УДК 550.34.06

Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н.
Филиал «Институт геофизических исследований» НЯЦ РК,
г. Алматы, Республика Казахстан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СЕТИ МОНИТОРИНГА ИГИ НЯЦ РК ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В Казахстане находятся несколько объектов повышенной опасности: исследовательские атомные реакторы, расположенные в г. Алматы и Восточном Казахстане вблизи г. Курчатова, Банк низкообогащённого урана (НОУ) в г.Усть-Каменогорск и рассматривается возможность строительства атомной электростанции. Для районов размещения объектов атомной отрасли собраны современные данные сети ИГИ НЯЦ РК, исторические данные по сейсмичности, создана база данных сильных движений, изучено тектоническое строение районов расположения объектов, собраны макросейсмические данные ощутимых землетрясений, проведена оценка сейсмической опасности районов.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмический мониторинг, сейсмическая опасность, сильный движения.

КазР УЯБ ГИИНИН ТҮЙҮНҮН МОНИТОРИНГ МААЛЫМАТТАРЫН АТОМ ТАРМАГЫНЫН ОБЪЕКТИЛЕРИНИН КООПСУЗДУГУ ҮЧҮН КОЛДОНУУ

Кыскача мазмуну. Казакстанда жогорку коркунучтагы бир нече объекттер бар: Алматы ш. жана Чыгыш Казакстанда Курчатов ш. жакын жайгашкан изилдөөчүлүк атомдук реакторлор, Усть-Каменогорск ш. аз байытылган уран (АБУ) Банкы, атомдук элекстростанциясын куруу мүмкүндүгү караштырылууда. Атом тармагынын объекттерин жайгаштыруу райондору үчүн КазР УЯБ ГИИ түйүнүнүн заманбап маалыматтары, сейсмикалуулук боюнча тарыхий маалыматтар топтоштурулду, күчтүү кыймылдардын маалыматтар базасы түзүлдү, объекттердин жайгаштыруу райондорунун тектоникалык курулушу изилденди, сезилээрлик жер титирөөлөрдүн макросейсмикалык маалыматтары топтоштурулду, райондордун сейсмикалык коркунучуна баа берүү жүргүзүлдү.

Негизги сөздөр: сейсмикалуулук, сейсмикалык мониторинг, сейсмикалык коркунуч, күчтүү кыймылдар.

APPLICATION OF THE IGR NNC RK MONITORING NETWORK DATA FOR NUCLEAR FACILITIES SAFETY

Abstract. Kazakhstan possesses several critical facilities: research nuclear reactors located in Almaty and in the east Kazakhstan near Kurchatov, low-enriched uranium bank (LEU) in Ust-Kamenogorsk, and the construction of nuclear power station is planned. Data on seismicity was collected for the regions of the nuclear facility regions using data of the IGR NNC RK network and historical data, the database of strong motions was created, the tectonic structure was studied, the macroseismic data of felt earthquakes were collected, the seismic hazard of the regions was assessed.

Keywords: seismicity, seismic monitoring, seismic hazard, strong motions.

Введение

Ранее были проведены исследования сейсмичности на территории г. Алматы, в том числе для района размещения атомного реактора ВВР-К, расположенного в черте города. Эта территория характеризуется высоким уровнем сейсмической опасности, так

как расположена вблизи сейсмически активного Северного Тянь-Шаня, рядом с региональными активными разломами [1]. В непосредственной близости происходили землетрясения с магнитудами 7-8.

Район г. Курчатов, вблизи которого расположены исследовательские реакторы и другие критические объекты, находится на территории, которая ещё сравнительно недавно считалась асейсмичной, а г. Усть-Каменогорск расположен в зоне, где возможны 6-балльные сотрясения. Однако исследования последних лет показали, что район СИП относится к 6-балльной зоне, и его сейсмическая опасность была ранее недооценена [2]. Отечественными и зарубежными исследователями показано, что в платформенных областях Евразии за последние годы зарегистрирован ряд довольно сильных землетрясений, в том числе вблизи ответственных объектов. Например, Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года с Mw~5 является прямым подтверждением представлений, лежащих в основе сейсмического районирования современного уровня, о возможности повсеместного проявления слабых и даже умеренных сейсмических событий с редкой повторяемостью. Землетрясение 21 сентября 2004 года состояло из 2-х толчков, первый в 11-05 GMT (Mw=5.0, mb=4.7, M_L =4.8), второй в 13-32 GMT (Mw=5.2, mb=4.8, M_L=5.0) [3]. На сравнительно небольших расстояниях от этих очагов расположены Игналинская АЭС, строящаяся Белорусская АЭС и Ленинградская АЭС. Другой пример 6 балльное Катав-Ивановское землетрясение 4 сентября 2018 г. [4], относительно недалеко от эпицентра расположено НПО «Маяк» и др.

В связи с этим исследование сейсмичности, геодинамических процессов, сейсмической опасности территории размещения объектов атомной отрасли Казахстана является актуальной задачей.

Объекты атомной отрасли на территории Казахстана

Реактор ВВР-К (рисунок 1) вблизи г. Алматы является единственным многоцелевым исследовательским реактором в Республике Казахстан (город Алматы, население около 2 миллионов) введён в эксплуатацию в 1967 г. До 1988 г. его тепловая мощность составляла 10 МВт. С 1988 по 1998 год проведены работы по изучению и повышению сейсмостойкости сооружений и технологического оборудования ВВР-К (расчёты и обоснования, усиление конструкций, дублирование систем, ответственных за безопасность, оформление новой документации). В связи с изменением конфигурации активной зоны, тепловая мощность реактора была уменьшена до 6 МВт. На базе реактора проводятся фундаментальные ядерно-физические и материаловедческие исследования, внутриреакторные испытания, производство радиоизотопов для медицины и промышленности, гамма-источников, нейтронное легирование кремния, нейтронно-активационный анализ.

Хранилище низкообогащённого урана (рисунок 2) - Банк НОУ МАГАТЭ создано на базе Ульбинского металлургического комбината вблизи города Усть-Каменогорск и действует под эгидой Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и рассчитано на запас гексафторида урана – сырья, используемого при изготовлении топливных таблеток для АЭС. Хранилище - это модуль площадью 900 квадратных метров, негорючий, сейсмостойкий, с небольшим административным отсеком для сотрудников МАГАТЭ.

Рисунок 1. Исследовательский атомный реактор ВВР-К.

Рисунок 2. Банк НОУ.

Импульсный исследовательский реактор ИГР является высокотемпературным, самогасящимся уран-графитовым гомогенным реактором на тепловых нейтронах (рисунок 3). Из импульсных реакторов большой интегральной мощности реактор ИГР обладает самым высоким флюенсом нейтронов в экспериментальной полости диаметром 228 мм и высотой 3825 мм. Многолетний опыт эксплуатации показал, что реакторный комплекс ИГР является одним из лучших инструментов для решения задач, связанных с динамическими испытаниями объектов ядерной техники. В настоящее время на реакторе ИГР проводятся эксперименты в обоснование концепции управляемого перемещения расплава топлива в реакторах на быстрых нейтронах для предотвращения возникновения повторной критичности при тяжелых авариях с плавлением активной зоны.

Исследовательский реактор ИВГ.1М (рисунок 4) является модернизацией реактора ИВГ.1, использовавшегося для испытаний тепловыделяющих сборок (ТВС) и активных зон высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов, в том числе реакторов ядерных ракетных двигателей (ЯРД) и ядерных энергодвигательных установок (ЯЭДУ).

Реактор ИВГ.1М позволяет проводить исследования, обеспечивающие решение следующих задач:

- отработку различных типов ТВС на эксплуатационных режимах работы;
- реакторные испытания конструкционных материалов ТВС;
- отработку конструкций ТВС и их элементов;
- исследование возможных аварийных ситуаций и отработку мер по их предотвращению.

Рисунок 3. Зал реактора.

Рисунок 4. Реактор ИВГ.1М.

Сеть наблюдений, используемые материалы

В Казахстане традиционно оценкой сейсмической опасности и мониторингом сейсмичности активных областей Республики занимались Институт сейсмологии и СОМЭ МОН РК. Станции сети мониторинга СОМЭ РК до недавнего прошлого были в основном расположены на юге и юго-востоке Казахстана. Изучению сейсмичности слабосейсмичных районов Восточного Казахстана не уделялось должного внимания. При поддержке международных организаций в Казахстане создана новая современная система мониторинга ядерных взрывов и землетрясений, являющаяся частью международных систем мониторинга. Сеть ИГИ НЯЦ РК начала свою работу с середины 1994 г. и главной особенностью сети является то, что большинство станций являются сейсмическими группами различной конфигурации. Расположение их по периметру Казахстана обеспечивает эффективную регистрацию сейсмических событий во всей Республике и прилегающих территориях [5].

В настоящее время сеть наблюдений ИГИ НЯЦ РК включает в себя 5 сейсмических групп, 8 трёхкомпонентных сейсмических станций и 3 инфразвуковых группы (рисунок 5) [5]. Основные задачи сети сейсмических наблюдений ИГИ НЯЦ РК заключаются в следующем: участие в глобальном мониторинге ядерных испытаний и землетрясений в поддержку Договора ДВЗЯИ (СТВТ); обеспечение оперативной обработки и оповещения о сильных землетрясениях республиканских и местных органов власти, Министерства по чрезвычайным ситуациям РК для принятия необходимых мер; исследование техногенной сейсмичности в местах добычи углеводородного сырья, разработки рудных полезных ископаемых, вблизи водохранилищ; мониторинг сетью станций сильных движений для расчёта сейсмостойких сооружений и конструкций в целях снижения ущерба при сильных землетрясениях и обеспечения сейсмобезопасности [5]. Данные сети станций используются для фундаментальных и прикладных исследований по различным проблемам геодинамики, физики очага и др.

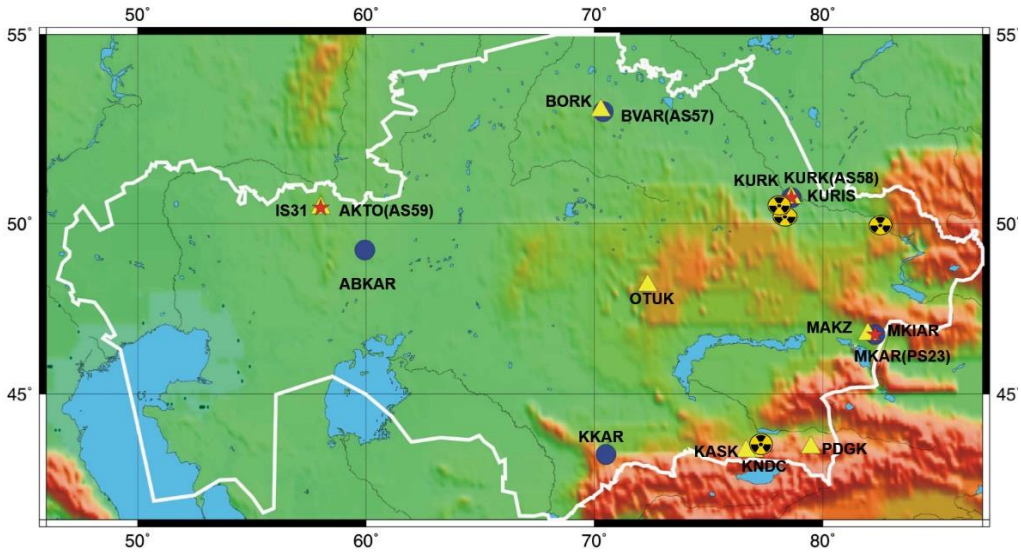

Рисунок 5. Карта расположения сейсмических станций ИГИ НЯЦ РК. Треугольники- трёхкомпонентные станции, кружки- сейсмические группы, звёздочки- инфразвуковые группы, значок радиации – атомные объекты РК.

Институтом Геофизических Исследований производится сейсмический мониторинг всей территории Центральной Азии на регулярной основе при помощи стационарной сети ИГИ НЯЦ РК, создаются сейсмологические бюллетени, сводки срочных донесений. Эпизодически выставляются полевые локальные сети станций для

мониторинга ответственных объектов. Такие работы проводились в 2014, 2019-2020 годах для мониторинга ВВР-К ИЯФ. Для мониторинга объектов атомной отрасли Восточного Казахстана (реактор ИГР, ИВГ.1М, УМЗ) полевые работы начали проводиться в 2021 году и продолжат свою работу до 2023 года, в 2013 году проводился сейсмологический мониторинг промышленной площадки АО «УМЗ» [6].

Для характеристики сейсмической активности земной коры в местах расположения рассматриваемых объектов приведена Карта общего сейсмического районирования (ОСР) территории Казахстана (рисунок 6), построенная в 2003 г. и введённая в действие в 2006 г. [7]. На карте приведены максимальные магнитуды ожидаемых в сейсмогенерирующих зонах землетрясений с магнитудой от 5 до 8 и более, а также границы зон возможной интенсивности землетрясений от 6 до 9 баллов по шкале MSK-64. Согласно этой карте площадка реактора ВВР-К ИЯФ находится вблизи сейсмогенерирующей зоны с магнитудой от 6.6 до 7.0, где возможны сотрясения с интенсивностью 9 баллов по шкале MSK-64. Для площадки в районе размещения исследовательского атомного реактора вблизи г. Курчатов значения, указанные на карте, уточнены сведениями, полученным в Центре данных ИГИ. Площадка включает сейсмогенерирующую зону с магнитудой 5, где возможны сотрясения с интенсивностью 6 баллов. Площадка планируемого международного банка НОУ вблизи г. Усть-Каменогорск находится в пределах сейсмогенерирующей зоны с магнитудой 5.5, где возможны сотрясения с интенсивностью до 7 баллов по шкале MSK-64.

На рисунке 7 представлена карта эпицентров землетрясений с исторических времен (2000 до н.э.) до 2020 г. с магнитудой более 3, созданная в ИГИ НЯЦ РК, из которой видно, что сейсмическая опасность многих районов Казахстана была недостаточно изучена и недооценена. Поэтому важен мониторинг ответственных объектов. Ниже приводится обзор работ по сбору данных, анализу сейсмичности, оценке сейсмической опасности районов размещения объектов атомной отрасли по данным ИГИ НЯЦ РК.

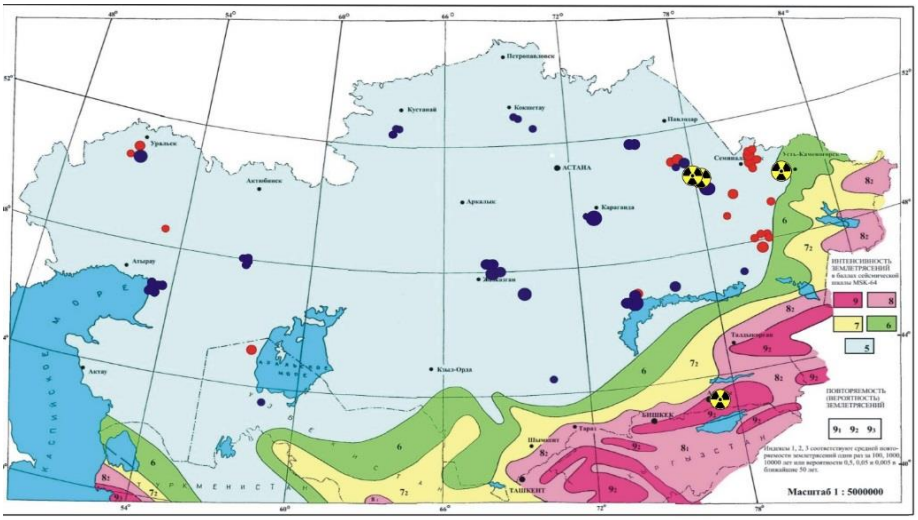

Рисунок 6. Размещение атомных объектов на карте общего сейсмического районирования РК (2006 г.).

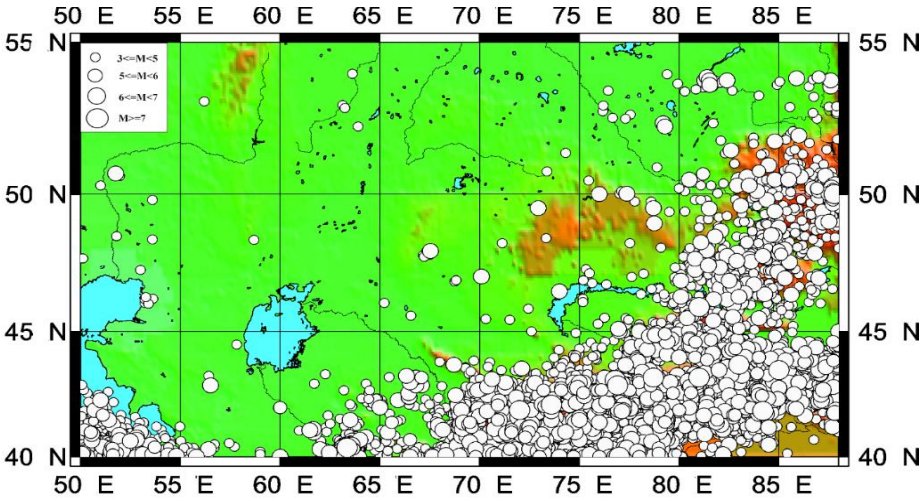

Рисунок 7. Карта эпицентров землетрясений с исторических времен (2000 до н.э.) до 2020 г. с магнитудой более 3. Каталог создан в ИГИ НЯЦ РК (количество событий >12500).

Результаты исследований сейсмотектонической обстановки в районе размещения объектов атомной отрасли

Исследовательский ядерный реактор ВВР-К (юго-восток Казахстана)

Первое исследование территории реактора ВВР-К ИГИ проводилось в 1999 году [8]. Выводы, полученные в ходе работ, следующие: «В целом, для участка размером около 6 км^2, в пределах которого расположен реактор ВВР-К, по данным проведённых исследований была уточнена позиция в региональных структурах, изучена внутренняя структура геологического строения. Исследования показали относительную безопасность расположения реактора. Блок земной коры под ним достаточно консолидирован. Проявление тектонических нарушений на современной поверхности весьма слабое. Прослеживаемые вблизи площадки реактора разломы по микроземлетрясениям не выделяются. В течение всего периода наблюдений местная сейсмичность не была отмечена. Низкий уровень сейсмичности, свойственный данной территории, подтверждён материалами наблюдений за последние 15.5 лет для области в радиусе 25 км вокруг реактора. Однако для гарантии безопасности эксплуатации реактора требуется проведение обязательного сейсмологического мониторинга».

В 2014 г. ИГИ НЯЦ РК совместно с Аргонской национальной лабораторией США (Argonne National Laboratory) провели ряд исследований по оценке сейсмической опасности района размещения реактора, а также изучение сейсмостойкости здания реактора [9].

На основе данных сети ИГИ НЯЦ РК и литературных данных создана база данных о сейсмичности (рисунок 8, 10), геолого-тектонических условиях, сильных движениях (рисунок 11), механизмах очагов по Северному Тянь-Шаню (рисунок 9) для дальнейших исследований. Оценена сейсмическая опасность района размещения реактора.

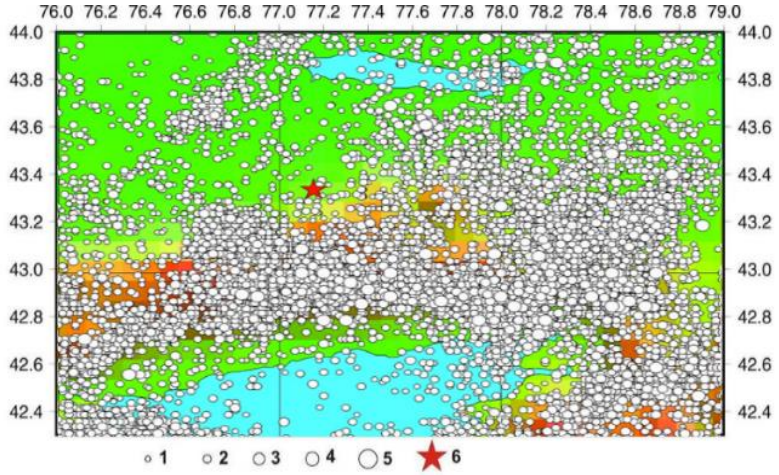

Рисунок 8. Карта эпицентров землетрясений Северного Тянь-Шаня до 2020 г. 1–K < 6.0; 2 – 6.0 ≤ K < 8.0; 3 – 8.0 ≤ K < 10.0; 4 – 10.0 ≤ K < 12.0; 5 - K ≥ 12.0; 6 – местоположение реактора ВВР-К.

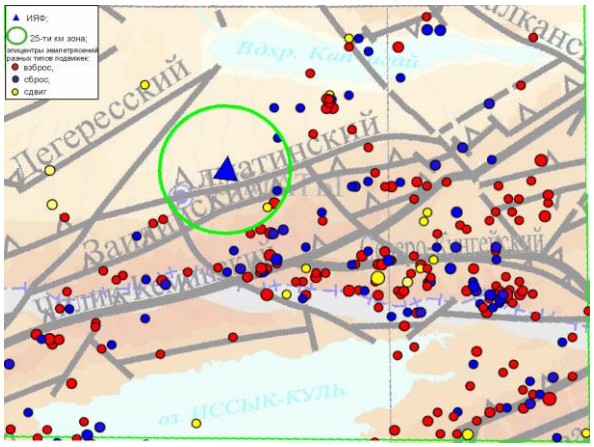

Рисунок 9. Эпицентры землетрясений (K ≥ 10.0) с определёнными механизмами очагов на фрагменте карты сейсмоактивных разломов (по данным Полешко Н.Н.).

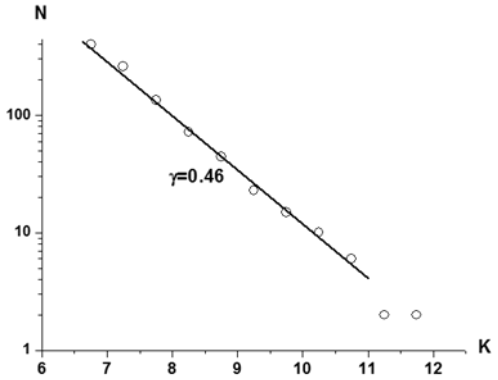

Рисунок 10. График повторяемости землетрясений Северного Тянь-Шаня за 2020 г. с $K_R \geq 6.6$.

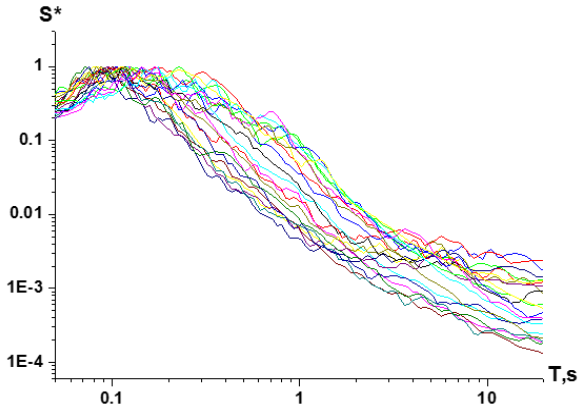

Рисунок 11. Нормированные спектры реакции ускорений по горизонтальным компонентам для площадки размещения ВВРК.

ИГИ НЯЦ РК имеет хорошо развитую современную сеть станций в Восточном Казахстане. Для обработки локальных сейсмичских событий используются данные

высокочувствительных сейсмических групп MKAR-PS23, KURK – AS58, BVAR- AS057 и Залесово и широкополосные 3- компонентные сейсмические станции KURK и MAKZ. Наличие этих станций позволяет проводить эффективный мониторинг сейсмических событий различной природы, регистрировать события малой энергии [5, 11]. На рисунке 12 представлена карта сейсмогенерирующих зон Восточного Казахстана по данным Тимуша А.В. [10], уточнённая в ИГИ НЯЦ РК.

Для территории вблизи реакторов ИГР и ИВГ.1М были проанализированы все сейсмические события, произведено распознавание взрывов и землетрясений, составлен каталог. Построен график повторяемости (рисунок 14). На рисунке 13 представлена карта эпицентров землетрясений из района размещения площадок реакторов и их окрестностей [12].

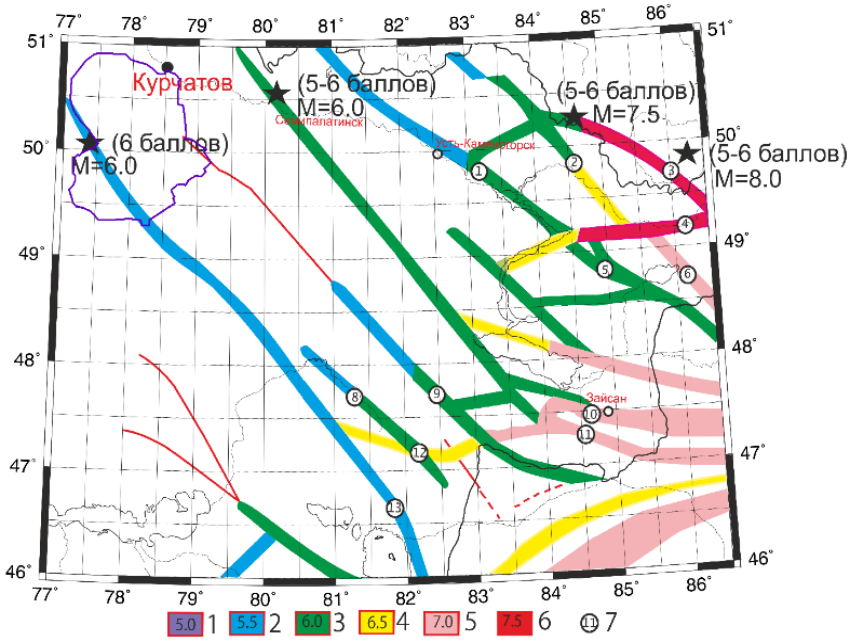

Рисунок 12. Сейсмогенерирующие зоны Восточного Казахстана (по данным Тимуша А.В., уточнённая в ИГИ НЯЦ РК).

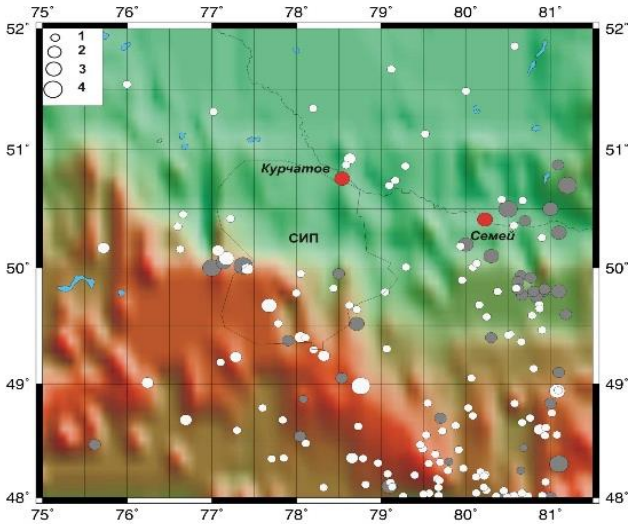

Рисунок 13. Карта эпицентров землетрясений из района размещения реакторов ИГР и ИВГ.1М и их окрестностей (Восточный Казахстан), размер кружка соответствует магнитуде: 1- mb < 3.0, 2- 3.0 ≤ mb < 4.0, 3- 4.0 ≤ mb < 5.0, 4- mb ≥ 5.0.

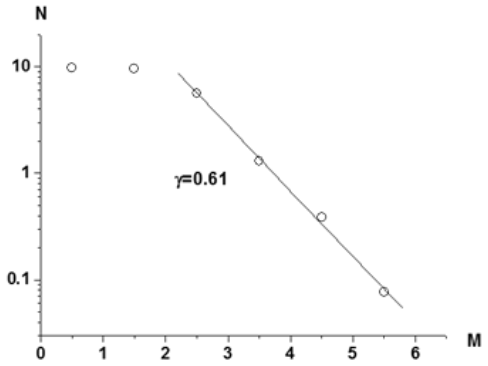

Рисунок 14. График повторяемости магнитуд сейсмических событий из района размещения реакторов ИГР и ИВГ.1М и их окрестностей. Период 2004-2020 гг.

Хранилище низкообогащённого урана - Банк НОУ МАГАТЭ (Восточный Казахстан)

Для обеспечения сейсмической безопасности территории размещения БНОУ группа экспертов МАГАТЭ в течение 2014-2015 гг. проводила ряд работ по исследованию геолого-тектонических условий, сейсмичности, параметров сейсмических воздействий, грунтовых условий и др. [13]. В работах группы МАГАТЭ по оценке сейсмической опасности под строительство банка НОУ были использованы данные по изучению разломов, сейсмичности и механизмам очагов, полученные ИГИ НЯЦ РК и ИС МОН РК.

Создана база данных о геолого-тектонических условиях Восточного Казахстана, окружающих сейсмогенерирующих зонах по литературным и фондовым источникам, космоснимкам и другим спутниковым данным. Для исследуемой территории осуществлён подбор изданных геологических и геофизических, а также тематических структурно-тектонических и других карт и схем. Также осуществлён подбор спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полностью охватывающих исследуемую территорию и включающих данные многоспектральной, радарной и гравиметрической съёмок.

По результатам анализа всех данных составлена обобщённая карта активных разломов и сейсмогенных структур с учётом имеющихся данных по сейсмичности исследуемой территории (рисунок 15).

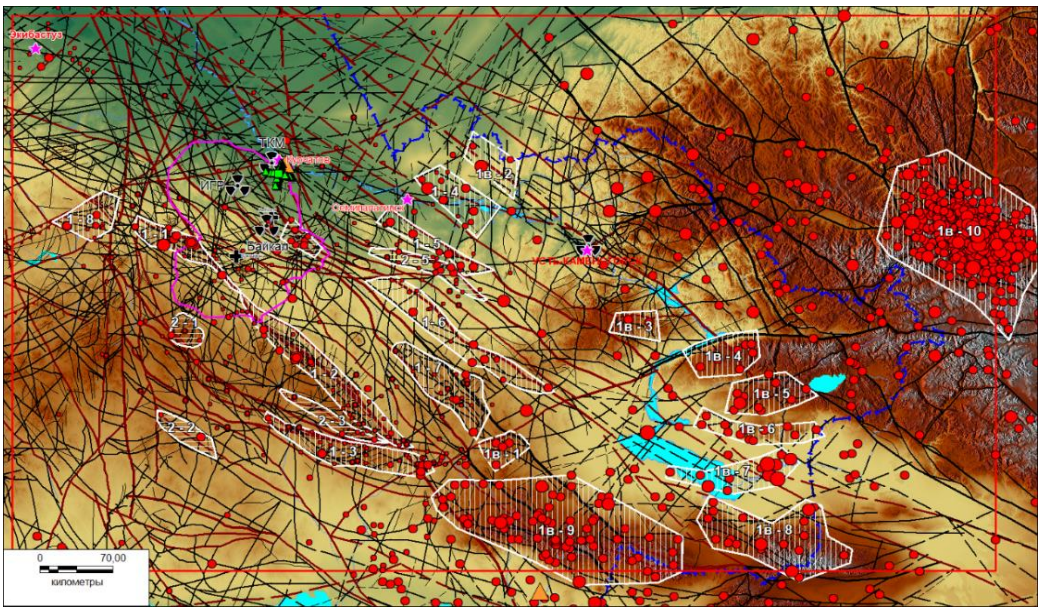

Рисунок 15. Обобщённая карта активных разломов и сейсмогенных структур Восточного Казахстана. 1 – основные разломы первого порядка в коренных породах и перекрытые рыхлыми отложениями (пунктиром); 2 – разломы второго порядка; 3 – разломы третьего порядка; 4 и 5 – сейсмические станции ИГИ НЯЦ и Курчатов-Крест; 6 – эпицентры землетрясений по возрастанию магнитуды от менее 2.0 до 6.0; 7 - ядерные объекты; 8 – контур СИП; 9 - исследуемые площадки для изоляции РАО; белыми контурами обозначены сейсмогенные структуры первого (вертикальная штриховка) и второго порядков (горизонтальная штриховка), в качестве подложки использована ЦМР с разрешением 90 м.

Анализ данных сильных движений

Для обеспечения сейсмобезопасности будущих ответственных объектов важно изучить возможные параметры воздействий от сильных землетрясений непосредственно на площадке строительства. Для этой цели используются акселерометры сильных движений. Сеть станций ИГИ НЯЦ РК (рисунок 5), регистрирующих сильные движения, состоит из 7 станций, расположенных на юго-востоке (KNDC, KASK, PDGK), востоке (MAKZ, KURK), севере (BORK) и в центральной части Казахстана (OTUK), кроме того для исследовательских задач, устанавливаются временные полевые станции сильных движений [14, 15].

Так же были собраны параметры сильных движений по станциям, расположенным на территории Северного Тянь-Шаня по литературным данным. Созданная база данных явилась объединением всех данных в унифицированном формате (рисунок 16). В объединённой базе данных содержится 1140 записей сильных движений, максимальное ускорение было зарегистрировано станцией «Курменты» на расстоянии 35 км от эпицентра Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 года с MLH=6.4, Amax=675 см/с^2. На рисунке 17 представлен пример обработки данных сильных движений землетрясения 02.02.2018 г. в 09:20:44 (станция KNDC).

Рисунок 16. Схема базы данных сильных движений.

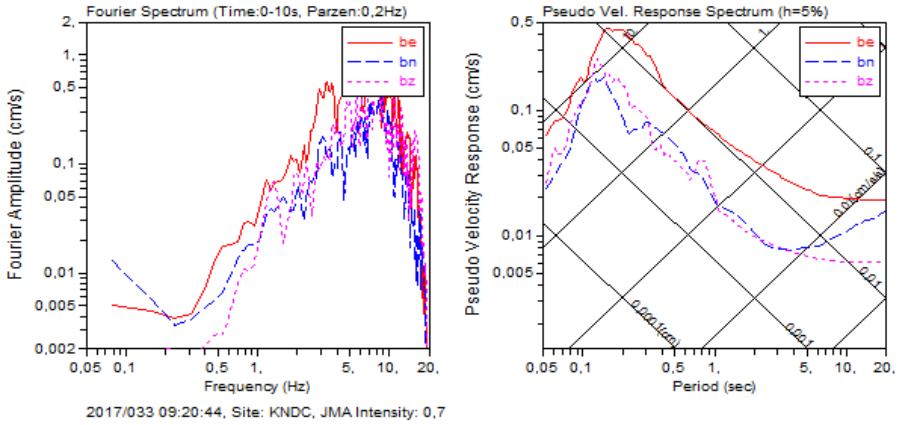

Рисунок 17. Пример обработки данных сильных движений землетрясения 02.02.2018 г. в 09:20:44 (станция KNDC).

Заключение

1. Данные Казахстанской сети мониторинга ИГИ НЯЦ РК, кроме задач по мониторингу ядерных испытаний, активно используются в ряде гражданских задач, например, в оценке опасности мест расположения критических объектов атомной отрасли.
2. Для районов размещения исследовательских атомных реакторов, БНОУ и др. с помощью данных сети ИГИ НЯЦ РК и исторических данных были созданы базы данных по сейсмичности и сильных движений. Изучено тектоническое строение, собраны макросейсмические данные по ощутимым землетрясениям, проведена оценка сейсмической опасности районов.
3. Показана необходимость создания локальных систем мониторинга, а также систем раннего предупреждения о землетрясениях в районах размещения атомных исследовательских реакторов.

Литература

1. Михайлова Н.Н. Землетрясения на территории города Алматы // Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, А.Е. Великанов А.Н. Соколов // Вестник НЯЦ РК. - 2015. - Вып. 3. − С. 87-93.
2. Михайлова Н.Н. Историческая и современная сейсмичность территории Семипалатинского испытательного полигона. / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, Н.Н. Полешко // Геофизические процессы и биосфера. - 2020. - Т. 19, - № 2. - С. 117–134.
3. Габсатарова И.П. Калининградские землетрясения 21 сентября 2004 года с Mw=4.6 и 4.8, I0=6 и 6–7 (запад России) / И.П. Габсатарова, Л.С. Чепкунас, Е.А. Бабкова, Л.С. Малянова, М.И. Рыжикова // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 13 (2010 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. - 2020. – С. 345-363.
4. Дягилев Р.А. Катав-Ивановское землетрясение 04.09.2018 г., mb=5.4 (Урал) / Р.А. Дягилев, Ф.Г. Верхоланцев, Ю.В. Варлашова, Д.Ю. Шулаков, И.П. Габсатарова, А.Г. Епи-фанский // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 7–20.
5. Mikhailova N.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan /N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova //

Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. - V 53. - Issue 1, - 2019, p. 27-38.
6. Рябенко П.В., Михайлова Н.Н. Изучение относительных сейсмических характеристик грунтов на промышленной площадке АО «УМЗ». // Вестник НЯЦ РК. - 2014. - Вып. 4. С.112-119.
7. Курскеев А.К. Общее сейсмическое районирование территории Казахстана / А.К. Курскеев, А.В. Тимуш, А.С. Сыдыков, В.И. Шацилов // Карта ОСР территории Казахстана. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 2003.
8. Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Коновалов В.Е., Комаров И.И., Синева З.И. Строение блока земной коры под реактором ВВР-К в пос. Алатау (по данным методов пассивной сейсморазведки) Вестник НЯЦ РК. выпуск 2, июнь 2000. С.
9. Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Аристова И.Л. Сейсмотектоническая обстановка в районе расположения реактора ВВР-К Института ядерной физики. // Вестник НЯЦ РК. - 2015. - Вып. 4. С.120-126.
10. Тимуш А.В. Сейсмогенерирующие зоны Казахстана / А.В. Тимуш, Т.В. Тарадаева, Н.П. Степаненко, А.Б. Садыкова, А. Сыдыков // Карта СГЗ земной коры Казахстана. – Алматы: Хай Технолоджи, 2012. 82 с.
11. Михайлова Н.Н., Синёва З.И. Оценка эффективности сейсмической группы PS23-Маканчи при регистрации региональных и телесейсмических событий //Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2004. Вып. 2(18). С.13-19.
12. Полешко Н.Н., Аристова И.Л., Михайлова Н.Н. Напряжённое состояние земной коры в районе Восточного Казахстана по данным механизмов очагов землетрясений. // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 2. С.64.
13. Silacheva N. Quarterly Technical Report on the work performed in Quarter IX by the Kazakhstan’s PSHA group. 2015.
14. Соколов А.Н., Узбеков Р.Б. Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов // Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Доклады международной конференции молодых ученых и специалистов. 6-8 июня 2012 г. Алматы. 2012.- С. 97-105.
15. Соколов А.Н., Михайлова Н.Н. Регистрация и база данных сильных движений на казахстанских станциях ядерного мониторинга //Вестник НЯЦ РК. - 2014. - Вып. 1. С. 125-131.

Рецензент: доктор г.-м. н., член-корр. НАН КР, проф. Абдрахматов К.Е.