

УДК 621.039.9

## УЧАСТИЕ КАЗАХСТАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАМКАХ ОДВЗЯИ

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Освещена деятельность Казахстанского национального центра данных, связанная с оценкой эффективности проводимого сейсмического мониторинга на примере участия в двух мероприятиях, организованных ОДВЗЯИ: первом всестороннем эксперименте по тестированию системы мониторинга (SPT1) и эксперименте по оценке степени готовности Национальных центров данных (NPE09).

### ВВЕДЕНИЕ

Институт геофизических исследований НЯЦ РК уже в течение многих лет принимает активное участие в работах по оценке эффективности сейсмического мониторинга системы верификации, создаваемой Организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ). Так, в 2001 г. Казахстанский Национальный центр данных (КНЦД) участвовал в первом эксперименте по оценке, организованном Временным техническим секретариатом (ВТС) ОДВЗЯИ, так называемом "Упражнении по оценке данных за пять дней" ("Five-data day evaluation exercise"). В процессе его проведения сравнены результаты получения и обработки сейсмических данных в Международном центре данных (МЦД) ОДВЗЯИ и в КНЦД., которые затем представлены и обсуждены на Семинаре по оценке в Осло, Норвегия. В 2005 г. ВТС провел "Первый всеобъемлющий тест по оценке работы системы" (First system-wide Performance Test, SPT1) с целью всесторонней проверки деятельности всех составных частей ОДВЗЯИ – Международной системы мониторинга (МСМ), Глобальной системы коммуникаций (ГСК) и Международного центра данных (МЦД), - а также проверки эффективности взаимодействия структур ВТС с национальными представителями и Национальными центрами данных (НЦД).

В последнее время ВТС провел в основном менее масштабные эксперименты по оценке (small-scale evaluation exercises), которые также называют "упражнениями по готовности Национальных центров данных" (NDC preparedness exercise). Основной их целью является проверка своевременности реагирования ВТС и национальных представителей (в частности, НЦД) на подозрительное сейсмическое событие. Назначением этих упражнений является также отработка взаимодействия НЦД с ВТС и налаживание взаимодействия различных НЦД друг с другом. Кроме участия в экспериментах и тестах, инициируемых ОДВЗЯИ, КНЦД на регулярной основе проводят независимый мониторинг информационной продукции МЦД и предоставляет результаты своей оценки на семинарах, проводимых под руководством ОДВЗЯИ.

В статье освещено участие Казахстанского Национального центра данных в двух событиях, организованных ВТС ОДВЗЯИ – в 2003 г. и 2009 г.

### УЧАСТИЕ В ПЕРВОМ ВСЕСТОРОННЕМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ТЕСТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА SPT1

Решение о проведении первого всестороннего тестирования Международной системы мониторинга (SPT1 – system-wide performance test) принято в сентябре 2003 г. на заседании Рабочей Группы Б ВТС ОДВЗЯИ. Было предусмотрено проведение SPT1 в три этапа: подготовительный (май – июнь 2004 г.), тестирования работы системы (апрель – июнь 2005 г.), анализа результатов тестирования (вторая половина 2005 г.). Предполагалось активное участие НЦД, которые должны были осуществить: 1) оценку качества аналитических моделей, используемых как для отдельных компонентов системы мониторинга, так и всей системы в целом; 2) участие в составлении отчетов; 3) сравнение результатов оценки работы системы, полученные в ВТС, с оценками, полученными в НЦД. Таким образом, перед НЦД стояли две группы задач. Первая из них включала оценку качества взаимодействия НЦД и стационарных операторов, с одной стороны, и ВТС, с другой стороны, по таким параметрам, как своевременность и полнота ответов на запросы в ВТС, своевременность предоставления данных по запросу и продуктов МЦД и др. Вторая группа задач предусматривала проведение независимой экспертизы качества информационных продуктов МЦД, таких как сейсмологический REB (Reviewed event bulletin - каталог Международного центра данных) и радионуклидный бюллетени.

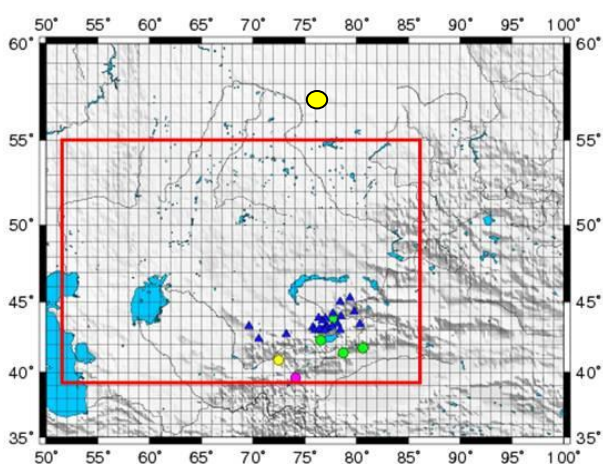
По результатам участия КНЦД в оценке качества взаимодействия с ВТС был подготовлен и представлен в Отдел по экспертизе ВТС (Evaluation Section of PTS) соответствующий отчет. По первой группе задач в отчете приведены результаты сравнения объемов сейсмических и инфразвуковых данных, поступивших в КНЦД (г. Алматы) из МЦД (Вена), объемов данных, хранящихся в МЦД, а также информацию о проблемах на станциях или каналах связи, возникавших во время проведения SPT1, и способах их разрешения (силами сотрудников КНЦД, силами сотрудников ВТС, или совместно сотрудниками КНЦД

и ВТС). Кроме того, отчет отразил использование опыта и высокое качество предоставления услуг со стороны ВТС странам-участникам эксперимента - получение продуктов ВТС (в частности, сейсмических бюллетеней) по подписке с помощью электронной почты; работа с AutoDRM (Automatic Data Request Manager); с данными, находящимися на защищенном Web-сайте МЦД.

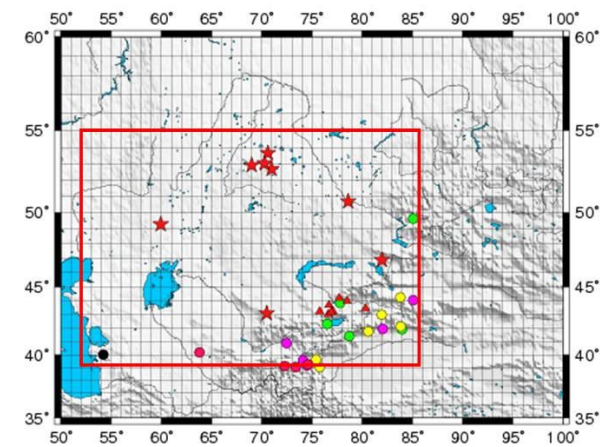
По второй группе задач (независимая экспертиза качества продуктов МЦД) проведен сравнительный анализ бюллетеня REB с информационными продуктами разных Центров в Казахстане и России, такими как: сводный сейсмологический бюллетень, составляемый в КНЦД по данным двух казахстанских наблюдательных сетей станций – НЯЦ РК и СОМЭ МОН РК (Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства образования и науки РК), – каталог землетрясений, формируемый в СОМЭ МОН, составляемый только по данным сейсмической сети СОМЭ РК, сейсмологический бюллетень Геофизической службы

РАН. Проведен поиск событий из бюллетеня REB, которые были включены и в перечисленные каталоги. Для каждого из совпадающих событий проведено сравнение местоположения и сравнение магнитуд по всем перечисленным источникам. Ниже приводятся более подробное описание этой части работы.

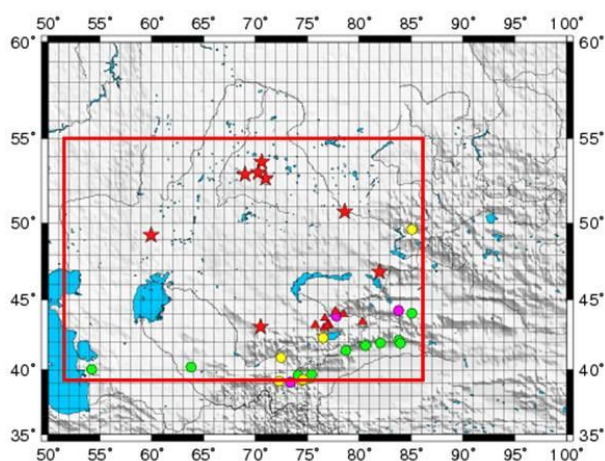
Сравнительная оценка проведена для региона, охватывающего большую часть территории Республики Казахстан и ряд прилегающих территорий в пределах координат 29° - 55° с.ш. и 52° - 86° в.д (рисунок 1). Используются данные за апрель и май 2005 г. (т.е. за время проведения эксперимента SPT1), в течение которого в бюллетене REB было зарегистрировано 22 события. Из каталога СОМЭ МОН РК (рисунок 1а), включающего в основном события в южной и юго-восточной частях Казахстана, 6 событий были проассоциированы с событиями из бюллетеня REB. На рисунке 1-а показаны эпицентры событий, совпадающих для трех сравниваемых каталогов.



Синий треугольник – сейсмическая станция СОМЭ МОН РК  
**а – REB и каталог СОМЭ МОН РК**



Красная звездочка – сейсмическая станция НЯЦ РК; красный треугольник – станция системы VULCAN сети СОМЭ МОН РК  
**б – REB и каталог ГС РАН**



Красная звездочка – сейсмическая станция НЯЦ РК; красный треугольник – станция системы VULCAN сети СОМЭ МОН РК  
**в – REB и сводный бюллетень КНЦД**

● < 20 км    ● > 20 < 40 км    ● > 40 < 60 км    ● > 60 < 100 км    ● > 100 км  
Цвет кружка - величина расхождения в определении местоположения события по двум каталогам

*Рисунок 1. Расхождения в определении местоположения эпицентра одних и тех же событий по сравниваемым источникам*

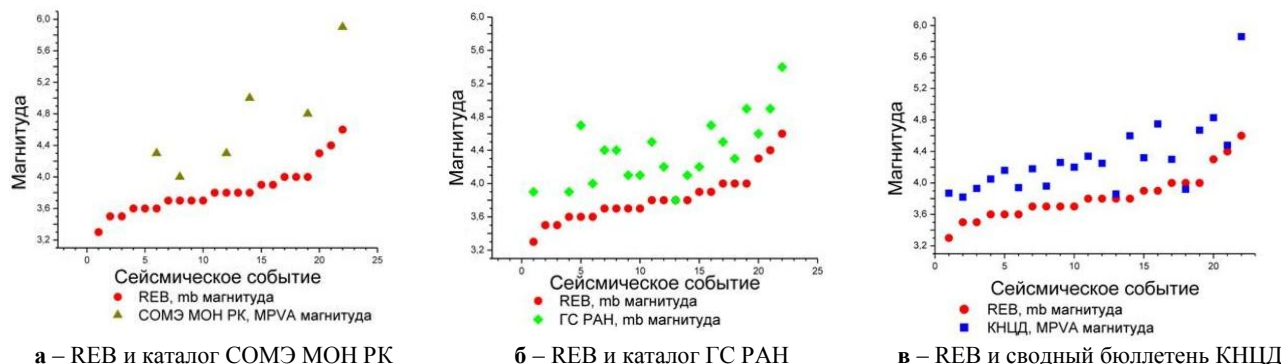
Из рисунка 1-а видно, что для большей части событий различие между координатами по REB и каталогу СОМЭ МОН РК не превышает 20 км. Два события, для которых обнаруживается значительное расхождение в местоположении (более 20 км), располагаются на границе сети станций СОМЭ, где точность локализации понижена. В целом, проведенное сравнение данных из каталогов свидетельствует о хорошей сходимости результатов только на очень небольшой части территории Казахстана.

Каталог ГС РАН является телесеismicким, то есть охватывает всю территорию земного шара. При его составлении используются как данные российских сейсмических станций, так и данные сейсмических станций, расположенных на территории Казахстана, других республик СНГ, а также различных международных сетей (IRIS, ОДВЗЯИ и др.). 20 событий из каталога ГС РАН проассоциированы с событиями из бюллетеня REB. Сходимость результатов локализации (рисунок 1-б) можно считать хорошей – для 16 событий из 20 разница в результатах локализации составляет менее 30 км.

Сводный бюллетень КНЦД составляется с задержкой 1 – 1.5 дня от реального времени из-за использования дополнительных данных сети СОМЭ (рисунок 1-в). В сводном бюллетене КНЦД обнаружены 22 события из 22 событий бюллетеня REB.

Это свидетельствует о том, что за время проведения эксперимента на изучаемой территории в бюллетене REB нет ложных (несуществующих) событий и что для данной территории бюллетень КНЦД более представительен, чем региональный бюллетень СОМЭ и телесеismicкий каталог ГС РАН. На рисунке 1-в показан характер расхождений в определении местоположения событий между бюллетенем REB и сводным бюллетенем КНЦД. Как и в случае с каталогом СОМЭ, наилучшая сходимость между решениями наблюдается в районах с высокой концентрацией сейсмических станций.

Сравнение магнитуд одних и тех же событий из разных каталогов выявило систематические расхождения в магнитудах одних и тех же событий. В бюллетене REB приведена магнитуда mb, определяемая по магнитудной калибровочной кривой Вейта – Клауссона (Veith – Clawson) [1] для волн P. В бюллетене КНЦД, так же как и в каталоге СОМЭ МОН РК, используется магнитуда MPVA, определяемая по региональной калибровочной кривой на основе амплитуд волн P [2]. На рисунке 2 приведены результаты сравнения магнитуды событий из REB с магнитудой соответствующих событий из каталога СОМЭ МОН РК, оперативного каталога ГС РАН и сводного бюллетеня КНЦД.



*Рисунок 2. Расхождения магнитуд одних и тех же событий по сравниваемым источникам*

Из рисунка 2 видно, что для всех трех каталогов, сравниваемых с REB, магнитуда событий систематически выше. Разница между магнитудами одних и тех же событий по бюллетеню КНЦД и REB в среднем составляет 0.47 единицы, по бюллетеню ГС РАН - 0.52 единицы, по каталогу СОМЭ МОН РК - 0.8 единицы. Следует отметить, что при анализе результатов SPT1 на семинаре в Риме (октябрь 2005 г.), другие национальные центры данных (Италии, Испании, Румынии, Монголии), представили сходный результат. Магнитуда mb сейсмических событий, заносимая в бюллетень REB, систематически занижена по сравнению с магнитудами событий, рассчитываемых в региональных центрах.

### **УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ДАННЫХ NPE09**

Идея проведения "Упражнения по готовности НЦД" (NPE) возникла на Семинаре по оценке (NDC Evaluation Workshop) на Украине в 2006, который проходил сразу же после первого Северо-Корейского ядерного испытания. Цель NPE определена как проверка состояния верификационных возможностей Национальных центров данных), в частности, проверка качества обмена данными и продуктами между МЦД и НЦД; оценка качества, своевременности и полезности продуктов МЦД и их вклада в анализ события в НЦД; оценка эффективности анализа события в НЦД.

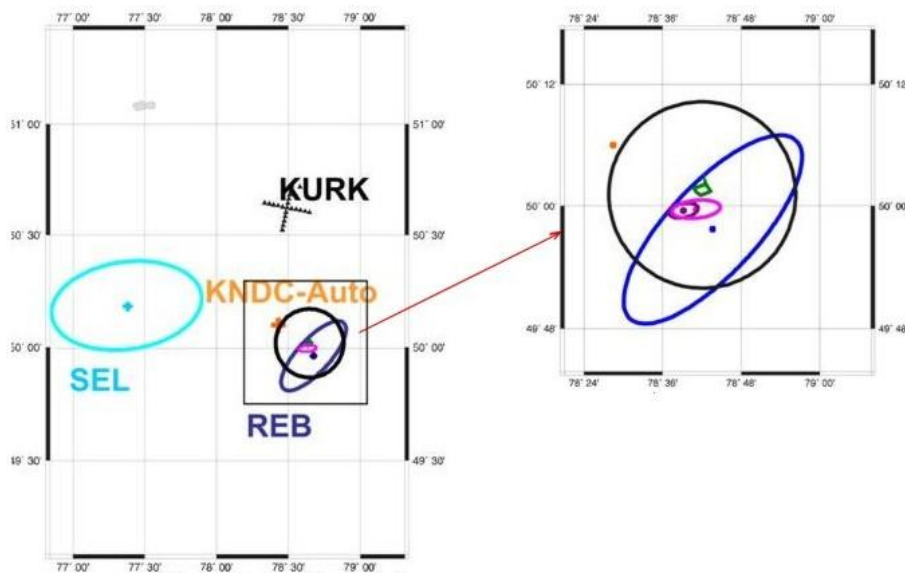
Эксперименты проведены в 2007 г. (NPE07), 2008 г. (NPE08) и в 2009 г. (NPE09). Для NPE07 выбрано событие в Иране. Результаты эксперимента обсуждены на Семинаре по оценке НЦД в Бадене (Австрия) в 2008 г. Для NPE08 выбрано событие в районе западного берега Чили, результаты эксперимента обсуждены на Семинаре по оценке НЦД в Пекине (Китай) в 2009 г. Критерии, которым должно удовлетворять событие, выбранное для эксперимента, изменялись. Так, например, для эксперимента NPE09 были предложены следующие критерии: хорошее окружение события работающими сейсмическими станциями; четкий инфразвуковой сигнал хотя бы на одной станции; природа - возможный взрыв; присутствие события в автоматическом бюллетене МЦД, его обработка стандартными методами МЦД и включение в бюллетень REB; хорошее окружение события радионуклидными станциями; "реалистичный" диапазон магнитуд ( $3 < mb < 4.5$ ).

Эксперимент NPE09 стартовал 1 октября 2009 г., и уже месяц спустя было обнаружено 9 событий, удовлетворяющих разработанным критериям. Выбор события для эксперимента NPE09 был предоставлен Германскому национальному центру данных, который предложил как наиболее подходящий вариант промышленный взрыв, произведенный в Казахстане 28 ноября 2009 г. в карьере Каражыра, расположенном в пределах бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

После получения информации о событии, выбранном для NPE09, КНЦД предоставил участникам веб-форума НЦД данные о координатах карьера и способе проведения взрыва. По запросам отдельных НЦД (Норвегии и Швеции) предоставлена дополнительная информация об имеющихся региональных скоростных моделях для территории Семипалатинского испытательного полигона, о других карьерах, расположенных в Центральном Казахстане. Был проведен всесторонний анализ этого события, включая определение координат взрыва с использованием разных годографов, сравнение координат и магнитуды взрыва, рассчитанных в различных сейсмологических организациях.

Согласно информации руководства ТОО "Каражыра ЛТД" – организации, производящей работы в карьере, - взрыв был произведен на западном фланге разреза и согласно данным КНЦД имел следующие координаты: 50.018323 град. с.ш. и 78.726551 град. в.д. Последующая оценка точности локализации этого события в различных бюллетенях проводилась в сравнении с этими координатами.

В КНЦД записи взрыва в карьере Каражыра были обработаны и занесены в три бюллетеня – автоматический, интерактивный и сводный. На рисунке 3 показаны местоположение карьера Каражыра, а также результаты локализации события в МЦД и в КНЦД.



— 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 — 7

- 1 - карьер Каражыра; 2 - SEL1, SEL2, SEL3 бюллетени МЦД (93.18 км от карьера); 3 - REB бюллетень МЦД (6.532 км от карьера); 4 - автоматический бюллетень КНЦД (18.609 км от карьера); 5 - интерактивный бюллетень КНЦД (2.837 км от карьера); 6 – сводный бюллетень КНЦД (4.45 км от карьера); 7 - круг площадью 1000 кв. км

*Рисунок 3. Сравнение результатов локализации взрыва в карьере Каражыра по данным МЦД и КНЦД*



Как и следовало ожидать, наименее точными были результаты автоматической локализации взрыва. Согласно автоматическому бюллетеню КНЦД отклонение от места взрыва составило 18 км, а согласно автоматическому бюллетеню МЦД - более 90 км. В интерактивных бюллетенях получена гораздо более высокая точность локализации: согласно бюллетеню REB, создаваемому в МЦД, отклонение составило 6.5 км, согласно интерактивному бюллетеню КНЦД - менее 3 км. Следует отметить, что решение, полученное в сводном бюллетене КНЦД, создаваемом на базе интерактивного бюллетеня КНЦД с добавлением данных нескольких станций СОМЭ МОН РК, оказалось менее точным – отклонение от места взрыва составило 4.5 км. То есть, добавление данных нескольких станций не улучшило, а ухудшило результаты локализации (рисунки 3). Этот пример свидетельствует о том, что при локализации сейсмических событий важным является не только общее количество станций, данные которых участвуют в обработке, но и пространственное расположение этих станций относительно изучаемого события.

Достаточно точная информация о месте проведения взрыва в карьере Каражыра позволила провести сравнение различных годографов. С этой целью проведена перелокализация взрыва с использованием следующих нескольких годографов: глобального годографа IASP91 [3], который в настоящее время является основным рабочим годографом при составлении интерактивного и сводного бюллетеней КНЦД; глобального годографа АК135 [4]; регионального годографа 'calib' для событий с нулевой глубиной [5], построенного на основе анализа калибровочных взрывов, проведенных на СИП в 1997 – 2000 гг.; и, наконец, регионального годографа 'calibh' [6]. Региональный годограф 'calibh' построен В.

И. Шацкиным следующим образом. На основании годографа 'calib' для нулевой глубины была рассчитана 1-D скоростная модель фаз Р и S до глубины 60 км, по которой были определены времена пробега сейсмических фаз. Таким образом, разница между годографами 'calib' и 'calibh' состоит в том, что первый можно использовать только для событий с нулевой глубиной, а второй - при локализации региональных событий с различной глубиной.

При проведении перелокализации во всех случаях использовался один и тот же набор сейсмических фаз – тот, который был получен при формировании сводного бюллетеня КНЦД. Наилучшие результаты получены при использовании годографа 'calib'. При локализации события с использованием этого годографа, получено наименьшее отклонение от реального места взрыва – всего лишь 1.9 км. Использование модели 'calibh' позволило получить также неплохой результат – отклонение в 3.6 км. Использование годографа IASP91, как показано выше, привело к отклонению в 4.5 км от карьера. При использовании годографа АК135 отклонение составило 9.8 км.

Результаты исследований, проведенных сотрудниками КНЦД в рамках NPE09, представлены на Семинаре по оценке, проведенном в г. Найроби, Кения в 2010 г.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены два примера участия КНЦД в оценке эффективности сейсмического мониторинга, проводимого в рамках ОДВЗЯИ. Активное участие сотрудников КНЦД в проводимых экспериментах способствует совершенствованию методик оценки параметров регистрируемых событий как при региональном, так и глобальном мониторинге.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Veith, K.F. Magnitude from short-period P-wave data / K.F. Veith, G.E. Clawson // Bull. Seism. Soc. Am., 1972. – V 62. – pp. 435 – 452.
2. Михайлова, Н.Н. Калибровочная функция  $s(d)$  для определения MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня / Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 41 – 47.
3. Kennett, B.L.N. IASPEI 1991 Seismological Tables / Kennett B(ed) // Research School of Earth Sciences, 1991. – Australian National University, Canberra.
4. Kennett, B.L.N. Constraints of seismic velocities in the Earth from travel times. / B.L.N. Kennett, E.R. Engdahl, R. Buland // Geophys. J. Int, 1995. – 122. – pp. 108 – 124.
5. Михайлова, Н.Н. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне / Н.Н. Михайлова, И.Л. Аристова, Т. И. Германова // Вестник НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2. – С. 46 – 54.
6. Шацков, В.И. Отчет о научной работе по расчету обобщенных скоростных моделей земной коры для регионов Казахстана / В.И. Шацков // Алматы, 2004.

**ЯСБТШҰ ШЕГІНДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІ ТИІМДІЛІГІН  
БАҒАЛАУЫНДА ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ҰЛТТЫҚ ДЕРЕКТЕР ОРТАЛЫҒЫНЫҢ ҚАТЫСУЫ**

**Синёва З.И., Михайлова Н.Н.**

*ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Мониторингі жүйесін тестілеу бойынша ЯСБТШҰ жүргізген бірінші жан-жақты экспериментіне (SPT1) және ұлттық деректер орталықтарының дайындығын бағалау бойынша экспериментіне (NPE09) қатысу үлгісінде, жүргізілудегі сейсмикалық мониторингтің тиімділігін бағалауымен байланысты, Қазақстандық ұлттық деректер орталығының қызметі баяндалған.

**CONTRIBUTION OF KAZAKHSTAN NATIONAL DATA CENTER  
TO SEISMIC MONITORING PERFORMANCE ESTIMATION UNDER CTBTO**

**Z.I. Sinyova, N. N. Mikhailova**

*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The article describes activity of Kazakh National Data Center in the context of assessment of seismic monitoring effectiveness for two reference events: the first, System-Wide Performance Test (SPT1) to test system main elements and the second, NDC preparedness exercise (NPE09) conducted by CTBTO.