

СЕЙСМИЧНОСТЬ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА И ЗАПАДНОГО АЛТАЯ ПО ДАННЫМ СТАЦИОНАРНЫХ И ВРЕМЕННЫХ СТАНЦИЙ

Соколова И.Н.¹, Аристова И.Л.², Великанов А.Е.²

¹ ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Обнинск, Россия

² Институт геофизических исследований НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Аннотация. Для районов размещения объектов атомной отрасли в восточном Казахстане собраны современные и исторические данные по сейсмичности (1761-2023 гг.), создана база данных сильных движений, изучено тектоническое строение районов расположения объектов, собраны макросейсмические данные ощутимых землетрясений, проведена оценка сейсмической опасности районов.

В восточном Казахстане находится несколько объектов повышенной опасности: импульсный исследовательский реактор (ИГР) который является высокотемпературным, самогасящимся уран-графитовым гомогенным реактором на тепловых нейтронах; исследовательский водоохлаждаемый гетерогенный реактор ИВГ.1М, который является модернизацией реактора ИВГ.1, использовавшегося для испытаний тепловыделяющих сборок и активных зон высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов, в том числе реакторов ядерных ракетных двигателей и ядерных энергодвигательных установок [1]; хранилище низкообогащенного урана - Банк НОУ Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) создано на базе Ульбинского металлургического комбината вблизи города Усть-Каменогорск [1]; инфраструктура Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и хвостохранилища.

Район г. Курчатов, вблизи которого расположены исследовательские реакторы и другие критические объекты, находится на территории, которая еще 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]. Кроме того, на территории Казахстана, в последние годы, в связи с антропогенной деятельностью, резко возросло количество техногенных и природно-техногенных землетрясений. В Восточном Казахстане находятся угольные карьеры, где проводятся интенсивные взрывные работы и в последнее время возросла интенсивность геодинамических процессов, например, 23 августа 2019 г в районе Экибастуза произошло землетрясение с $mb=4.7$ [3-5], регистрируются землетрясения небольшой энергии в районе угольного карьера Кара-Жыра, в районе СИП [5].

В связи с этим исследование сейсмичности, геодинамических процессов, сейсмической опасности территории размещения объектов атомной отрасли восточного Казахстана является актуальной задачей. Для решения этой задачи собраны современные данные сети ИГИ НЯЦ РК [6], исторические данные по сейсмичности [7], создана база данных сильных движений [8], изучено тектоническое строение районов расположения объектов, собраны макросейсмические данные ощутимых землетрясений.

Для изучения был выбран район восточного Казахстана, и прилегающих территорий западного Алтая, ограниченный координатами $47-52^{\circ}с.ш.$, $75-88^{\circ}в.д.$ Для составления каталога по территории были привлечены различные источники информации: сейсмологические бюллетени Международных центров данных, Геофизической службы РАН [9-11], литературные источники [2, 12, 13], ежегодные сборники: Землетрясения в СССР за 1962-1991 гг. [14], Землетрясения Северной Евразии за 1992-2017 гг. [15]. Собраны и проанализированы сейсмические бюллетени по данным обработки профиля Памир - р. Лена КСЭ ИФЗ АН СССР 1961-1963 гг., каталог землетрясений пополнен данными обработки профиля с диапазоном энергетических классов $K=7-10$. Привлечены данные каталога ЕМСА [16]. За период 2004-2022 гг. собраны данные по сейсмичности района восточного Казахстана, полученные стационарной сетью станций мониторинга ИГИ НЯЦ РК и СОМЭ МЧС РК, а также данные

результатов наблюдений, полученных полевыми станциями непосредственно на СИП. Для этого проанализированы сейсмические бюллетени, волновые формы сейсмических событий, проведена работа по сейсмическому распознаванию [17]. В результате был составлен каталог землетрясений восточного Казахстана с исторических времен (1761 г.) до 2022 года. Всего каталог включает 10800 землетрясений (рис. 1). Самое сильное землетрясение (Чуйское) произошло 27.09.2003 г. и имеет магнитуду $M_w=7.2$. Минимальная магнитуда по каталогу $m_{pv}=0.43$, у 12 землетрясений магнитуда 6 и более. В каталоге представлены все основные параметры землетрясений – дата, время в очаге, координаты эпицентра, глубина, характеристики магнитуды и класс. Сохранены все истинные определения магнитуд и классов, сделанные непосредственно по записям.

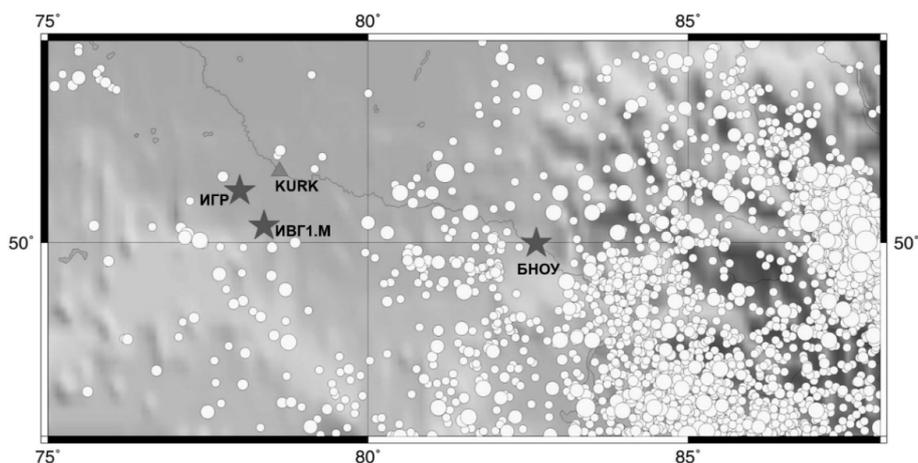


Рис. 1. Карта расположения эпицентров землетрясений Восточного Казахстана и прилегающих территорий (кружки), объектов атомной отрасли (звездочки), сейсмической станции KURK (треугольник)

В разные годы в практике рутинных сейсмических наблюдений применялись разные магнитудные шкалы по типу используемых сейсмических волн (объемным и поверхностным), по типу аппаратуры (короткопериодным и среднепериодным приборам), по типу используемых калибровочных кривых, а также энергетический класс Т.Г. Раутиан [19]. В каталогах ISC-GEM, Центральной Азии, Казахстана, Восточного Казахстана можно увидеть целый набор разных энергетических и магнитудных характеристик: магнитуды M_l , mB , mb , $MPVA$, MLH , MLV , M_s , M_w и энергетический класс K_p [19]. В каталоге восточного Казахстана различные типы магнитуд и энергетического класса были приведены к одной наиболее удобной магнитуде MLH . Для гармонизации каталога были проведены пересчеты недостающих значений для магнитуд m_{pv} , MLH , M_w и K_p .

Для анализа каталог был разделен на 3 периода, в исторический период 1761-1960 гг. каталог был составлен благодаря макросейсмическим данным и немногочисленным землетрясениям, зарегистрированным сейсмическими станциями с начала 20 века. За период 1961-2003 гг. регистрация сейсмических событий проводилась аналоговыми сейсмическими станциям КСЭ ИФЗ АН СССР, Алтае-Саянской сейсмологической сети наблюдений, СОМЭ МЧС РК. Следующий период времени 2004-2022 гг. характеризуется открытием на территории восточного Казахстана сейсмических групп МКАР и Курчатов-Крест, которые очень чувствительны, позволяют регистрировать в ближней зоне землетрясения с магнитудой менее 1.

На рис. 2 представлен график повторяемости землетрясений на территории СИП за период 2004-2023 гг., представительная магнитуда за этот период составляет $m_{pv}=2$. Тем не менее, в регионе существует недостаток сейсмических станций, неудачная геометрия сети мониторинга. В 2022-2023 гг. была модернизирована сейсмическая станция Зайсан ZSN и

установлена новая сейсмическая станция Ушаново USHN в районе г. Усть-Каменогорск (сеть СОМЭ МЧС РК).

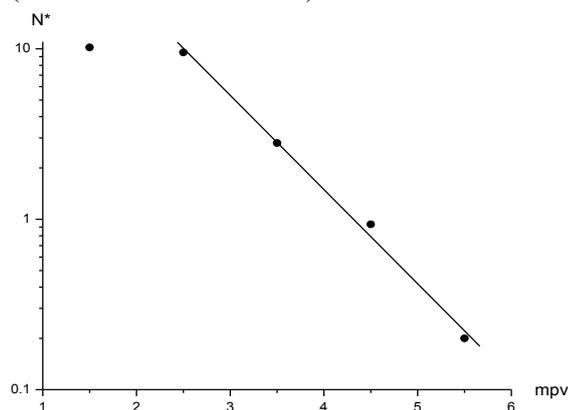


Рис. 2. График повторяемости магнитуд сейсмических событий из района СИП. Период 2004-2023 гг

Начиная с XVIII века было известно о том, что на территории Семипалатинской губернии, и ее окрестностях происходили ощутимые землетрясения слабой и средней силы, а также ощущались сильные землетрясения из района Алтая, Китая и Северного Тянь-Шаня. Максимальная интенсивность $I=7$ наблюдалась у землетрясения 21 мая 1901 г., в селе Глубокое. Данные о макросейсмических проявлениях исторических землетрясений были собраны по литературным источникам и дополнены параметрами сейсмических событий, с которыми они проассоциированы, рассчитаны эпицентральные расстояния. По характеристике макросейсмических проявлений, им был присвоена интенсивность, в соответствии со шкалой МСК.

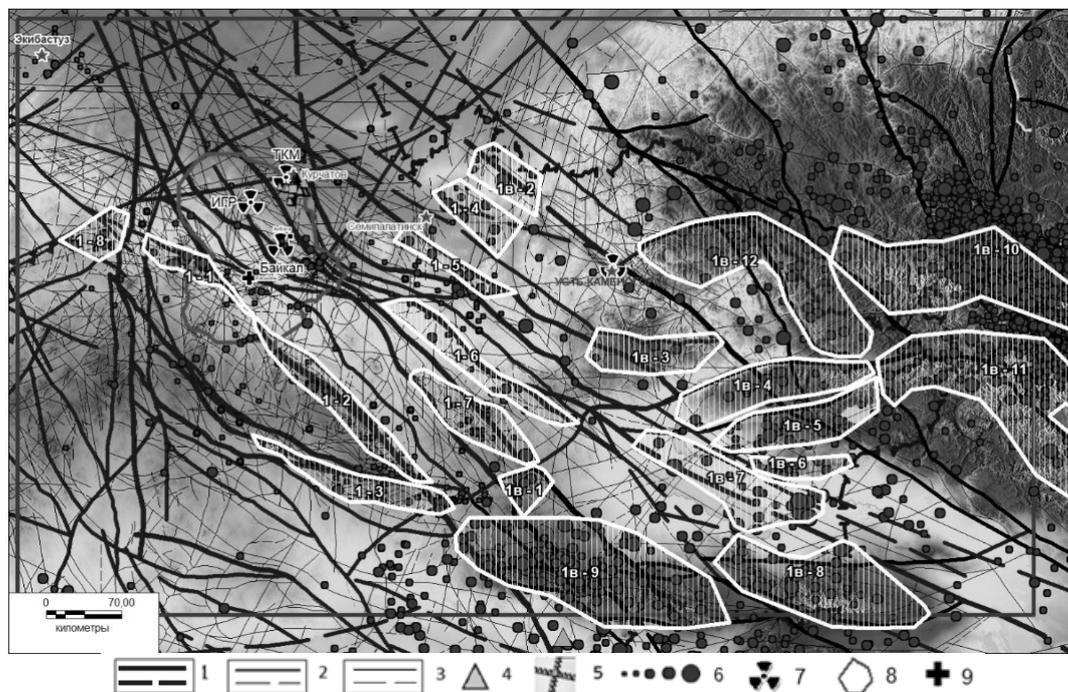
Следующий период времени 1961-1989 гг. тесно связан с функционированием в восточном Казахстане Семипалатинского испытательного полигона, а именно с проведением на нем подземных ядерных испытаний (ПЯВ). Достаточно часто производились ПЯВ с магнитудой $m_b \geq 6$, такие взрывы ощущались на большей части восточного Казахстана. Интересно, что в это время практически отсутствует информация об ощутимых землетрясениях.

Следующий этап сейсмической активизации западного Алтая начался с Зайсанского землетрясения 14 июня 1990 г., с $M=6.6$ [20]. Землетрясение было детально исследовано, проведены полевые макросейсмические обследования, как со стороны Казахстана, так и со стороны СУАР КНР [20] (185 населенных пунктов). С наибольшей интенсивностью землетрясение проявилось в населенных пунктах Рожково и Бакасу, находящихся соответственно в 22 и 37 км южнее эпицентра, где сила сотрясений достигала 8 баллов [20].

27 сентября 2003 г. на территории Горного Алтая в долине р. Чуя в горной перемычке между Чуйской и Курайской впадинами произошло землетрясение с магнитудой $M_w=7.2$. За инструментальный период сейсмологического наблюдений это самое крупное землетрясение на территории Алтае-Саянской складчатой области. Землетрясение в зоне эпицентра вызвало сотрясения более 10 баллов по шкале MSK-64. На территории восточного Казахстана Чуйское землетрясение наиболее сильно ощущалось в населенных пунктах: Семей, Усть-Каменогорск, Курчатов – 4 балла.

Для станций сильных движений MAKZ, KURK, ZSN проведена обработка данных сильных движений (СД) при помощи программы ViewWave [21], обработанные данные внесены в базу данных. Всего в базу данных сильных движений внесены 160 обработанных акселерограмм с $A_{max} \geq 0.1 \text{ см/с}^2$ за период 1996-09.2023 г. [8]. Для оценки сейсмической опасности в районах размещения критических объектов на территории восточного Казахстана, на основе данных о сейсмогенерирующих зонах, максимальных магнитуд сильных землетрясений рассчитаны максимальные значения ускорений по зависимостям Аптикаева [22, 23], Фукушима-Танака [23], Кэмпбел-Бозорня [24]. Очаги в зоне хребта Муржик способны создать воздействия с интенсивностью 7 баллов, пиковые ускорения достигают 70 см/с^2 .

С целью уточнения и дополнения данных о геолого-тектонических условиях района восточного Казахстана проведён комплексный анализ результатов дешифрирования и интерпретации специализированных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по исследуемой территории; также были использованы литературные данные и данные интернет-источников. В результате полного анализа ДЗЗ, геолого-геофизических материалов, литературных данных и данных по сейсмичности составлена уточнённая карта активных разломов и сейсмогенных структур, выделенных по территории исследуемой площади восточного Казахстана (рис. 3).



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 до 6; 7 - ядерные объекты; 8 – контур СИП; 9 - исследуемые площадки для изоляции РАО; белыми контурами обозначены сейсмогенные структуры первого порядка, в качестве подложки использована ЦМР с разрешением 90 м

Рис. 3. Обобщённая карта активных разломов и сейсмогенных структур восточного Казахстана

В результате исследований была создана база данных по землетрясениям для районов размещения атомных объектов восточного Казахстана. Она включает: каталоги землетрясений, механизмов очага, данные о макросейсмических эффектах землетрясений, параметры сильных движений до 2023 г., данные о сейсмогенерирующих зонах, активных разломах. А также, является информационной основой для создания пилотного проекта системы раннего предупреждения о сильных землетрясениях для объектов атомной отрасли на территории восточного Казахстана и уточнением сейсмической опасности региона.

Литература.

1. Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н. Использование данных сети мониторинга ИГИ НЯЦ РК для безопасности объектов атомной отрасли // Вестник Института сейсмологии НАН КР. - 2021. - № 2(18). - С. 11-22.
2. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Полешко Н.Н. Историческая и современная сейсмичность территории Семипалатинского испытательного полигона. // Геофизические процессы и биосфера. - 2020. - Т. 19, - № 2. - С. 117-134.

3. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е. Техногенно-индуцированные сейсмические события на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона по данным полевых наблюдений // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 7–15.
4. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е., Полешико Н.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 2. - С.47.
5. Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е. Индуцированная сейсмичность в районах угольных месторождений Восточного Казахстана по данным сети KZNET // Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2022. - № 2(20). - С. 13-23.
6. Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С. Сейсмические станции Национального ядерного центра РК и их вклад в решение задач оценки сейсмической опасности Восточного Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2022. – Вып.2. - С. 3 - 16.
7. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н. Исторические данные и архивные сейсмограммы как подтверждение сейсмичности территории Семипалатинского испытательного полигона//Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып.3. - С.73.
8. Михайлова Н.Н., Соколов А.Н., Соколова И.Н. Количественные характеристики сейсмических колебаний грунта по записям приборов сильных движений на территории восточного Казахстана// Вестник НЯЦ РК. – 2022. – Вып.1. - С. 28 – 35.
9. Интернет ресурс <http://www.isc.ac.uk>.
10. Интернет-ресурс <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic>.
11. Интернет-ресурс <http://http://www.gsras.ru>.
12. Triep E., Sykes L. Frequency of occurrence of moderate to great earthquakes in intracontinental regions: Implications for changes in stress, earthquake prediction, and hazards assessments // Journal of Geophysical Research Atmospheres 1997. 102(B5):9923-9948
13. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука. 1977. 535 с.
14. Землетрясения в СССР. М.: Наука. Ежегодные сборники за 1962-1991 гг.
15. Землетрясения Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН. Ежегодные сборники за 1992-2014 гг.
16. Mikhailova NN, Mukambayev AS, Aristova IL, Kulikova G, Ullah S, Pilz M, Bindi D. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009. Ann. Geophys.; 58(1).
17. Великанов А.Е., Султанова Г.С., Аристова И.Л., Соколова И.Н., Мукамбаев А.С. Идентификация промышленных взрывов при оценке сейсмической опасности слабосейсмичных районов Казахстана // Вестник НЯЦ РК. - 2012. - Вып. 1. С. 68-73.
18. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. // Труды ИФЗ АН СССР, 1964. №32 (199). – С. 72-98.
19. Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н. Решение проблемы неоднородности магнитуд в работах по сейсмическому зонированию территории Республики Казахстан. // Вестник НЯЦ РК. - 2014. - Вып. 4. С.86-92.
20. Нурмагамбетов А., Садыков А., Тимуш А.В., Хайдаров М.С., Власова А.А., Михайлова Н.Н., Сабитов М.М., Умирзакова А., Гапич В.А. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990г. Москва, 1996г. - С. 54-60.
21. Kashima T. 2002. ViewWave Help, PSEE, BRI.
22. Антикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. // “Наука и образование”. Москва. 2012. 178 с.
23. Михайлова Н.Н. Сейсмическая опасность в количественных параметрах сильных движений грунта (на примере г. Алматы). // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Москва. 1996. 338 с.
24. Campbell K.W., and Bozorgnia Y. Updated near-source ground motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. Bull. Seism. Soc. Am. 2003. 93, 314–331.