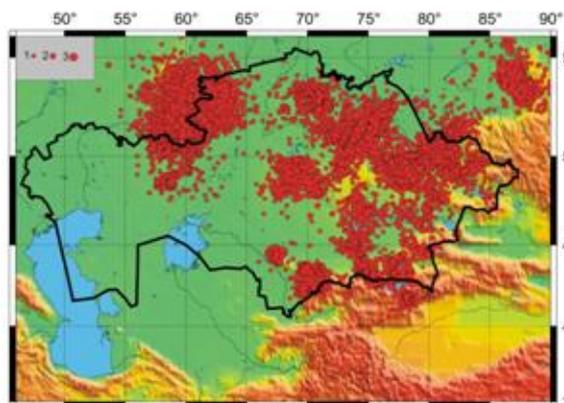


а)

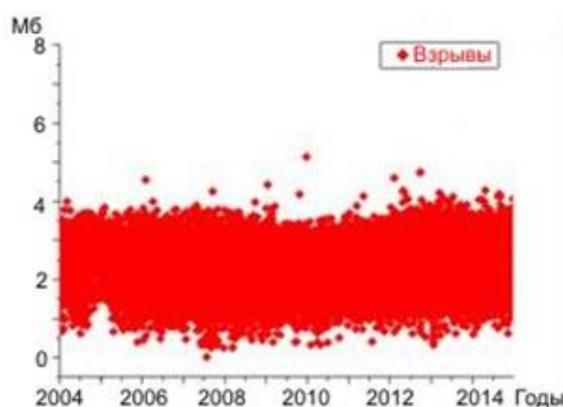


б)

Рисунок 11. Карта эпицентров землетрясений (а) и распределение землетрясений по магнитудам (б) за 2004 – 2014 г.г. Всего 135 126 событий



а)



б)

Рисунок 12. Карта эпицентров карьерных взрывов (а) и распределение взрывов по магнитудам (б). Всего 48 573 взрыва

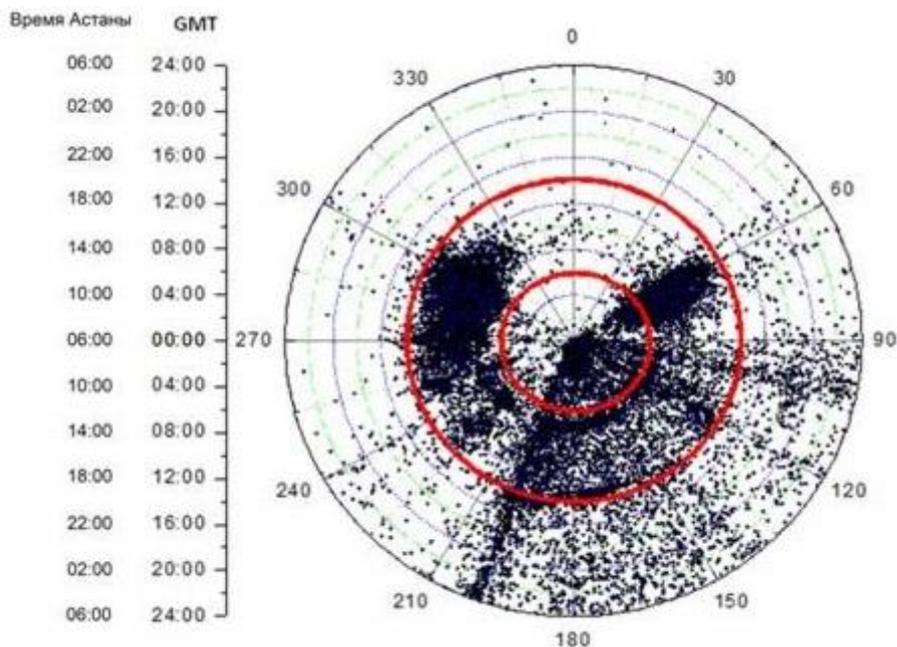


Рисунок 13. Азимутальная диаграмма распределения времени возникновения событий (по станции Курчатова). Красными окружностями выделено рабочее время суток

Взрывы по диапазону магнитуд занимают более узкую полосу. Их энергия соответствует примерно 2,5 порядка энергии – от магнитуды примерно 1 до 3,5. Самый сильный взрыв за это время имел магнитуду 5,1. Это взрыв при сооружении плотины Камбар-Ата в Кыргызстане в 2009 г. Пространственно взрывы занимают значительную площадь в той части Казахстана, которая считается слабоактивной. Землетрясения имеют диапазон магнитуд от 0,5 до 7-8. Получается, что все взрывы попадают полностью в тот диапазон магнитуд, который занимают и землетрясения. Но только землетрясения могут иметь магнитуды более 5.5.

По каждой станции сети можно изучить расположение карьеров взрывов для их последующего отдельного рассмотрения от тектонических событий. Для этого построены азимутальные диаграммы времен происхождения событий. Как правило, взрывы происходят только в рабочее время и приурочены к вполне определенной полосе времен. На рисунке 13 представлена азимутальная диаграмма времен для всех зарегистрированных событий по станции Курчатова.

Хорошо видно, что для определенных интервалов азимутов события происходят только в рабочее время суток. Так, например, в азимуте 60-70 градусов большинство событий относится к карьерным взрывам Кузбасса. В азимутах 255 – 330 градусов находятся взрывы карьера Экибастуз. Ряд карьеров расположен от Курчатова в азимутах 230 и 250 градусов. При этом землетрясения занимают в определенных азимутах практически все время суток. Это четко видно по такому высоко сейсмоактивному району, как Памир-Гиндукуш, расположенному в

азимуте 200 градусов. В азимуте 100 градусов расположены сейсмоактивные районы Алтая.

В определенных азимутах имеются как районы с тектоническими землетрясениями, так и карьерные взрывы. Например, в азимуте 120 градусов расположены очаговые области землетрясений Синь-Цзяна и карьеры добычи полезных ископаемых.

Точное распознавание природы событий производится с привлечением спектральных, корреляционных методов, а также независимой информации об активных карьерах добычи полезных ископаемых [4].

РЕГИСТРАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Для контроля проведения ядерных испытаний в связи с выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний мировым сообществом за последние менее чем 20 лет создана Международная система мониторинга (МСМ) с Международным центром данных (МЦД) в Вене. В состав МСМ входят станции, расположенные на территории 90 стран мира. В том числе 5 объектов этой глобальной системы расположены на территории Казахстана. Все станции несут круглосуточную непрерывную службу по регистрации и передаче данных в МЦД, где данные казахстанских станций обрабатываются совместно с данными других станций системы. Казахский Центр данных, созданный в 1999 г., зарегистрировал за время своей работы три ядерных испытания, проведенных Северной Кореей в 2006, 2009 и 2013 гг. [5]. Но надежность обнаружения сигналов, точность обработки, оперативность передачи информации при этих событиях были различными.

Сейсмические волны от места взрыва до самой далекой от него станции Казахстана распространяются примерно 9 минут. Далее информация по спутниковым каналам поступает в г. Алматы, где накапливается, визуализируется и обрабатывается в автоматическом и интерактивном режимах. Объективно в течение первых 10 минут невозможно оценить ситуацию по источнику и природе события. Но, имея опыт регистрации первых двух взрывов, имея эталонные записи взрывов из района Северной Кореи удалось при обработке третьего взрыва уже через 7 минут передать первую информацию о факте происшедшего сейсмического события на территории Северной Кореи, через 10 минут было опубликовано первое сообщение о сейсмическом событии в Северной Корее на веб-сайте Центра данных. Через 30 минут информация о параметрах взрыва - время в источнике, координаты, магнитуда - передана в вышестоящие организации. Но самое важное, что казах-

станские станции весь объем необходимой информации передали в Международный центр данных СТВО, так как там совместно используются данные станций разных стран, обеспечивающих хорошее окружение источника и, тем самым, высокую точность и достоверность оценок. Станции Казахстана являются одними из лучших по количеству обнаруживаемых и ассоциируемых сейсмических событий в международной системе мониторинга.

Как видно из рисунка 14, станции Казахстана расположены в узком створе азимутов относительно места взрыва. Диапазон азимутов составляет всего 13 градусов. При этом эпицентральные расстояния достаточно велики: от 3700км до 5300км. Практически во всех центрах были использованы казахстанские данные. На рисунке 15 приведен пример записи (а) и локализации (б) третьего северо-корейского взрыва в 2013 году.

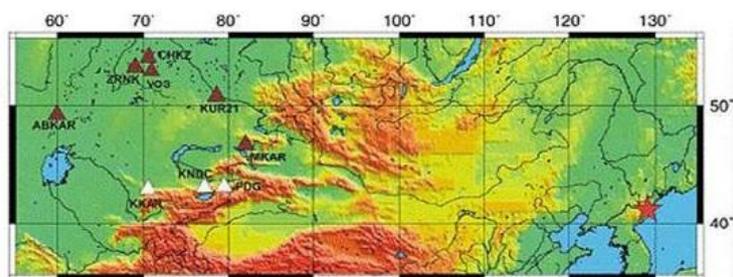
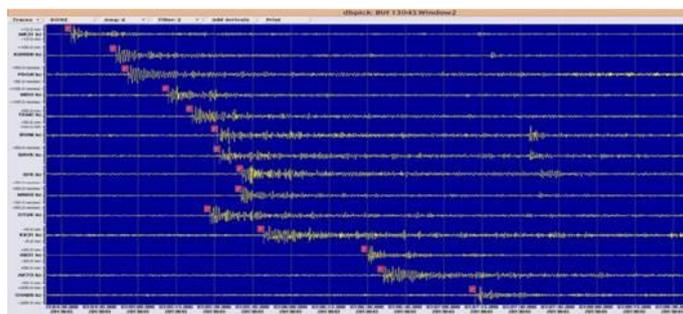
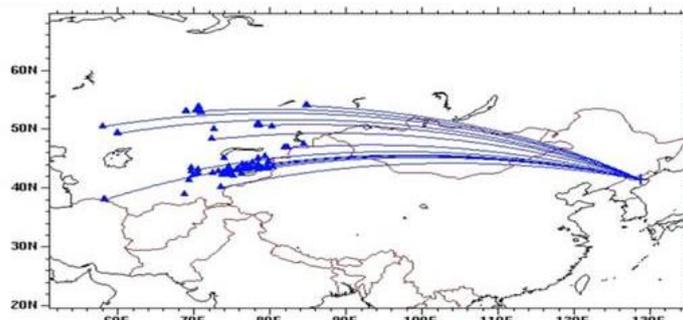


Рисунок 14. Взаимное расположение станций сети НЯЦ РК (треугольники) и эпицентра ядерного испытания в Северной Корее в 2006 г. (звездочка)



а)



б)

Рисунок 15. Записи казахстанских станций (а) и пример локализации (б) третьего северо-корейского взрыва в 2013 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центр данных KNDC проводит огромную работу по сейсмическому мониторингу событий разной природы. Данные KNDC успешно используются мировым сообществом при мониторинге ядерных взрывов и землетрясений благодаря налаженному обмену информацией в круглосуточном непрерывном режиме. За последние годы в центре обеспечено оперативное представление информации на веб-сайт www.kndc.kz.

Систематически проводятся работы по распознаванию природы источников, формированию баз данных тектонических и нетектонических событий. Эти данные являются основой всех научных исследований сейсмологической направленности и активно

используются учеными мира в своих работах. Об этом свидетельствует количество обращений к данным KNDC в мировых центрах данных.

Важная составляющая деятельности KNDC – это предоставление его данных в Институт сейсмологии РК и СОМЭ МОН РК на постоянной основе. Для Казахстана данные KNDC постоянно используются при проведении работ по прогнозу землетрясений, для составления карт общего сейсмического зонирования территории, а также для новой карты сейсмического микрорайонирования г. Алматы. KNDC является участником этих многолетних совместных проектов, главная цель которых – снижение сейсмического риска и уменьшение ущерба от будущих сильных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс – Режим доступа: www.kndc.kz.
2. Электронный ресурс – Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org>
3. Михайлова, Н.Н. Комаров И.И. Ледниковые землетрясения Центрального Тянь-Шаня /Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2009. - Вып. 3. – С. 120-126.
4. Великанов, А.Е. Изучение источников промышленных взрывов на территории Казахстана // А.Е. Великанов [и др] / Вестник НЯЦ РК. - 2013. - Вып. 2. С. 77-86.
5. Сейнасинов, Н.А. Михайлова Н.Н. Сопоставление записей трех северо-корейских ядерных испытаний по данным казахстанских станций / Н.А. Сейнасинов // Вестник НЯЦ РК, 2014. - Вып. 1. – С. 117-124.

KNDC СЕЙСМИКАЛЫҚ БЮЛЛЕТЕНДЕРІНДЕ ТЕКТОНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕКТОНИКАЛЫҚ ЕМЕС ОҚИҒАЛАР

Узбеков Р.Б., Рябенко О.В., Сейнасинов Н.А.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Геофизикалық зерттеулер институтының Қазақстандық ұлттық деректер орталығы (KNDC), 2002 жылдан бастап, Орталық Азия аумағында әр тегіндегі сейсмикалық оқиғалардың мониторингін жүргізеді. Мақалада, жеделдіктің әр деңгейіндегі KNDC бюллетендерінің сипаттамалары, көздер тегін тану, тектоникалық және тектоникалық емес оқиғалардың деректер базасын қалыптастыру бойынша Орталықтың жұмысының сипаттамасы келтіріледі.

TECTONIC AND INDUCED EVENTS IN SEISMIC BULLETINS OF KNDC

R.B. Uzbekov, O.V. Ryabenko, N.A. Seynasinov

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The Kazakhstan National Data Centre (KNDC) of the Institute of Geophysical Researches has been monitoring seismic events of different nature on the territory of Central Asia since 2002. The work shows the characteristics of KNDC bulletins of different urgency level, describes the Centre works on discriminating of the source nature, forming of a database of tectonic and induced events.