

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев

Филиал «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан» Агентства Республики Казахстан по атомной энергии

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЯДЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ И КРИОСЕЙСМОЛОГИЯ – НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОЛОГИИ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. В Казахстане в 2000-2006 г.г. создана современная сеть высокотехнологичных станций, основу которой составляют 5 сейсмических групп, созданных для контроля выполнения обязательств Казахстана по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Станции являются одними из лучших в Международной системе мониторинга (МСМ) по обнаружению и локализации землетрясений и взрывов с источниками на всем земном шаре. Для территории Казахстана их данные позволили сделать важные открытия по сейсмической активности регионов, ранее считавшихся «асейсмичными», выявить новые закономерности в распространении волн, в проявлении афтершоков, начать наблюдения по криосейсмологии в зонах высотных ледников Тянь-Шаня.

Ключевые слова: мониторинг, сейсмическая группа, землетрясение, взрыв, эпицентр, магнитуда.

Основная часть

В Казахстане в начале этого столетия создана новая сеть станций ядерного мониторинга, входящих в состав глобальных сетей мониторинга за испытаниями ядерных взрывов – IMS и AFTAC. Перед строительством станций проведена тщательная работа по выбору площадок на основе изучения геологических характеристик среды, сейсмических шумов в широком спектральном диапазоне, выбора окончательного расположения на альтернативной основе из 9-14 вариантов. Главное требование – низкий уровень сейсмических шумов, высокая эффективная чувствительность за счет группирования сейсмических элементов, подбора нужной конфигурации группы, размещения аппаратуры в скважинах, комплексирования однокомпонентных и трехкомпонентных сейсмометров для возможности лучшего детектирования и надежного определения энергетических характеристик сигналов. На рисунке 1 показана сеть сейсмического мониторинга НЯЦ РК. На отдельных выносках представлена конфигурация сейсмических групп. В составе групп 10-21 сейсмический элемент. Видно, что сейсмические группы размещены в основном по периметру страны независимо от уровня сейсмичности территории. Станции Маканчи, Боровое, Курчатов входят в международную сеть IMS ДВЗЯИ. Станции Каратау и Акбулак входят в сеть AFTAC.

В Международной сети мониторинга 50 сейсмических станций составляют первичную сеть, 120 станций входят во вспомогательную сеть. Эти станции размещены на территориях 90 стран мира, работают по единому регламенту, строго соблюдается бесперебойность в предоставлении данных в полном объеме в режиме реального времени по спутниковым каналам связи в Международный центр данных в Вена (IDC) и в Национальный центр данных в Алматы (входит в состав ИГИ НЯЦ РК).

На рисунке 2 представлена конфигурация первичной сейсмической группы Маканчи, условно представляющая собой две окружности. Сейсмическая группа Маканчи состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. Радиус внутреннего кольца ~500 м, наружного ~2000 м. 9 элементов представляют однокомпонентные

вертикальные каналы, один элемент группы – трехкомпонентная сейсмическая станция. В январе 2002 г. станция была сертифицирована комиссией МСМ в качестве первичной станции МСМ.

Аналогичную конфигурацию имеют сейсмические группы Боровое, Акбулак и Каратау. Сейсмическая группа Курчатов в своем составе имеет 21 элемент, расположенный по двум ортогональным профилям («Курчатов-Крест»).

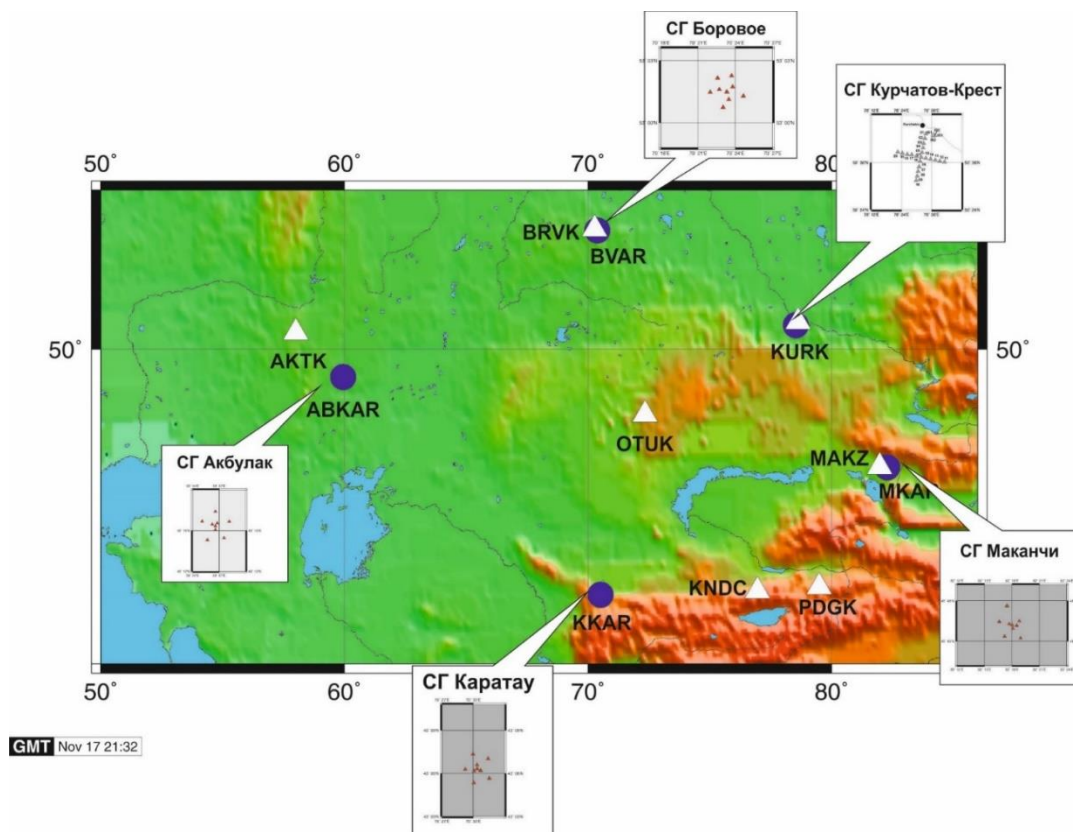


Рисунок 1 - Размещение станций сети НЯЦ РК на территории Казахстана. Синие кружки – сейсмические группы, треугольники – трехкомпонентные сейсмические станции

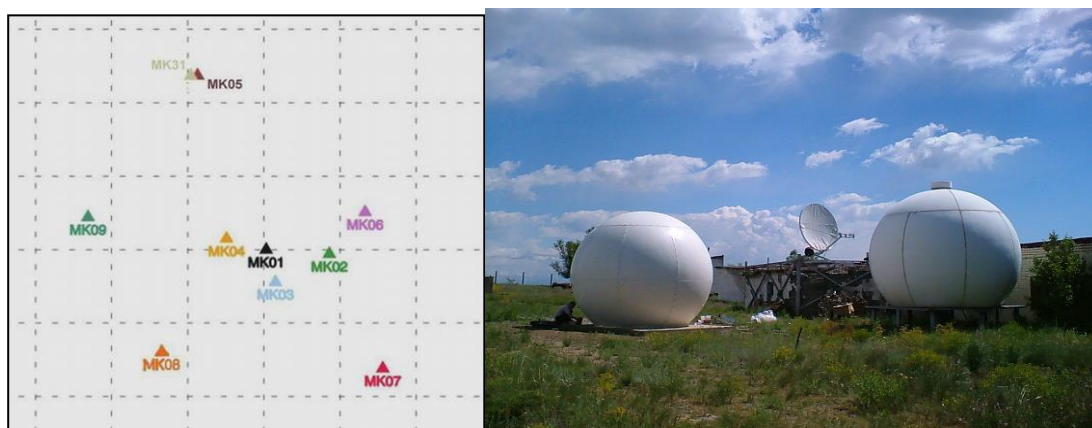


Рисунок 2 - Конфигурация первичной сейсмической станции Маканчи и вид на элемент станции

Общее представление о Международной системе мониторинге (IMS) дает рисунок 3. В ее составе более 300 объектов, работающих по четырем технологиям – сейсмический мониторинг, инфразвуковой мониторинг, гидроакустический мониторинг, радионуклидные станции и лаборатории. Благодаря такому комплексу, обеспечен контроль за ядерными испытаниями в разных средах на всем земном шаре.



Рисунок 3 - Карта объектов Международной системы мониторинга ДВЗЯИ, осуществляющей глобальный контроль за ядерными испытаниями и землетрясениями

В Институте геофизических исследований применяются две технологии – сейсмические и инфразвуковые наблюдения. В казахстанском сегменте IMS имеется одна первичная станция – Маканчи (MKAR) и три вспомогательных сейсмических станции – Боровое (BVAR), Курчатов (KURK) и Актюбинск (AKTO). Две сейсмические группы входят в сеть AFTAC. Сеть инфразвуковых наблюдений представлена в НЯЦ РК тремя инфразвуковыми группами – Актюбинск, Курчатов и Маканчи.

За годы эксплуатации Международной системы мониторинга казахстанские станции продемонстрировали высокую эффективность в обнаружении событий, в участии в создании Международного бюллетеня сейсмических событий REB, выпускаемого Международным центром данных на основе анализа данных всей сети глобального мониторинга. Это хорошо видно по рисунку 4, где представлено распределение «мест» в рейтинге станций мира по количеству ассоциируемых с бюллетенем REB событий. Такой анализ проведен отдельно по первичным (слева) и вспомогательным (справа) сейсмическим станциям.

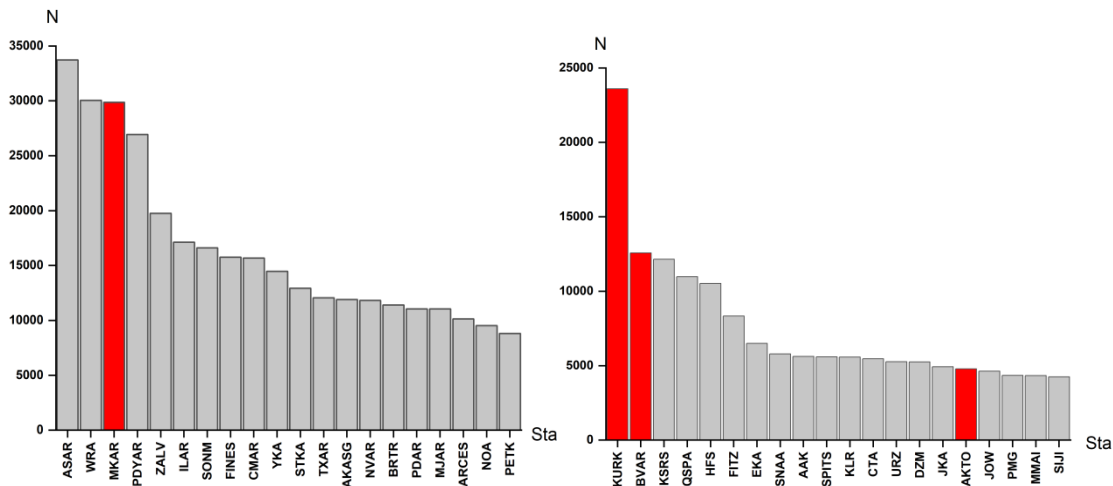


Рисунок 4 - Распределение сейсмических станций по количеству детектируемых и ассоциированных с бюллетенем REB фаз по первичным (слева) и вспомогательным (справа) сейсмическим станциям Международной системы мониторинга IMS. Красным выделены казахстанские станции сети НЯЦ РК

Из рисунка 4 видно, что сейсмическая группа Маканчи находится на третьем месте среди 50 первичных станций, а сейсмические группы Боровое и Курчатов – на первых местах среди 120 вспомогательных станций мира. Трехкомпонентная станция Актюбинск также показывает высокую эффективность. Этот анализ выполнен по данным 2024 года. Такая картина сохраняется уже много лет. Чем это определяется? Во-первых, положением всех казахстанских станций далеко внутри континента на большом удалении от океанов. Во-вторых, выбором участков на скальных грунтах с низким уровнем шумов, в третьих, размещением аппаратуры в скважинах на глубинах 30 – 60 м.

О чувствительности к обнаружению событий группы Маканчи свидетельствует и карта на рисунке 5. Сейсмическая группа регистрирует большое количество самых разнообразных по природе событий из разных районов мира. Это и локальные события вблизи самой станции, начиная с магнитуды 1,5, региональные события (землетрясения и карьерные взрывы) с магнитуды 2,0 на территории Казахстана и Центральной Азии, ядерные испытания с полигона Северной Кореи и землетрясения из районов полигонов Китая, Индии, Пакистана, множество телесейсмических землетрясений из далеких регионов мира. На рисунке 5 показано распределение эпицентров событий по регионам мира с указанием разным цветом доли событий, в определении которых участвует группа Маканчи, относительно всех вошедших в REB событий.

На огромных территориях Азии, Европы, Африки сейсмическая группа Маканчи обнаруживает от 80 до 100 % всех происходящих событий с магнитудой более 3,5.

Открытие новых сейсмических групп в начале 2000-х годов на территории Казахстана позволило изменить представление о сейсмической опасности территории Казахстана и пересмотреть карты общего районирования (зонирования) страны. Те территории, которые ранее считались «асейсмичными», оказались подверженными довольно сильным и ощутимым землетрясениям. Первое из них было зарегистрировано в Центральном Казахстане в 2001 году и проявилось интенсивностью в 6 баллов в эпицентре. В Западном Казахстане зарегистрировано Шалкарское землетрясение с интенсивностью 7-8 баллов в эпицентре.

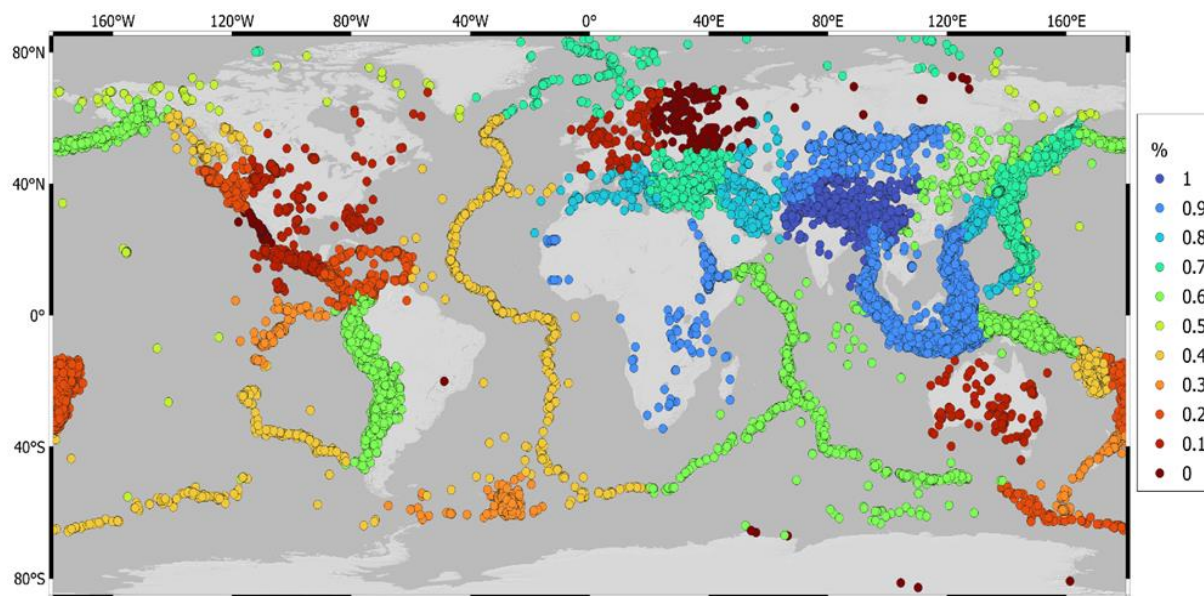


Рисунок 5 - Карта эпицентров сейсмических событий мира за 2024 г.(по REB с указанием доли, зарегистрированных сейсмической группой Маканчи)

Начали регистрироваться и идентифицироваться в огромном количестве карьерные взрывы, техногенные землетрясения и другие по природе события (5-6 тысяч взрывов в год). В 2017 году ИС МОН РК произведены работы по составлению новой уточненной карты общего сейсмического зонирования территории Казахстана, куда вошли новые данные, полученные и сетью станций НЯЦ РК.

Данные станций ядерного мониторинга позволили не только найти применение в прикладных исследованиях в целях обеспечения сейсмической безопасности территорий и отдельных ответственных объектов, но и получить новые фундаментальные знания о характеристиках сеймотектонических напряжений в новых районах, об особенностях распространения кода-волн через структуры Центрального Казахстана и др. [1].

Началось развитие нового направления сейсмологии – криосейсмологии. Именно открытие сейсмической группы Маканчи и анализ ее данных в 2006-2009 г.г. привел к заключению, что в данных сейсмической регистрации содержится информация о процессах, происходящих в масштабных ледниках Высотного Тянь-Шаня. Ранее в мире работ по континентальным ледникам и регистрации их жизнедеятельности сейсмическими и инфразвуковыми методами практически не было. Новое направление в сейсмологии – криосейсмология, в основном, развивалось на основе наблюдений за ледниками в арктической зоне и в Антарктике. В последние годы во всем мире в связи с большим интересом к проблемам глобального потепления и его влияния на климат началось активное изучение ледников и в горных районах на континентах. Подробный обзор мировых и отечественных источников по исследованию сейсмических процессов в ледниках под воздействием климатических изменений приведен в работе [2]. Результаты последующих исследований разных авторов показали, что изменение суточной температуры воздуха модулирует ледниковую сеймику. Расселины и трещины являются принципиальными компонентами баланса массы ледников, они служат путями талой воды в ледниковую водопроводящую систему, приносят огромное количество скрытого тепла в ледник. Это вызывает сдвиги ледниковой массы, их движение, которое может регистрироваться сейсмическими методами. Организация длительных непрерывных мониторинговых наблюдений позволит

оценить и прогнозировать изменения в динамике ледников в связи с глобальными климатическими изменениями.

ИГИ НЯЦ РК в рамках ПЦФ ИРН BR 21881915 «Применение ядерных, сейсмических и инфразвуковых методов для оценки климатических изменений и смягчения последствий изменения климата» создал многопараметрическую сеть наблюдений в ближней и дальней зоне за ледниками Тянь-Шаня на границе трех стран – Казахстана, Кыргызстана и Китая. Получены уникальные данные о распределении ледниковой сейсмичности, ее интенсивности, суточных и сезонных вариациях ледниковых событий, Работы в этом направлении продолжаются.

Список литературы:

1. Михайлова Н.Н. Важные результаты, полученные благодаря открытию сейсмических групп в Казахстане. // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 2. С.23.
2. Михайлова Н.Н., Мукамбаев А. С., Казаков Е. Н., Морозов В. Г., Игибаев У. А. Аналитический обзор мировых и отечественных источников по исследованию сейсмических процессов в ледниках под воздействием изменений климата // Вестник НЯЦ РК. – 2024. – Вып.3. С.65 - 74.